

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**

**Departamento de Ambiente y Desarrollo**

**Ingeniería en Ambiente y Desarrollo**



Proyecto Especial de Graduación

**Evaluación de impacto ambiental en la producción de pollos de engorde en la  
unidad avícola de Zamorano: Efecto de uso de dietas nutraceuticas**

Estudiante

German Omar Santos Solis

Asesores

Carmen Alicia Parrado, Ph.D.

Yordan Martinez Aguilar, Ph.D.

Ana Melissa Urquía, M.Sc.

Honduras, julio 2021

**Autoridades**

**TANYA MÜLLER GARCÍA**

Rectora

**ANA MARGARITA MAIER**

Vicepresidenta y Decana Académica

**ERIKA TENORIO MONCADA**

Directora Departamento de Ambiente y Desarrollo

**HUGO ZAVALA MEMBREÑO**

Secretario General

## Contenido

Contenido.....	3
Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras .....	6
Índice de Anexo.....	7
Resumen .....	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Materiales y Métodos .....	13
Sitio de Estudio y Diseño Experimental .....	13
Análisis de Ciclo de Vida.....	13
Objetivos y Alcance del Estudio .....	14
Descripción de los Sistemas de Producción.....	14
Análisis de Inventario.....	16
Dietas Alimenticias.....	17
Parámetros de Producción.....	17
Parámetros Ambientales .....	18
Análisis Estadístico .....	18
Evaluación de Impacto.....	19
Resultados y Discusión.....	20
Indicadores de Producción.....	20
Indicadores Ambientales .....	25
Evaluación de Impacto Ambiental .....	31
Conclusiones .....	41
Recomendaciones.....	42
Referencias.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

Anexos.....47

## Índice de Cuadros

<b>Cuadro 1</b> Parámetros de seguimiento en el sistema de producción.....	18
<b>Cuadro 2</b> Categorías de impacto ambiental evaluadas en el método CML 2001.....	19
<b>Cuadro 3</b> Efecto de las dietas nutraceuticas en la ganancia de peso y la mortalidad en las etapas productivas .....	20
<b>Cuadro 4</b> Efecto de las dietas nutraceuticas sobre los órganos linfoides, intestino y grasa abdominal a los 35 días.....	23
<b>Cuadro 5</b> Efecto de las dietas nutraceuticas en las porciones comestibles de los pollos de engorde (35 días).....	25
<b>Cuadro 6</b> Efecto de las dietas nutraceuticas en las concentraciones de N, P y Humedad en las excretas .....	27
<b>Cuadro 7</b> Cargas ambientales de las categorías de impacto evaluadas para las diferentes fases de la producción de pollos (%). .....	35

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Área de estudio de evaluación de impacto ambiental en la Unidad Experimental Avícola ...	13
<b>Figura 2</b> Fases del ciclo de vida para el sistema productivo de pollos de engorde y límites de estudio .....	16
<b>Figura 3</b> Volatilización de NH <sub>3</sub> en el ciclo productivo de los pollos de engorde a.m.....	29
<b>Figura 4</b> Volatilización de NH <sub>3</sub> en el ciclo productivo de los pollos de engorde p.m.....	31
<b>Figura 5</b> Categorías de impactos para la producción de pollos de engorde con diferentes dietas.....	34
<b>Figura 6</b> Contribuciones del T1 para los diferentes insumos utilizados en las categorías de impacto ambiental.....	39
<b>Figura 7</b> Contribuciones del T2 para los diferentes insumos utilizados en las categorías de impacto ambiental.....	39
<b>Figura 8</b> Contribuciones del T3 para los diferentes insumos utilizados en las categorías de impacto ambiental.....	40

## Índice de Anexo

<b>Anexo A</b>	Índice de Conversión Alimenticia en las tres etapas de producción.....	47
<b>Anexo B</b>	Ingredientes y aportes nutricionales de pollos de engorde (0-10 días).....	48
<b>Anexo C</b>	Ingredientes y aportes nutricionales de pollos de engorde (11-18 días).....	49
<b>Anexo D</b>	Ingredientes y aportes nutricionales de pollos de engorde (19-35 días).....	50
<b>Anexo E</b>	Modelo de Análisis de ciclo de vida en pollos de engorde.....	51
<b>Anexo F</b>	Flujo de energía de sistema productivo de pollos de engorde.....	52
<b>Anexo G</b>	Diagrama de huella de carbono del sistema productivo de pollos de engorde .....	53
<b>Anexo H</b>	Huella de carbono del sistema productivo de pollos de engorde.....	54

## Resumen

La producción de aves de corral en países centroamericanos se caracteriza por su manejo intensivo. Con dietas a base de maíz y soya, uso de antibióticos como promotores de crecimiento y generación de excretas con altos contenidos de nitrógeno (N) y fósforo (P). El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto ambiental de la producción de pollo de engorde y su relación con la eficiencia de dietas nutraceuticas a través de análisis de ciclo de vida. En la Unidad Avícola, durante un ciclo productivo de pollo de engorde de la línea genética Cobb® 500, alimentados con dietas nutraceuticas y convencional, se evaluaron las cargas ambientales del ciclo de vida mediante el método CML 2001 para 1 kg de carne en canal como unidad funcional (UF). Adicionalmente, se evaluaron diferentes variables ambientales como las concentraciones de N y P en excretas y la volatilización de amoniac (NH<sub>3</sub>) para corregir modelos de caracterización en algunas categorías. En la categoría de cambio climático el aporte fue 1.53 kg CO<sub>2</sub> eq kg (T1), 1.44 kg CO<sub>2</sub> eq kg (T2) y 1.52 kg CO<sub>2</sub> eq kg (T3). En uso de suelo los aportes fueron 5.01 m<sup>2</sup>a, 4.23 m<sup>2</sup>a y 3.83 m<sup>2</sup>a para T1, T2 y T3 respectivamente. La etapa de extracción de materia prima y producción de pollos fueron las que generaron mayor impacto en el ambiente. En general la dieta con fitobióticos tuvo un mejor rendimiento en la canal y un menor impacto en el ambiente.

*Palabras clave:* Análisis de ciclo de vida, categorías de impacto, fitobióticos, nutraceuticos, rendimiento.

### Abstract

Poultry production in Central American countries is characterized by intensive management. With diets based on corn and soybean, the use of antibiotics as growth promoters and the generation of excreta with high nitrogen (N) and phosphorus (P) contents. The objective of this study was to evaluate the environmental impact of broiler production and its relationship with the efficiency of nutraceutical diets through life cycle analysis. In the Poultry Unit, during a production cycle of broilers of the Cobb® 500 genetic line, fed with nutraceutical and conventional diets, the environmental loads of the life cycle were evaluated using the CML 2001 method for 1 kg of carcass meat as a functional unit (UF). Additionally, different environmental variables such as N and P concentrations in excreta and NH<sub>3</sub> volatilization were evaluated to correct characterization models in some categories. In the climate change category, the contribution was 1.53 kg CO<sub>2</sub> eq kg (T1), 1.44 kg CO<sub>2</sub> eq kg (T2) and 1.52 kg CO<sub>2</sub> eq kg (T3). In land use, the contributions were 5.01 m<sup>2</sup>a, 4.23 m<sup>2</sup>a and 3.83 m<sup>2</sup>a for T1, T2 and T3, respectively. The raw material extraction and broiler production stages generated the greatest impact on the environment. In general, the diet with phytobiotics had a better carcass yield and a lower impact on the environment.

*Keywords:* Impact categories, life cycle analysis, nutraceuticals, performance, phytobiotics.

## Introducción

La industria avícola evidencia un crecimiento exponencial en los últimos años y se considera uno de los pilares de mayor importancia en la provisión de alimentos. La calidad de su proteína y el menor precio en comparación con la carne de res, garantizan esta situación (Costantini et al., 2021). Estados Unidos es el mayor productor de pollo de engorde y representa el 18% de la producción mundial, superando a Brasil, China y Rusia (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2017). Aunque en Centroamérica la producción es más baja, el incremento es constante. Honduras procesa alrededor de 209,652 toneladas de carne de pollo anualmente, ocupando un tercer lugar en la región (Oseguera, 2020). A nivel nacional, un individuo hondureño consume en promedio 23.85 kg de pollo al año, por lo cual la industria nacional es importante para su economía (Oseguera, 2020) y suple el 90% de la demanda. Si bien, la producción avícola se considera eficiente en términos productivos, estos sistemas contribuyen a la degradación de recursos naturales, generación de residuos y emisiones al ambiente, que alteran la calidad del aire, agua y suelo (Martinelli et al., 2020). En el caso de Centroamérica y especialmente en Honduras, la avicultura se caracteriza por un manejo convencional, ligado al manejo de dietas alimenticias basadas en maíz y soya importados, lo cual incrementa los costos de producción y ambientales por transporte y manejo de la producción agrícola.

En general, los sistemas de crianza de pollos generan importantes cargas ambientales en las etapas relacionadas con los cultivos de granos para alimentación y su transporte, así como en el manejo y disposición de residuos (Duarte da Silva et al., 2019). En el ciclo de vida de la cadena de suministro de carne de pollos se involucran diferentes fases. Estas incluyen la extracción y procesamiento de la materia prima, la incubación, el montaje de la infraestructura para la crianza, el manejo de la crianza, el sacrificio y la disposición de residuos, cada una de ellas con los costos de transporte asociados. Las actividades desarrolladas en estas fases generan impactos ambientales negativos, atribuidos a una serie de factores relacionados con los consumos de energía a través de las dietas alimenticias, el uso de antibióticos como promotores de crecimiento y la generación de excretas

con altas concentraciones de nitrógeno (N) y fósforo (P) (Duarte da Silva et al., 2019). Por esta razón, es importante la identificación de los impactos ambientales y la implementación de estrategias que garanticen un mejor desempeño ambiental a lo largo del ciclo productivo y de esta manera, satisfacer la demanda de carne de pollo, bajo un esquema eficiente y sostenible (Martinelli et al., 2020). Los procesos de evaluación de impacto ambiental y los análisis de sostenibilidad pueden desarrollarse bajo diferentes enfoques, metodologías e indicadores. No obstante, una perspectiva de ciclo de vida permite determinar los impactos asociados aguas arriba en la cadena de suministro (Cesari et al., 2017) y de esta manera resolver puntos críticos en las diferentes fases. Por esta razón, el análisis del ciclo de vida (ACV), método de evaluación y direccionamiento ambiental, es la herramienta más adecuada para evaluar el impacto de la producción avícola. Una evidencia de esto, son los diversos estudios disponibles en la literatura internacional sobre la evaluación de impacto ambiental potencial de la producción de carne de pollo mediante ACV (Baumgartner et al., 2008; da Silva et al., 2014; Cesari et al., 2017; Duarte da Silva et al., 2019; Costantini et al., 2021).

El ACV permite cuantificar, categorizar y evaluar los impactos ambientales potenciales en la producción de un bien o servicio a lo largo de su ciclo de vida (Jeswani et al., 2019), con un enfoque de la cuna a la tumba o de la cuna a la puerta. La evaluación de impactos ambientales se desarrolla mediante el análisis de métodos de puntos medios o finales y su clasificación en categorías como cambio climático, agotamiento de los recursos abióticos, agotamiento de la capa de ozono y potencial de eutrofización, entre otros, para puntos medios. En tanto que, en categorías de impacto de punto final, se encuentran categorías de análisis sobre efectos sobre la salud humana y agotamiento de recursos (López-Andrés et al., 2018).

Los impactos ambientales de la producción de pollos se centran en las etapas de producción de materia prima para el alimento y la producción en la granja, debido al uso de insumos agrícolas, agua y energía, así como las emisiones relacionadas al transporte, como se mencionó con anterioridad. Por esta razón, la valoración del impacto de las dietas y su ciclo de vida es fundamental. En pollos de engorde, las dietas generalmente se manejan con base en soya y maíz para incrementar

el contenido energético y proteico del alimento. Sin embargo, esto provoca una baja tasa de conversión alimenticia y conlleva a una carga ambiental importante en emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes, PO<sub>4</sub> equivalentes o m<sup>2</sup>a, asociados a la producción y transporte. En dietas convencionales con estos dos componentes, aproximadamente el 12% de la proteína total no es digerible y se pierde en las excretas, lo cual genera impactos ambientales asociados a la volatilización de amoníaco (NH<sub>3</sub>), cargas de P y N y la generación de nitrógeno reactivo (Nr). La pérdida de N a través de la orina y las heces en pollos puede estar entre el 65 y el 70% del total de proteína no digerida, lo que aumenta la volatilización de NH<sub>3</sub> y las emisiones de óxido nitroso N<sub>2</sub>O (Lin et al., 2017). Además, se estima que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por manejo del estiércol corresponden 0.154 kg de CO<sub>2</sub> eq por kilogramo de pollo producido (Duarte da Silva et al., 2019). Bajo estas consideraciones, diferentes autores determinan que optimizar los procesos de alimentación, la conversión de proteínas e incrementar la salubridad de los animales, son factores decisivos en el aumento de la productividad y la disminución del impacto ambiental.

En los últimos años, se ha evidenciado que el uso de dietas nutracéuticas puede favorecer la digestibilidad de los nutrientes, en especial el P y N, por tanto, generar efectos sobre la productividad e impacto ambiental. Además, el uso de fitobióticos en la dieta aumenta la ganancia de peso debido a sus propiedades antiinflamatorias, antioxidantes y antibacterianas, lo que también ayuda en la disminución de las cargas ambientales asociadas. En el contexto anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar los impactos ambientales en la cadena de suministro de pollo de engorde de la unidad avícola de Zamorano y su relación con la eficiencia de dietas nutraceúicas a través del análisis de ciclo de vida. Y como objetivos específicos determinar las etapas que más contribuyeron a las cargas ambientales de la cadena de suministro y evaluar la eficiencia de las dietas nutraceúicas sobre los indicadores ambientales de la producción de pollos de engorde.

## Materiales y Métodos

### Sitio de Estudio y Diseño Experimental

El estudio se realizó en la Unidad Experimental Avícola de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, ubicada en las coordenadas geográficas 14°00'5.13" N y 86°59'31.63" O, en el municipio de San Antonio de Oriente, Honduras (Figura 1). La altura promedio en esta localidad corresponde a 800 m.s.n.m. y presenta una temperatura media de 26 °C, con una humedad relativa del 55% y precipitación anual promedio de 1,100 mm para los meses de noviembre y diciembre del 2020.

La investigación se realizó a partir de un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos (dietas) y cuatro repeticiones para un total de 12 unidades experimentales en el ciclo de producción de pollos de engorde de la línea genética Cobb® 500. Cada unidad experimental inició con una densidad de 40 animales por jaula para un total de 480 pollos. Las dietas se consideraron fuente de variación.

### Figura 1

*Área de estudio de evaluación de impacto ambiental en la Unidad Experimental Avícola*



### Análisis de Ciclo de Vida

La metodología de evaluación de impacto ambiental implementada en este estudio fue el ACV bajo los estándares establecidos por las normas ISO 14040 (2006). El análisis siguió un proceso

sistemático para identificar, cuantificar y evaluar los impactos a lo largo del ciclo de vida del producto. El análisis se realizó a partir de las cuatro fases establecidas por la ISO 1040: (1) definición de objetivos y alcance, (2) análisis de inventario, (3) evaluación de impactos e (4) interpretación. La unidad funcional determinó la cuantificación de las entradas y salidas de materia y energía y las cargas ambientales asociadas a las diferentes etapas de producción.

### **Objetivos y Alcance del Estudio**

El objetivo fue determinar los impactos ambientales potenciales en la cadena de suministro de pollos de engorde para la Unidad Avícola, evaluando la eficiencia del uso de dietas nutraceuticas y los puntos críticos de impacto. Adicionalmente, se desarrollaron monitoreos sistemáticos de variables ambientales y productivas para determinar el efecto de las dietas nutraceuticas sobre los indicadores ambientales. Como unidad funcional se definió un kilogramo (1 kg) de pollo en canal, a la cual se cargaron los impactos identificados. El alcance se definió bajo un enfoque de la cuna a la tumba, tomando como sistema de primer plano un galpón en la Unidad Avícola de Zamorano y un ciclo productivo de 35 días, con tres dietas con base en maíz y soya importado y residuos de la producción de arroz y aceite de palma y la adición de fitobióticos, Además, la planta de sacrificio y empaque, así como la compostera para disposición de residuos. El sistema de segundo plano consideró la extracción y procesamiento de la materia prima, la producción de granos en Estados Unidos de América (específicamente Illinois) y su respectivo transporte marítimo (puerto de salida (Puerto de Houston) y terrestre. Para el desarrollo del estudio las fases del ciclo de vida evaluadas fueron pre-granja que incluyó la extracción de materia prima y su procesamiento, incubación, montaje de infraestructura, producción (inicio, crecimiento y engorde), sacrificio y disposición de residuos.

### **Descripción de los Sistemas de Producción**

El ciclo productivo en la Unidad Avícola abarca 35 días, con 8.5 ciclos productivos anuales, considerando el tiempo de desinfección y limpieza de galpones. Se utilizaron pollos de la línea genética Cobb® 500, en jaulas de 4.68 m<sup>2</sup> con una densidad de población de 40 pollos por jaula. El galpón se

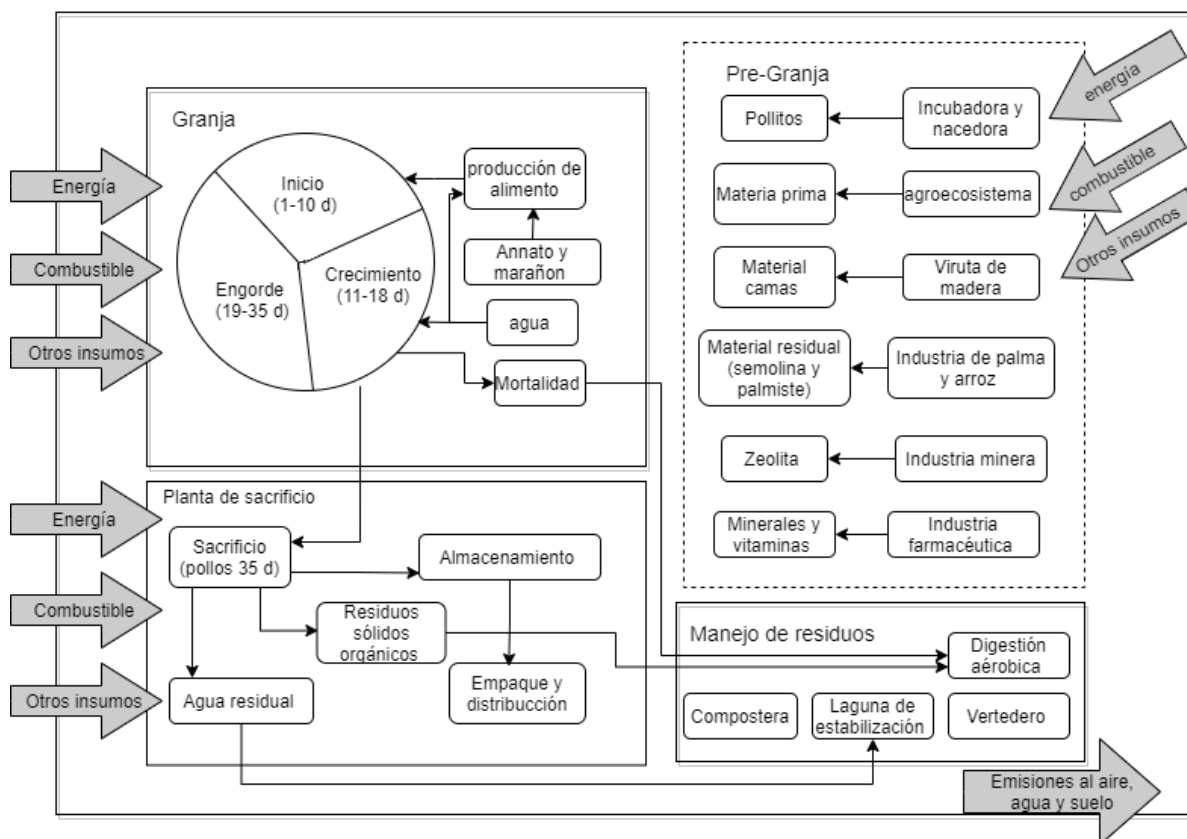
caracteriza por una estructura con pisos de concreto, paredes en combinación de malla y bloque y techos metálicos con ventiladores eléctricos y calefacción de gas propano. Los comederos son de tipo tolva de plástico colgantes y los bebederos automáticos tipo "Nipple".

El proceso de producción en el sistema de primer plano inició con la incubación de los huevos por 21 días, después de un día de eclosión los pollos fueron trasladados al galpón. Las etapas analizadas en el ciclo productivo fueron incubación (21 días), inicio (0 a 10 días), crecimiento (11 a 18 días) y engorde (19 a 35 días). En la etapa de inicio se manejó un estricto control en la temperatura, ventilación e iluminación para controlar la viabilidad del desarrollo de los animales y disminuir la mortalidad. En esta etapa se utilizó calefacción y ventilación automática. En las etapas de crecimiento y engorde, a partir del día 11, la temperatura se controló mediante el manejo de las cortinas y se eliminó la calefacción (Figura 2). Durante todas las etapas el suministro de agua y alimento fue *ad libitum*.

En el día 35, finalizaron las tres etapas del ciclo y con el logro del peso deseado, los pollos fueron llevados al área de sacrificio, dentro de la misma Unidad Avícola, con la posterior disposición de residuos en la zona de la compostera de Zamorano. En el sistema de segundo plano, se consideró la etapa de pre-granja, con sus respectivas operaciones unitarias para producción de granos utilizados en los concentrados (Figura 2).

**Figura 2**

*Fases del ciclo de vida para el sistema productivo de pollos de engorde y límites de estudio*



### **Análisis de Inventario**

La información del inventario de ciclo de vida fue obtenida mediante registros específicos en la Unidad Avícola a través de un formato estructurado teniendo en cuenta las dimensiones, el material, la densidad y uso de energía para los bienes de capital; las dosis y consumos diarios de alimento y agua a través de la tara de alimento y agua de entrada. El uso de energía y gas propano para la ventilación y calefacción fueron determinados a partir del tiempo de uso diario y la ficha técnica de consumos de los equipos. También, se llevaron a cabo registros de las actividades de preparación de los concentrados a partir de los insumos necesarios para las dietas a evaluadas (Anexos B, C y D). Para desarrollar este monitoreo se realizaron visitas diarias durante los 35 días de la fase producción, recolectando información de manera precisa de las etapas en el sistema de primer plano. Además, se aplicó un cuestionario estructurado a los encargados de la fase de incubación. Los datos

relacionados con la producción de residuos, incluida la mortalidad fueron tomados diariamente en el ciclo de producción. Se colectaron muestras de estiércol para determinar la humedad y concentración de N y P. Las muestras para determinar humedad fueron llevadas a los laboratorios del Departamento de Ambiente y Desarrollo. La humedad se determinó mediante la relación peso húmedo: peso seco. Después del pesaje en húmedo fueron llevada a estufa por 24 horas a 105 °C en un análisis triplicado. 200 gramos de heces en el al Laboratorio de Suelos de Zamorano para determinar concentraciones de N y P mediante el método Kjeldahl para el N amoniacal y espectrofotometría para P total.

La información de entradas de energía y materia en las fases del ciclo de vida fue estructurada en una hoja de cálculo de Excel para realizar los respectivos ecobalances. Se realizaron asignaciones económicas y másicas para las materias primas no convencionales (semolina de arroz y harina de palmiste), los fitobióticos y los materiales de bienes de capital incluyendo la vida útil de acuerdo con las condiciones tradicionales de manejo de galpones de avicultura en Honduras. Posteriormente, se realizó el modelado a partir de los ecobalances en software Umberto® de IfuHamburg – iPoints Group, para analizar el inventario mediante la clasificación en el ACV.

### **Dietas Alimenticias**

La preparación y mezcla de dietas se elaboraron de acuerdo con las etapas de crecimiento de los pollos, las dietas se procesaron en dos tandas debido a la capacidad máxima de la mezcladora (226.79 kg), en la Planta de Concentrados de Zamorano y dentro de la Unidad Avícola, con un total producido de 589.68 kg de dieta Control (CN), 454.50 kg de dieta ZamoAmet Convencional (ZAC) y 362.88 kg de ZamoAmet Alternativo (ZAA).

### **Parámetros de Producción**

De acuerdo con el Cuadro 1, los parámetros evaluados para el análisis del rendimiento de los pollos de engorde fueron, consumo de alimento por etapa, desecho de alimento por etapa y el peso vivo, ya que la interrelación de estas variables permite determinar el índice de conversión alimenticia. Además, se monitoreó de manera diaria la tasa de mortalidad. La cantidad de alimento consumido se

evalúo mediante la relación entre la oferta y el consumo, a partir del pesaje del alimento al inicio y final de cada etapa. Para determinar la ganancia de peso promedio por etapa se realizaron mediciones para cada tratamiento y repetición en los días 10, 18 y 35 del ciclo productivo. La etapa de sacrificio se realizó en el día 35, con la evaluación detallada de 20 pollos por cada tratamiento para obtener el peso de la canal, viseras, plumas y sangre.

### Cuadro 1

#### *Parámetros de seguimiento en el sistema de producción*

Datos de producción	Unidades	Producción anual
Edad de sacrificio	Días	35
Ciclos de producción	números/año	7.3
Densidad	pollos/m <sup>2</sup>	8.5
Producción de pollos anual	Pollos/galpón/año	16,352
Producción de pollos por ciclo	Pollos/ciclo/año	2,240
Promedio de peso vivo	kg/pollo	2.2
Promedio de peso canal	kg/pollo	1.53
Consumo de alimento	kg/pollo	3.44
Promedio de tasa de mortalidad	% mortalidad/ciclo	5.2
Área del galpón	m <sup>2</sup>	400

### Parámetros Ambientales

La volatilización de NH<sub>3</sub> se evaluó diariamente (mañana y tarde) utilizando el sensor “Basic Ammonia Detector” NH 3000. Adicionalmente, se midió la concentración de nitrógeno (N), fósforo (P) y humedad en las heces fecales en los días 18 y 35 del ciclo productivo. Para la recolección de las muestras se utilizaron jaulas metabólicas donde se colocaron seis pollos por repetición. Los animales permanecieron en las jaulas durante 12 horas, y posteriormente, se recolectaban las muestras para determinar las concentraciones de N, P y humedad.

### Análisis Estadístico

Los datos de monitoreo fueron evaluados mediante un análisis de la varianza de un factor con (ANDEVA), con un nivel de significancia del 95% y comparación de medias de Duncan. Todos los análisis fueron realizados con el software InfoStat 2019.

## Evaluación de Impacto

Los resultados del inventario fueron caracterizados y asignados a cada categoría de impacto del método CML 2001 de la Universidad de Leiden que determina un análisis de puntos medios. Se utilizó la base de datos Ecoinvent 3.7.1<sup>®</sup> incluida en el software Umberto<sup>®</sup>. Las categorías de impacto con sus respectivas unidades de equivalencia se detallan en el Cuadro 2.

### Cuadro 2

*Categorías de impacto ambiental evaluadas en el método CML 2001*

Categorías de impactos	Unidades
Potencial de Calentamiento Global (GWP)	kg CO <sub>2</sub> eq
Agotamiento de los recursos abióticos	MJ eq
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC-11 eq
Potencial de eutrofización	kg PO <sub>4</sub> eq
Potencial de acidificación	kg SO <sub>2</sub> eq
Ecotoxicidad acuática en agua dulce	kg 1,4-diclorobenceno-eq
Toxicidad humana	kg 1,4-diclorobenceno-eq
Ecotoxicidad en agua marina	kg 1,4-diclorobenceno-eq
Ecotoxicidad Terrestre	kg 1,4-diclorobenceno-eq
Uso del suelo	m <sup>2</sup> a

## Resultados y Discusión

### Indicadores de Producción

El análisis general del sistema productivo de primer plano se determinó en las tres etapas del sistema de primer plano o granja, como se determina en la Figura 1. Para el caso se determinaron los efectos de las dietas nutraceuticas sobre los indicadores productivos y ambientales. Para el caso de caso de la variable ganancia de peso y mortalidad, el Cuadro 3 muestra los efectos y por lo cual se determina que la ganancia de peso fue mayor para las tres etapas productivas (inicio, crecimiento y engorde) en T2 comparado con T1 y T3. En estos tratamientos, además, no se encontró diferencia significativa ( $P > 0.05$ ). No obstante, en cuanto a mortalidad el tratamiento T3 presentó un porcentaje más alto y con diferencia significativa ( $P < 0.05$ ), especialmente en la etapa de inicio. En tanto que, T1 y T2 no presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ).

### Cuadro 3

*Efecto de las dietas nutraceuticas en la ganancia de peso y la mortalidad en las etapas productivas*

Tratamientos	Pesos en kg			Mortalidad (%)
	Inicio (0-10 días)	Crecimiento (11-18 días)	Engorde (19-35 días)	
T1	0.244 <sup>b</sup>	0.809 <sup>b</sup>	2.125 <sup>b</sup>	1.25 <sup>b</sup>
T2	0.254 <sup>a</sup>	0.846 <sup>a</sup>	2.203 <sup>a</sup>	1.25 <sup>b</sup>
T3	0.244 <sup>b</sup>	0.812 <sup>b</sup>	2.075 <sup>b</sup>	3.75 <sup>a</sup>
EE±	0.002	0.007	0.022	0.65
Valor de P	0.026	0.018	0.018	0.052

Nota. <sup>a, b</sup>. Medias en la columna con letras diferentes presentan diferencia estadística ( $p < 0.05$ ); T1: control; T2: ZamoAmet convencional;

T3: ZamoAmet Alternativo

La diferencia entre tratamientos se debe, entre otras cosas, al uso de los fitobióticos como el annatto (*Bixa orellana*) y polvo de hoja de marañón (*Anacardium occidentale*) en las dietas, ya que estos ingredientes aumentan la capacidad digestiva y tienen propiedades antioxidantes que mejoran el desarrollo de los pollos. De la misma manera, lo plantean Martínez et al. (2012), quienes encontraron que las hojas de marañón tiene un alto contenido de minerales esenciales y metabolitos secundarios como cuminas, flavoides, triterpenos, antocianinas, fenoles y saponinas que en

cantidades pequeñas ejercen un efecto antimicrobiano, antiinflamatorio y antioxidante, lo cual influye en los procesos digestivos de los animales y aumenta la eficiencia en la conversión del alimento y ganancia de peso. Además, Huang et al. (2018), determinaron que pequeñas cantidades de taninos en la dieta de animales monogástricos puede funcionar como un antibiótico natural, mejorando el entorno microbiano intestinal y el rendimiento productivo. El efecto positivo puede estar relacionado con el efecto sobre el equilibrio de las poblaciones microbianas del tracto gastrointestinal y una mayor altura y ancho de las vellosidades, lo que representan un aumento en el área de la superficie de absorción del intestino y por tanto, una mayor capacidad de conversión y ganancia en peso. Los resultados observados (Cuadro 3), concuerdan con lo determinado por Martínez et al. (2021), quienes compararon dietas con adiciones de polvo de hojas de marañón en proporciones del 0.50 y 0.75% y concluyeron que mejor rendimiento en peso se obtuvo con la proporción más alta del aditivo botánico.

Al no encontrar diferencias significativas entre T1 y T3 en ganancia en peso, se considera una condición favorable, ya que la dieta T3 presentaba sustituciones del 20 y 2% de maíz y soya, respectivamente. Lo anterior, determina que se puede alcanzar rendimientos productivos similares a la dieta convencional (T1) y con menores costos de producción y la disminución de impactos ambientales relacionados con el transporte marítimo y terrestre de productos importados, para el caso, de Estados Unidos de América. Adicionalmente, el uso de residuos de la industria de aceite de palma y arroz representa un mecanismo de valorización de subproductos de otras producciones alimenticias. De acuerdo con Al-Sagan et al. (2021), el desperdicio de residuos de industria de alimentos es uno de los principales desafíos globales que tienen impactos socioeconómicos y ambientales adversos. Debido a estas circunstancias, es imperativo estudiar su potencial de uso y minimizar las consecuencias negativas. En este caso, los autores encontraron que el remplazo del 20% de maíz con desechos de pan árabe seco generaba un impacto en aumento en el peso corporal vivo y la canal eviscerada en aproximadamente el 4.24 y 4.90%, correspondientemente. Adicionalmente, el análisis económico mostró reducciones potenciales en el costo de la dieta de los pollos de engorde y

el costo total de producción a medida que aumentaban los niveles de sustitución de maíz por los desechos del pan árabe en la dieta no convencional. De otro lado, la sustitución de maíz y soya con semolina de arroz concuerda con lo reportado por Campos-Granados y Arce-Vega (2016), quienes determinaron que añadir un 20% de semolina de arroz a la dieta no sólo, no afectaba el rendimiento de los pollos, debido a que es una excelente fuente energética y con alto valor nutritivo, sino que además aumentaba la ganancia de peso. No obstante, el T3 presentó una mayor mortalidad, lo cual pudo estar relacionado con la sustitución con los residuos de la producción de aceite de palma (harina de palmiste).

La harina de palmiste fue utilizada en la dieta T3 para reemplazar el 5% de la soya y el maíz, comparado con T2 se evidenció un menor peso, no obstante, con respecto a la dieta convencional T1 no hubo diferencias en este parámetro, aunque si en mortalidad, como ya se había mencionado. Esto puede estar relacionado con el alto contenido de fibra cruda en la dieta. Según Yaophakdee et al. (2018), la adición de harina de palmiste reduce la eficiencia en la ganancia de peso y puede aumentar la mortalidad, debido a su mayor contenido de humedad y por tanto, genera una mayor cantidad de deposiciones y con mayor frecuencia. No obstante, Abidah y Wan Noorai (2017); reportaron que la sustitución del 10% maíz con harina de palmiste presentó mayor rendimiento en peso con respecto a la dieta convencional (principalmente maíz), resultados contrastantes a los reportados por Yaophakdee et al. (2018). La discrepancia en los estudios puede atribuirse a diferencias en la formulación de las dietas utilizadas, ya que, en este último estudio, utilizaron una sustitución incremental y no regular, entre las etapas de inicio y crecimiento (5 y 15%, correspondientemente).

Por otro lado, los rendimientos en peso pueden estar también asociados a la adición del 1% de zeolita en T2 y T3, ya que se ha reportado la eficiencia de este mineral para incrementar la actividad enzimática, por tanto, mejorar la digestibilidad de los nutrientes. De acuerdo, con Wawrzyniak et al. (2017), agregar el 2% de zeolita en la dieta de pollos de engorde, mejora la asimilación de los nutrientes y la actividad enzimática de las secreciones gastrointestinales. La zeolita puede provocar un aumento en las vellosidades intestinales logrando un incremento en el peso corporal de los pollos.

Este proceso, unido al efecto sobre el equilibrio de las poblaciones microbianas del tracto gastrointestinal, logrado con la adición de fitobióticos de marañón y annatto comprueban la eficacia del manejo de las dietas nutraceúticas sobre la productividad y salubridad de los animales.

En el Cuadro 4 se muestra el efecto de las dietas nutraceúticas sobre el peso relativo de los órganos viscerales de los pollos al día 35. El peso de los órganos linfoides (bolsa de Fabricio, bazo, y timo) no evidenció diferencias significativas ( $P > 0.05$ ). Mientras que el peso de la grasa abdominal y el intestino delgado mostraron diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre T2 y T3 con respecto a T1, caso contrario con el intestino grueso ( $P > 0.05$ ). En cuanto a la grasa abdominal y el intestino grueso con mayor peso en T2 y T3 comparado con T1, es necesario evaluar con mayor profundidad estos aspectos ya que una cantidad más alta de estas vísceras puede conducir mayor generación de residuos. A no ser utilizados en la producción de nuevos bienes o dispuestos de manera óptima pueden incrementar el impacto ambiental. En tanto que, T1 con menor peso promedio en grasa abdominal, refleja un mayor aprovechamiento calórico. Belloir et al. (2017), reportan que al disminuir la proteína cruda de la dieta el porcentaje de grasa abdominal incrementa, pero no afecta el peso corporal, la ganancia de peso, ni el consumo de alimento, como en efecto ocurrió en T2 y T3. Mientras que, el peso del intestino delgado y de los ciegos muestran un buen desarrollo de los órganos digestivos, lo que está ligado a la salud digestiva y rendimiento de los animales.

#### Cuadro 4

*Efecto de las dietas nutraceúticas sobre los órganos linfoides, intestino y grasa abdominal a los 35 días*

Tratamientos	Bazo	GA	BF	Timo	IG	ID
	(kg)					
T1	0.0019	0.018 <sup>b</sup>	0.0033	0.0031	0.016	0.091 <sup>a</sup>
T2	0.0021	0.027 <sup>a</sup>	0.0035	0.0040	0.019	0.084 <sup>ab</sup>
T3	0.0020	0.026 <sup>a</sup>	0.0040	0.0035	0.017	0.079 <sup>b</sup>
EE ±	1.40E-04	1.50E-03	1.00E-04	5.00E-04	1.00E-03	2.50E-03
Valor de P	0.7397	0.0003	0.1958	0.2061	0.1419	0.0067

*Nota.* <sup>a, b</sup> Medias en la columna con letras diferentes presentan diferencia estadística ( $p < 0.05$ ); GA: Grasa abdominal; BF: Bolsa de Fabricio;

IG: Intestino Grueso; ID: Intestino Delgado; T1: control; T2: ZamoAmet convencional; T3: ZamoAmet Alternativo.

Los órganos linfoides son importantes en el desarrollo de los pollos, en especial en la fase de crecimiento ya que desempeñan un papel fundamental en su sistema inmune y debido a esto, en la productividad del sistema y su relación con el impacto ambiental. La bolsa de Fabricio y el timo son los órganos linfoides primarios que tienen la función de amplificar y diferenciar los linfocitos B (Fellah et al., 2014) y por lo tanto, activan las células en contra de los patógenos del organismo. Los resultados de este estudio fueron similares a los encontrados por Martínez et al (2021), quienes no encontraron diferencia estadística en el peso de los órganos linfoides de pollos de engorde alimentados con dietas nutraceuticas, ya que la adición de polvo de hoja de marañón y annatto, que tienen propiedades antibacterianas, resultan en efectos positivos en el tracto gastrointestinal y en general, en la totalidad del metabolismo de los pollos, por lo cual no hay aumento del peso de los órganos linfoides.

Comúnmente, al mejorar los procesos metabólicos bajo esquemas de una buena salubridad de los animales y el aporte de dietas más digeribles, lleva a una mayor eficiencia y conversión en peso, por lo cual se podría esperar menos pérdidas metabólicas en proteína y menor cantidad de N y P en heces. Así mismo, mayor cantidad de porciones comestibles del animal. En el Cuadro 5 se observa el efecto de las dietas nutraceuticas en el peso de las porciones comestibles de los pollos. T2 representó el mayor rendimiento en canal, pierna y pechuga ( $P < 0.05$ ) en comparación a T1 y T3. El aumento en el rendimiento de la canal, pechuga y pierna en T2 se debe especialmente al uso de fitobióticos, como se discutió con anterioridad, ya que los altos contenidos de minerales esenciales y metabolitos secundarios contenidos en esta dieta inciden en la conversión a biomasa de los pollos de engorde. Martínez et al. (2021), reportaron que el rendimiento de la canal de los pollos, mejora con la adición de 0.75% de polvo de hoja de marañón en la dieta regular de cada una de las etapas del ciclo productivo de los animales. Lo anterior, se debe a que la presencia de flavonoides en la dieta, provistos por el polvo de hoja de marañón, fortalece las respuestas positivas a efectos ambientales y nutricionales que inducen al estrés y, por tanto, mejoran la asimilación de los nutrientes. También, North et al. (2019), determinan que los flavonoides generan impactos positivos sobre la composición

de ácidos grasos y la estabilidad oxidativa de la carne, lo que en consecuencia, impacta en una mejor producción y desempeño ambiental, sin el uso de aditivos sintéticos.

De acuerdo con los análisis, la comparación del uso de antioxidantes sintéticos y los antioxidantes naturales como el annatto y el marañón, en la industria avícola presentan resultados similares, lo cual sugiere que puede ser sustituidos (Pitino et al., 2021), lo que redundaría en mejores prácticas de producción para la generación de bienes alimenticios inocuos y con menor impacto ambiental, apuntando a la sostenibilidad del sector avícola. El uso de fitobióticos y zeolita en las dietas para pollos de engorde ha mostrado efectos positivos, no solo como promotor de crecimiento sino como posible sustituto en el uso de antibióticos, mejorando la función intestinal y aumentando la actividad enzimática con incremento en la digestibilidad de los nutrientes (Grashorn, 2010; Puváča et al., 2013). Este es un efecto muy importante ya que el exceso de antibióticos utilizados con fines terapéuticos y sobre todo como promotores de crecimiento, provoca impactos en el ambiente y crea resistencia a enfermedades en humanos y animales (Mehdi et al., 2018).

### **Cuadro 5**

*Efecto de las dietas nutraceúticas en las porciones comestibles de los pollos de engorde (35 días)*

Tratamientos	Peso en kg		
	Peso de la canal	Peso Pechuga	Peso de Pierna
T1	1.54 <sup>b</sup>	0.325 <sup>a</sup>	0.319 <sup>b</sup>
T2	1.61 <sup>a</sup>	0.331 <sup>a</sup>	0.336 <sup>a</sup>
T3	1.45 <sup>c</sup>	0.291 <sup>b</sup>	0.298 <sup>c</sup>
EE±	0.02	0.01	0.01
Valor de P	< 0.0001	0.0001	0.0001

*Nota.* <sup>a, b, c</sup> Medias en la columna con letras diferentes presentan diferencia estadística ( $p < 0.05$ ); T1: control; T2: ZamoAmet convencional;

T3: ZamoAmet Alternativo.

### **Indicadores Ambientales**

Los indicadores ambientales en sistemas productivos se encuentran directamente relacionados con los modelos de producción y su manejo. Aunque los productos avícolas son reconocidos, junto con la leche, como los más eficientes ambientalmente entre las principales cadenas

de producción ganadera, en particular en lo que respecta a la huella de carbono, pero también al agotamiento de los recursos (por ejemplo, el uso de la tierra y la energía) (Costantini et al., 2021; Roma et al., 2015). No obstante, estos se incluyen en la gama de productos de impacto medio-alto cuando se considera una canasta más amplia de alimentos frescos comestibles (Clune et al., 2017). De esta manera, la eficiencia en el uso de los recursos, la optimización de procesos y el uso de aditivos que incrementan la digestibilidad de los alimentos, es fundamental para buscar la mejora continua de la sostenibilidad de las cadenas de suministro avícola, disminuyendo el impacto ambiental a través de las cargas de N y P en las heces fecales, así como en diversas categorías de impacto.

De acuerdo con los resultados, las dietas nutraceuticas y la inclusión de residuos de otras industrias pueden disminuir el impacto ambiental, representado en las variables monitoreadas y en las categorías de impacto ambiental evaluadas a través del ACV (Cuadro 2). En particular, las concentraciones de N en las heces fecales no mostraron diferencia estadística entre los tratamientos ( $P > 0.05$ ). No obstante, T2 presentó la menor concentración (0.041 kg × kg), seguido de T3 (0.042 kg × kg) y T1 (0.044 kg × kg). Mientras que, para P las concentraciones más bajas se encontraron en T2 (0.009 kg × kg) con diferencias significativas con T1 y T3 ( $P < 0.05$ ). La pérdida de N, principalmente en forma amoniacal, se debe a un desbalance proteico que se relaciona con el metabolismo muscular y el catabolismo de aminoácidos (Lin et al., 2017), lo que se refleja en pérdidas de N en el estiércol y los consecuentes impactos ambientales. En las dietas evaluadas se disminuyó la proteína cruda en 1% en comparación a la dieta control, lo que provocó una reducción en las concentraciones de N en las heces fecales del T2 y T3. De acuerdo a Belloir et al. (2017), reducciones del 4% de la proteína cruda pueden provocar disminución hasta del 10% de N en las excretas. Adicionalmente, como se explicó en la sección anterior la adición de fitobióticos y zeolita que mejoran la asimilación de nutrientes, llevan a la reducción de las pérdidas de N en las excretas de los pollos y menores aportes en categorías de impacto ambiental como eutrofización, acidificación, ecotoxicidad terrestre y acuática e indirectamente, en cambio climático, al disminuir la disponibilidad de N para procesos de

denitrificación posterior en suelos o la formación de  $Nr$  que una vez se depone puede generar emisiones de  $N_2O$ .

En cuanto a las concentraciones de fósforo total encontrado en las heces fecales, elemento también aportante a la eutrofización, acidificación y ecotoxicidad, el T2 presentó la concentración más baja de P. Este resultado evidencia el papel de las enzimas adicionadas a la dieta. La fitasa permite un mejor aprovechamiento de los nutrientes presentes en la dieta y permite su incorporación en generada. El P es esencial para el desarrollo de las aves, ya que le permite cumplir diversas funciones como el desarrollo y mantenimiento del sistema óseo y otras funciones metabólicas. Sin embargo, en la dietas de los pollos el P se encuentra en forma de fósforo fítico lo que conduce a una disminución de la digestibilidad de los nutrientes y eleva la concentración de P en el estiércol, generando impactos negativos en el ambiente como la eutrofización (Abbasi et al., 2019). Las moléculas de ácido fítico contienen el 28.2% de fósforo (Kornegay, 2000), pero sus propiedades antinutricionales hacen que este fósforo no esté disponible para los pollos y, además, formen complejos con otros nutrientes. Para reducir este problema se adicionó un complejo enzimático en las dietas T2 y T3 que llevó al mejor aprovechamiento del P y la disminución en las excretas y, por consiguiente, la reducción de los aportes a las categorías de eutrofización y ecotoxicidad acuática y terrestre, como se explica más adelante. Estos resultados concuerdan con lo reportado Kebreab et al. (2012), cuyo estudio utiliza adicionales de enzimas fitasas en la dietas para pollos de engorde y logra aumentos de la disponibilidad de P entre el 42 al 95%, disminuyendo la concentración de P en heces.

### **Cuadro 6**

*Efecto de las dietas nutracéuticas en las concentraciones de N, P y Humedad en las excretas*

Tratamientos	Concentración de N y P kg/kg		Humedad
	N	P	%
T1	0.044	0.011 <sup>a</sup>	77.46
T2	0.041	0.009 <sup>b</sup>	72.37
T3	0.042	0.011 <sup>a</sup>	74.00
EE±	0.003	0.0005	1.63
Valor de P	0.648	0.018	0.134

*Nota.* <sup>a,b</sup> Medias en la columna con letras diferentes presentan diferencia estadística ( $p < 0.05$ ); T1: control; T2: ZamoAmet convencional;

T3: ZamoAmet Alternativo.

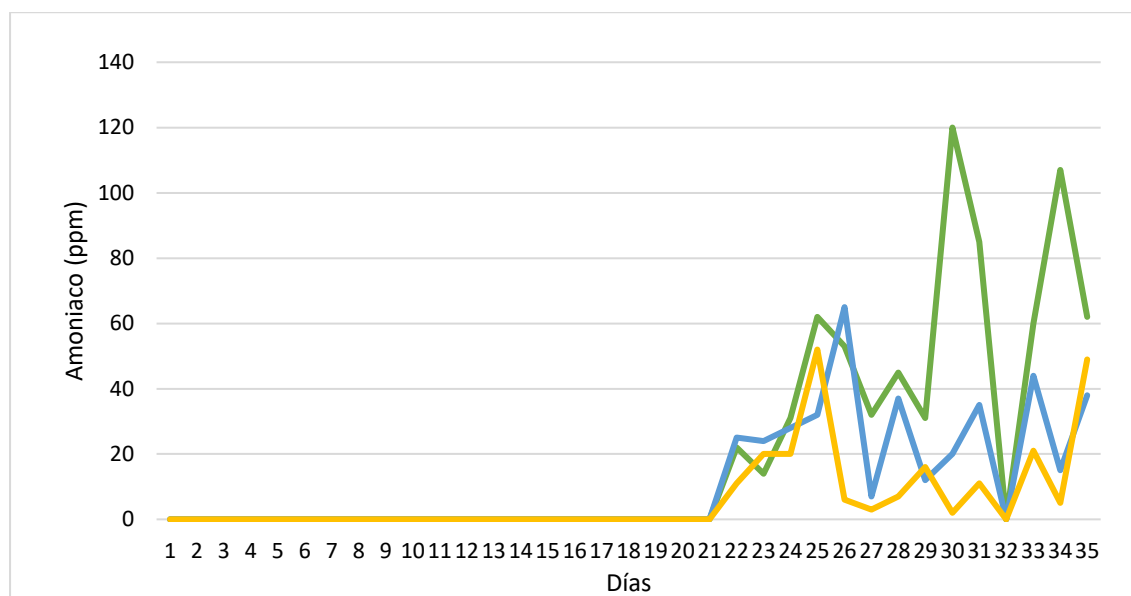
El porcentaje de humedad en las heces fecales tampoco evidenció diferencia estadística entre los tratamientos evaluados. No obstante, el T2 tuvo un menor valor de humedad en comparación a T1 y T3, similar a lo reportado por van der Hoeven-Hangoor et al. (2013). En su estudio, los autores establecieron que altos contenidos de proteína o fibra en la dieta, pueden causar un incremento en la capacidad de fijación de agua en las heces fecales. La adición de zeolita ayuda a mejorar la asimilación de N, ya que tiene una alta afinidad y selectividad por los iones  $\text{NH}_4^+$  y puede adsorber  $\text{NH}_3$  en las heces fecales que se producen con un mayor contenido de agua. Aunque Almeida et al. (2016), determinan que la adición de pequeñas cantidades de zeolita a la dieta no tiene impacto en la reducción de la humedad en comparación con la adición directa de la zeolita, sobre las camas, los efectos sobre la asimilación de N son importantes y pueden disminuir el impacto ambiental, por cargas de N en las heces y su posterior liberación en forma de  $\text{NH}_3$ .

La volatilización de amoníaco  $\text{NH}_3$  es una de las mayores preocupaciones de la producción avícola debido a los impactos ambientales y productivos que esto provoca (Naseem y King, 2018). El amoníaco atmosférico elevado en las instalaciones avícolas se relaciona con daños en el revestimiento del tracto respiratorio, menor resistencia a enfermedades respiratorias, aumento de la ascitis y menor rendimiento (Mallek et al., 2012). Lo anterior, determina que las mediciones de los niveles atmosféricos en los galpones son un componente fundamental para determinar acciones de manejo de camas y de variables ambientales y especialmente, contenido de N y humedad en las heces fecales. En la actualidad, existen diferentes métodos de medición de sus concentraciones, pero una de las más utilizadas es a través de sensores móviles o estáticos. En este caso se utilizaron sensores móviles para monitorear en la mañana (7:00 a.m.) y en la tarde (3:00 p.m.) y determinar su relación con la temperatura y humedad. La Figura 3, evidencia las concentraciones registradas durante el ciclo productivo (1-35 días) en horas de la mañana, con presencia detectable sólo a partir del día 22 del ciclo productivo. El T1 presentó la mayor concentración de  $\text{NH}_3$  alcanzando valores de hasta 120 ppm en algunos días y con picos máximos al finalizar el ciclo productivo. En tanto que, T2 y T3 alcanzaron máximas concentraciones de 65 y 52 ppm, respectivamente, lo cual está relacionado con menores

cantidades de N disponible en las heces fecales. Lo que muestra que un mejor aprovechamiento del N conlleva a una reducción en la volatilización de  $\text{NH}_3$ . La principal fuente de  $\text{NH}_3$  en la producción de pollos se debe a la proteína cruda que está disponible en la dieta, el N no asimilado y presente en el ciego, se mineraliza en forma de ácido úrico y posteriormente, por procesos microbianos en presencia de la enzima ureasa provoca hidrólisis de la urea transformándola en  $\text{NH}_3$  (Sousa et al., 2017) y  $\text{CO}_2$ . Por consiguiente, el manejo de una formulación con base en aminoácidos y no en proteína cruda y la adición de fitobióticos y zeolita que incrementaron la asimilación de N y disminuyeron su pérdida en las heces fecales, resultó positiva en términos de productividad y disminución del impacto ambiental. Estos aspectos concuerda con los resultados de Naseem y King (2018), quienes reportan menores concentraciones de  $\text{NH}_3$  en las camas de los pollos al reducir el 1% de la proteína cruda contenida en la dieta y la suplementación con aminoácidos esenciales.

### Figura 3

*Volatilización de  $\text{NH}_3$  en el ciclo productivo de los pollos de engorde a.m.*

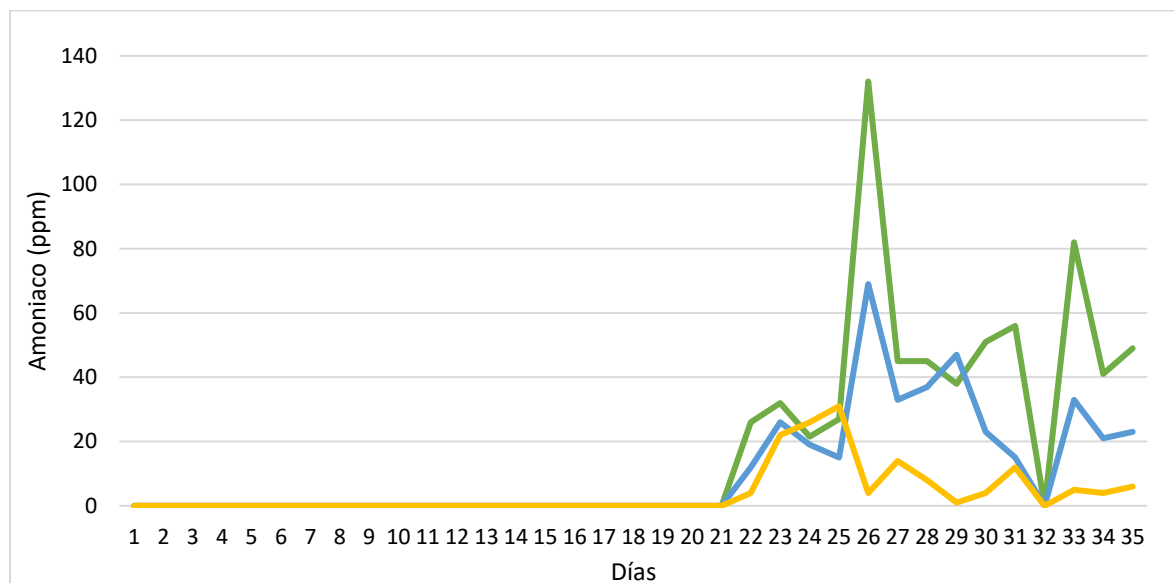


Nota. T1 (verde): control; T2 (azul): ZamoAmet convencional; T3 (amarillo): ZamoAmet Alternativo.

La volatilización del  $\text{NH}_3$  en la tarde siguió la misma tendencia y sus concentraciones se incrementaron a partir del día 22, lo que resulta en una relación efectiva con el incremento de la temperatura y humedad de las camas, debida al crecimiento de los pollos en el galpón. La Figura 4 evidencia que T1 y T2 presentaron concentraciones de 132 y 69 ppm, correspondientemente; en tanto que, en T3 disminuyeron las concentraciones atmosféricas, con 31 ppm como el mayor pico. (Knížatová et al., 2010; Naseem y King, 2018), determinaron que la volatilización de  $\text{NH}_3$  está directamente relacionada con temperatura y humedad relativa más alta, el pH de la cama y la ventilación del galpón. No obstante, los valores promedio diarios superiores a 30 ppm no incidieron en la productividad de los pollos de engorde debido a la baja relación entre la unidad de área y la densidad de animales y la buena ventilación natural. Aspectos que en galpones industriales puede llegar a ocasionar importantes consecuencias económicas, de bienestar de los animales y trabajados y cargas ambientales altas. (Yi et al., 2016; Zhou et al., 2020), concluyen que hay una relación directa entre las concentraciones atmosféricas de  $\text{NH}_3$  y el rendimiento de los pollos, cuando estas alcanzan concentraciones superiores a 25ppm, mientras concentraciones abajo de 15 ppm no tienen ninguna influencia en el crecimiento. En el caso del tratamiento T3 su baja concentración de  $\text{NH}_3$  puede estar relacionando al porcentaje de mortalidad que se discutió en secciones anteriores. En resumen, la reducción en la volatilización de  $\text{NH}_3$  está ligado a la inclusión de dietas con ingredientes nutraceúticos que evidenciaron una mayor asimilación del N disponible en la dieta y al buen manejo del galpón.

**Figura 4**

*Volatilización de NH<sub>3</sub> en el ciclo productivo de los pollos de engorde p.m.*



Nota. T1 (verde): control; T2 (azul): ZamoAmet convencional; T3 (amarillo): ZamoAmet Alternativo.

### **Evaluación de Impacto Ambiental**

En la Figura 5 se muestran las categorías de impacto ambiental evaluadas mediante el método CML 2001. Para el análisis se utilizaron factores de caracterización proporcionados por la base de datos Ecoinvent 3.1.7 y el ajuste de modelos a partir de las mediciones directas de N y P en heces fecales, así como las concentraciones atmosféricas de NH<sub>3</sub>, en las fases del ciclo de vida determinadas como pre-granja que incluyó la extracción de materia prima y su procesamiento, incubación, montaje de infraestructura, producción (inicio, crecimiento y engorde), sacrificio y disposición de residuos en un enfoque de sistema de primer y segundo plano (Figura 1 y Anexo E). Las categorías de uso de suelo (LU), potencial de acidificación (AP), potencial eutrofización (EP) y cambio climático (CC), fueron las de mayor relevancia debido a una categorización de impacto directo y mayores cargas ambientales. La categoría de LU registró el mayor impacto entre los tratamientos evaluados, debido a que para este estudio se consideró la producción de maíz y soya en Estados Unidos de América (Illinois), como base de la alimentación de los pollos de engorde. T1 y T2 presentaron los valores más altos para esta

categoría, 5.01 m<sup>2</sup>a y 4.23 m<sup>2</sup>a\* UF respectivamente, la diferencia entre ambos se debe a un menor contenido de maíz y soya para T2. La menor contribución a esta categoría se reportó en T3 con 3.83 m<sup>2</sup>a\*UF esto directamente relacionado a una modificación en la dieta y una disminución del 20 y 2% de maíz y soya, así como la adición de subproductos de la industria de arroz y palma aceitera. En un estudio realizado por da Silva et al. (2014) se evaluó la producción de pollos de engorde en Francia y Brasil obteniendo valores de 2.68 m<sup>2</sup>a y 2.51 m<sup>2</sup>a respectivamente. Esto concuerda con lo reportado por Boggia et al. (2010); I. Leinonen et al (2012) donde reportaron que la categoría de uso de suelo fue la que presentó un mayor impacto en los tres sistemas evaluados (convencional, orgánico y orgánico plus), debido al uso de suelo en la producción de alimento, siendo el sistema orgánico el que tiene un mayor impacto, ya que los rendimientos de los cultivos son menor, sobre todo la producción de soya y maíz. La diferencia entre los resultados radica en las características de los sistemas productivos.

La carga ambiental en la categoría de cambio climático en T1, T2 y T3 fueron de 1.53 kg CO<sub>2</sub>eq, 1.44 kg CO<sub>2</sub>eq y 1.52 kg CO<sub>2</sub>eq por UF, respectivamente. Con respecto a valores de referencia como los reportados por Duarte da Silva et al. (2019), de 2.70 kg CO<sub>2</sub> eq × UF en Brasil, por Cesari et al. (2017) para Italia (5.52 kg CO<sub>2</sub>eq × UF) y por da Silva et al. (2014), de 2.22 kg CO<sub>2</sub>eq × UF en Francia, son drásticamente menores. Las diferencias entre países y regiones pueden estar directamente relacionada con la formulación de dietas, condiciones de crianza, la densidad de animales por galpón, la edad de sacrificio (duración del ciclo productivo) y el manejo de los residuos sólidos, ya que esto puede incrementar el uso de insumos y su transporte, y por tanto, las emisiones de gases de efecto invernadero de manera directa e indirecta. El T2 presentó el valor más bajo en esta categoría, debido a un mayor rendimiento por unidad de área, lo cual significa una mayor eficiencia en el uso de recursos. Así mismo, el menor uso de granos importados disminuye la carga ambiental, por emisiones indirectas. El uso de fitobióticos está relacionado con el incremento de la productividad por el impacto benéfico en la salud intestinal y su acción antimicrobiana, de esta manera causa un efecto indirecto en la disminución del impacto ambiental. Además, es necesario tener en cuenta las condiciones de

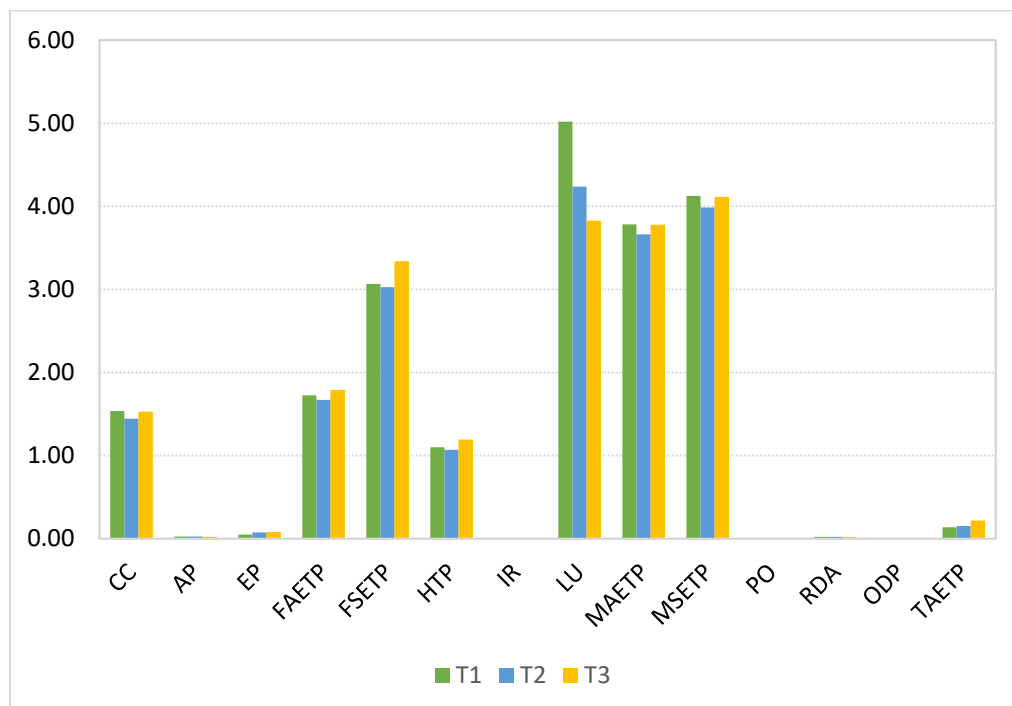
crianza implementadas en la Unidad Avícola, que facilitan el manejo de variables ambientales que fortalecen el bienestar de los animales y reduce las cantidades de N disponible en las excretas y las camas de los galpones. Esto es concordante con lo expuesto por Duarte da Silva et al. (2019), quienes determinan que la cantidad de N presente en las excretas está relacionado a la producción indirecta de N<sub>2</sub>O por proceso denitrificación del N durante la acumulación del estiércol en el galpón por largos periodos de tiempo.

Las cargas ambientales en la categoría de acidificación correspondieron a 0.028 kg SO<sub>2</sub>eq × UF (T1), 0.025 kg SO<sub>2</sub>eq\*UF (T2) y 0.024 kg SO<sub>2</sub>eq\*UF (T3), con mayores aportes de la fase pre-granja y especialmente por el manejo de los cultivos utilizados en las dietas. Así como, por los impactos generados a partir de sustancias acidificantes como el NH<sub>3</sub> a partir de las camas de los galpones en la fase de producción. Estudios similares como el de González-García et al. (2014), reportan un potencial de acidificación de 0.053 kg SO<sub>2</sub>-eq, la diferencia entre este estudio y el de la Unidad Avícola, puede estar relacionado con el manejo de las camas y del estiércol. En la Unidad Avícola se realiza un cambio de cama por ciclo productivo y todos los residuos orgánicos del sistema son compostados.

Para la categoría de EP las cargas ambientales fueron de 0.050 kg PO<sub>4</sub>-eq, 0.076 kg PO<sub>4</sub>-eq y 0.078 kg PO<sub>4</sub>-eq en cada tratamiento. González-García et al. (2014), reportan una carga ambiental en EP de 0.018 kg PO<sub>4</sub>eq se considera que la diferencia entre ambos estudios se debe a los ingredientes incluidos en las dietas. En el caso del T2 y T3 se reportó un incremento en el potencial de eutrofización, lo cual está relacionado al uso de zeolita en la dieta ya que este es un mineral que puede acarrear muchos nutrientes que se encuentran al suelo y luego se depositan en el agua.

**Figura 5**

*Categorías de impactos para la producción de pollos de engorde con diferentes dietas*



Nota. T1: control; T2: ZamoAmet convencional; T3: ZamoAmet Alternativo; CC: cambio climático 100ª; AP: Potencial de acidificación; EP: Potencial de eutrofización; FAETP: Ecotoxicidad acuática de agua dulce; FSETP: Ecotoxicidad de sedimento de agua dulce; HTP: Toxicidad humana; IR: Radiación ionizante; LU: Uso de suelo; MAETP: Ecotoxicidad acuática marina; MSETP: Ecotoxicidad de sedimentos marinos; PO: Oxidación fotoquímica; RDA: Agotamiento de los recursos abióticos; ODP: agotamiento del ozono estratosférico; TAETP: Ecotoxicidad terrestre.

En la Cuadro 7 se muestran las cargas ambientales de las categorías de impacto evaluadas para las diferentes fases de la cadena de suministro de pollos de engorde, donde se evidencia que la etapa de pre-granja ejerce la mayor presión ambiental sobre el resto de las categorías evaluadas. De acuerdo con da Silva et al. (2014); González-García et al. (2014) la fase de producción de materia prima es la que ejerce mayor impacto en el medio ambiente a lo largo de toda la cadena de suministro de pollos, asociado con el índice de conversión alimenticia de cada tratamiento que está relacionado con un consumo más eficiente de la dieta suministrada. Las cargas relacionadas a la categoría de CC están relacionadas con la producción insumos (maíz y soya) para las dietas y al sistema productivo. Esto concuerda con el estudio realizado por Ilkka Leinonen y Kyriazakis (2016) donde el mayor impacto

ambiental es generado por la producción de alimento (manejo de cultivos y transporte), el uso de energía en la granja (generación de calor y uso de energía eléctrica dentro del galpón) y las emisiones relacionadas al manejo de residuos (generación de excretas, y residuos biológicos).

### **Cuadro 7**

*Cargas ambientales de las categorías de impacto evaluadas para las diferentes fases de la producción de pollos (%).*

Tratamiento	Etapa del ciclo de vida	CC	AP	EP	HTP	LU
T1	Pre-granja	63.02	64.69	48.36	70.21	99.35
	Producción de pollos	35.79	34.66	51.47	28.13	0.25
	Incubación	0.15	0.08	0.007	0.07	0.001
	Infraestructura	0.37	0.21	0.08	0.54	0.33
	Disposición de residuos	0.68	0.37	0.09	1.05	0.07
	Total	100	100	100	100	100
T2	Pre-granja	59.92	61.12	29.9	69.13	99.23
	Producción de pollos	38.66	38.09	69.97	28.97	0.30
	Incubación	0.16	0.08	0.005	0.07	0.001
	Infraestructura	0.38	0.22	0.05	0.52	0.38
	Disposición de residuos	0.89	0.49	0.07	1.3	0.10
	Total	100	100	100	100	100
T3	Pre-granja	57.38	56.85	32.04	68.22	99.09
	Producción de pollos	40.44	41.66	67.78	26.8	0.34
	Incubación	0.16	0.09	0.004	0.07	0.001
	Infraestructura	1.15	0.89	0.10	3.78	0.47
	Disposición de residuos	0.87	0.51	0.08	1.13	0.01
	Total	100	100	100	100	100

*Nota.* CC: cambio climático 100<sup>º</sup>; AP: Potencial de acidificación; EP: Potencial de eutrofización HTP: Toxicidad humana; LU: Uso de suelo.

Para la categoría de AP la producción de insumos representa la mayor carga ambiental esto relacionado al uso de fertilizantes nitrogenados para la producción de maíz y soya, la volatilización de NH<sub>3</sub> y la producción de residuos orgánicos en la fase de producción. Para la categoría de EP la fase que representa un mayor aporte es la producción de pollos debido a ingredientes como la zeolita incluidos en la dieta, que como se mencionó anteriormente contribuye al arrastre de nutrientes, adicionalmente a las concentraciones de N y P presentes en las excretas.

En la Figura 6 se muestran los insumos utilizados en el T1 y su aporte a las cargas ambientales en las diferentes categorías. Para la categoría de CC el mayor porcentaje está asociado al uso de energía en la extracción de los insumos y la energía utilizados en la granja que supone un porcentaje de 49.99%. Kalhor et al. (2016), en su estudio determinaron que en la época de invierno el uso de energía incrementa debido al mayor consumo de combustible para calefacción dentro de los galpones, lo cual resultaba en un mayor impacto en la categoría de CC. Debido a que el estudio se llevó a cabo entre los meses de noviembre y diciembre, en los cuales se presentan las temperaturas más bajas en el año y algunas precipitaciones, se presentó un mayor uso de combustible para la calefacción, lo cual incrementa las emisiones directas de gases de efecto invernadero (GEI) y por tanto, la carga ambiental en esta categoría. La producción de maíz de las dietas se presentó como el segundo insumo aportante al impacto de la categoría de CC. Esto se encuentra relacionado con el manejo intensivo de los sistemas de provisión del grano en Estados Unidos. El manejo convencional con un alto uso de fertilizantes nitrogenados y permanente laboreo con maquinaria, presentan altos impactos en el ambiente en términos de generación de GEI relacionados a las actividades agrícolas. Pelletier, (2008), en su estudio determino que el uso de maíz en la dieta para pollos contribuye en gran medida a los impactos asociados al cambio climático, al igual que el uso de fertilizantes aporta un alto impacto a esta categoría, debido al uso de energía y a las emisiones de óxido nitroso liberadas a nivel de campo. Por tanto, la reducción del porcentaje de maíz en las dietas convencionales podría reducir el impacto ambiental asociado a la categoría de CC. Por su parte la producción de soya no tuvo un fuerte impacto en esta categoría, debido a que los cultivos de leguminosas no requieren una aplicación de fertilizantes minerales, lo cual reduce los impactos asociado a las emisiones de GEI (González-García et al., 2014).

Las cargas ambientales asociadas al AP se deben al uso de energía en un 47%, debido a la energía utilizada en el transporte de los insumos empleados en la dieta. La producción de maíz contribuyo en un 30%, esto debido al uso de fertilizantes nitrogenados como la urea que tiene una mayor tasa de emisión de  $\text{NH}_3$ , lo que provoca un aumento en la acidificación del sistema productivo (da Silva et al., 2014). Cesari et al. (2017) en su investigación reportó un menor impacto en la categoría

de acidificación comparado con los estudios hechos por da Silva et al. (2014) en donde los valores de acidificación son altos, debido a que tomaron en cuenta el almacenamiento y empaque del producto, lo que aumenta las cargas ambientales relacionadas a estas categorías. Para este estudio no se tomó en cuenta el almacenamiento, empaque y distribución, ya que la producción es para consumo interno de la universidad. El caso del EP la mayor carga está asociada a los cultivos de maíz y palma aceitera (33 y 36% respectivamente), y esto se debe al exceso en el uso de fertilizantes en los cultivos que provocan lixiviación de nitratos y fosfatos que son responsable de las emisiones al ambiente (Pelletier, 2008). Kalhor et al. (2016), reportaron que las emisiones del estiércol provenientes de la camas de los pollos, el uso de combustibles fósiles y la utilización de fertilizantes químicos en los cultivos contribuyeron en gran medida a la categoría de EP. Como se ha detallado con anterioridad, la densidad de los pollos en el galpón es menor a la registrada en otros estudios, así como el manejo del estiércol y residuos de las camas que son compostados una vez terminado el ciclo productivo, disminuyen las cargas ambientales.

Las cargas ambientales a la categoría de LU es una de las que más se vio afectadas debido a la producción de alimento sobre todo de maíz y soya (30 y 65% respectivamente). Boggia et al.(2010), en su estudio reportan que la categoría que sufre un mayor impacto es la de LU, debido la producción de alimento para pollos en especial de los cultivos de soya. Leinonen et al. (2012), expresan que las emisiones generadas por el cambio de uso de suelos (alteración del carbono almacenado en el suelo y la biomasa) y el uso de ingredientes como la soya y el aceite de palma, que se establecen en suelos que han sido deforestados para uso agrícola generan los mayor impactos para esta categoría. En otros estudios realizados como los de Cesari et al., 2017; da Silva et al., (2014) la deforestación tuvo un mayor impacto debido a que la soya utilizada en estos estudios provenía de Brasil que es uno de los países que tiene una alta tasa de deforestación a raíz de este cultivo.

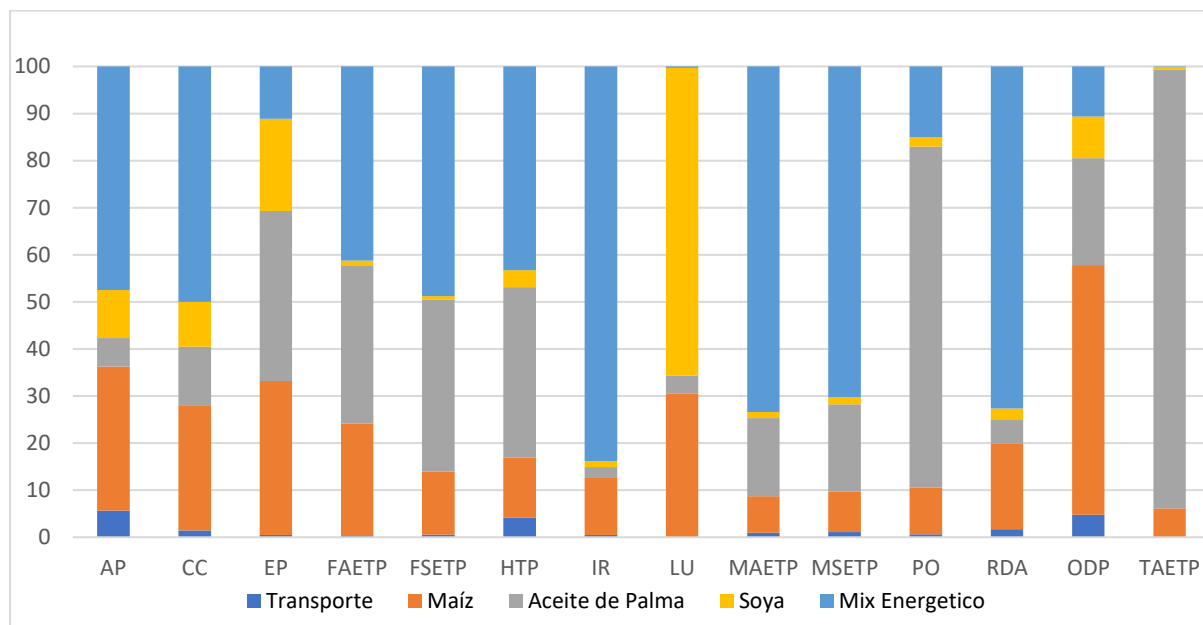
En la Figura 7 se observan los insumos utilizados para T2 los cuales siguieron la misma tendencia que el T1 en las categorías de CC con leves incrementos en el uso de energía (48% a un 53%), a causa de la energía adicional utilizada para la obtención de los productos nutracéuticos. En las

cargas de los cultivos de maíz si ocurrió una disminución (de 26 a 22%), que ocurrió por la disminución del maíz utilizado en la dieta. Tongpool et al. (2012), propusieron cinco opciones para disminuir los impactos ambientales ocasionados en la producción de alimento para ave, una opciones fue la implementación de energía renovable (fotovoltaica) para el procesamiento de maíz, se podría lograr una reducción de hasta un 60% en el uso de energía (combustibles fósiles). Aunque, se lograría una buena reducción en los impactos ocasionados por el uso de energía, habría un incremento, aunque en menor medida del uso de otros insumos como metales. Cesari et al. (2017), reportaron que al reducir el peso y la edad del sacrificio mejorarían la eficiencia alimentario de los pollos, lo que provocaría un disminución de los impactos ambientales sobre todo de la categoría de CC.

En la Figura 8 se muestran los insumos utilizados en el T3, en el caso de la categoría de CC los procesos relacionados a la extracción de aceite de palma ejercen un impacto significativo en dicha categoría, ya que en este tratamiento se utilizó más aceite de palma que en los otros dos. De igual forma, en la categoría de LU la producción de palma aceitera contribuyó a una mayor carga en esta categoría ya que las plantaciones de palma aceitera se asocian a diversos impactos negativos, sobre todo por la deforestación, degradación de los recursos y uso de fertilizantes. En el caso de la producción de maíz fue menor, debido a la sustitución realizada por palmiste y semolina que no generan mayor impacto por la asignación económica realizada. En el caso de la soya los valores fueron constante para los tres tratamientos, ya que la sustitución en soya fue baja no generó mayores impactos. Kebreab et al. (2016), al disminuir el uso de soya en la dieta por ingredientes alternativos como amino ácido y fitasa puede llegar a reducir el cambio en el uso de suelos, la acidificación y eutrofización. Aunque, en T2 y T3 el uso de energía incremento, lo cual está relacionado a la obtención de estos ingredientes alternativos, que en un futuro se puede mejorar la eficiencia para su obtención.

**Figura 6**

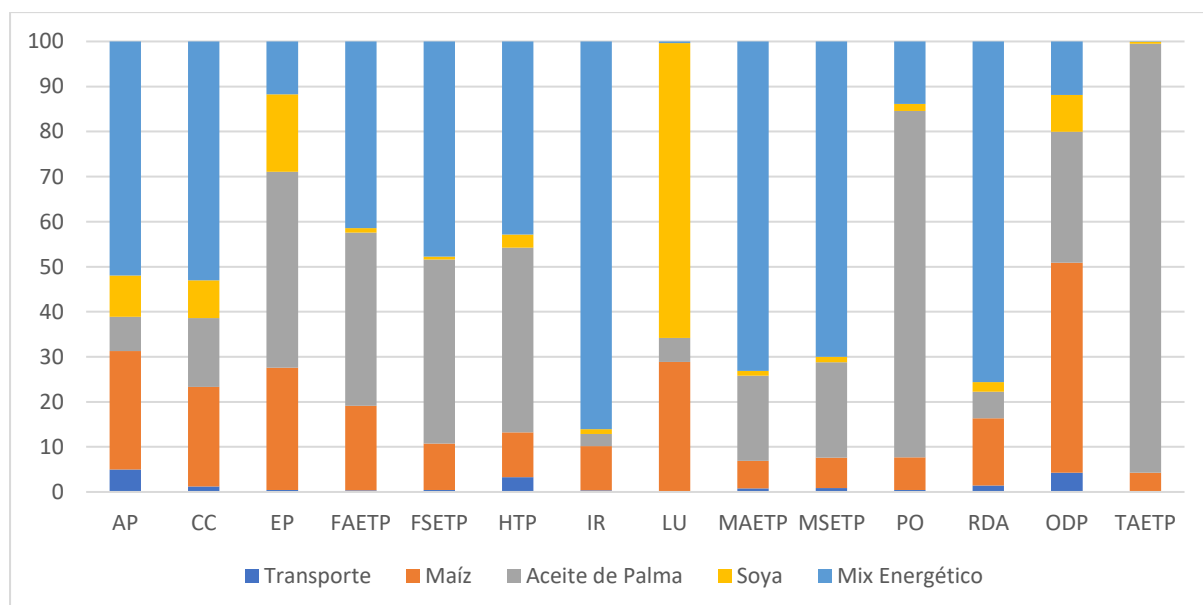
*Contribuciones del T1 para los diferentes insumos utilizados en las categorías de impacto ambiental*



Nota. CC: cambio climático 100<sup>a</sup>; AP: Potencial de acidificación; EP: Potencial de eutrofización; FAETP: Ecotoxicidad acuática de agua dulce; FSETP: Ecotoxicidad de sedimento de agua dulce; HTP: Toxicidad humana; IR: Radiación ionizante; LU: Uso de suelo; MAETP: Ecotoxicidad acuática marina; MSETP: Ecotoxicidad de sedimentos marinos; PO: Oxidación fotoquímica; RDA: Agotamiento de los recursos abióticos; ODP: agotamiento del ozono estratosférico; TAETP: Ecotoxicidad terrestre.

**Figura 7**

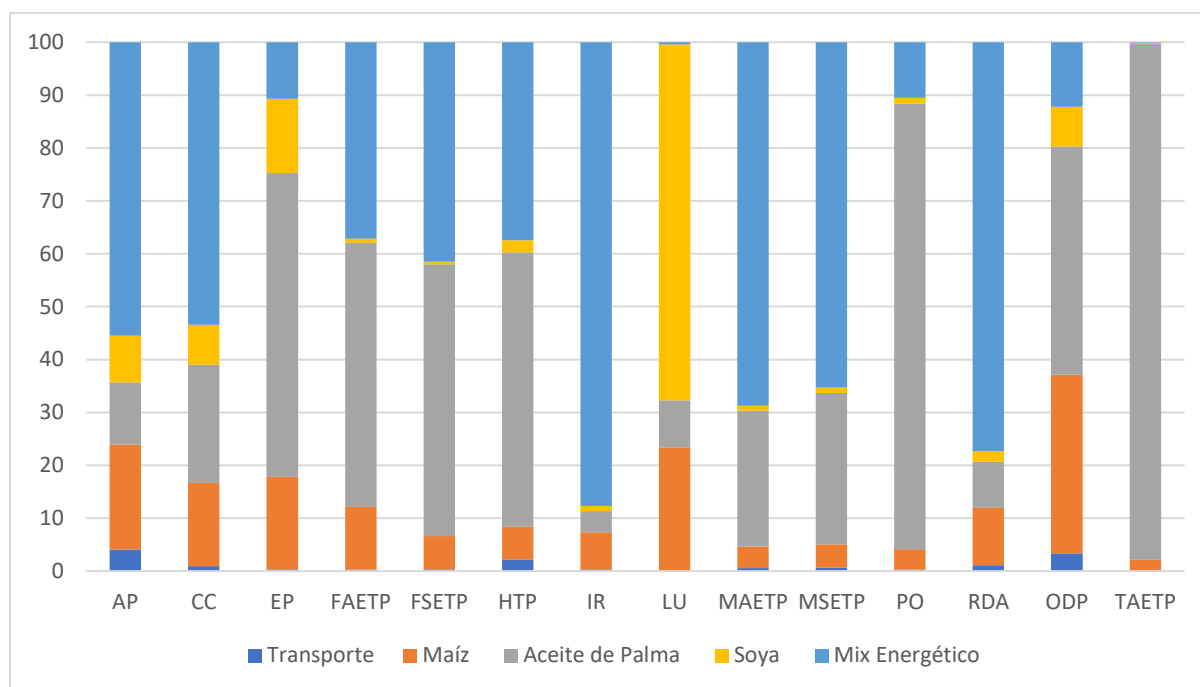
*Contribuciones del T2 para los diferentes insumos utilizados en las categorías de impacto ambiental*



Nota. CC: cambio climático 100ª; AP: Potencial de acidificación; EP: Potencial de eutrofización; FAETP: Ecotoxicidad acuática de agua dulce; FSETP: Ecotoxicidad de sedimento de agua dulce; HTP: Toxicidad humana; IR: Radiación ionizante; LU: Uso de suelo; MAETP: Ecotoxicidad acuática marina; MSETP: Ecotoxicidad de sedimentos marinos; PO: Oxidación fotoquímica; RDA: Agotamiento de los recursos abióticos; ODP: agotamiento del ozono estratosférico; TAETP: Ecotoxicidad terrestre.

### Figura 8

Contribuciones del T3 para los diferentes insumos utilizados en las categorías de impacto ambiental



Nota. CC: cambio climático 100ª; AP: Potencial de acidificación; EP: Potencial de eutrofización; FAETP: Ecotoxicidad acuática de agua dulce; FSETP: Ecotoxicidad de sedimento de agua dulce; HTP: Toxicidad humana; IR: Radiación ionizante; LU: Uso de suelo; MAETP: Ecotoxicidad acuática marina; MSETP: Ecotoxicidad de sedimentos marinos; PO: Oxidación fotoquímica; RDA: Agotamiento de los recursos abióticos; ODP: agotamiento del ozono estratosférico; TAETP: Ecotoxicidad terrestre.

## Conclusiones

El uso de dietas nutracéuticas a partir de la adición de fitobióticos, unido a la formulación de alimento basado en aminoácidos y en los factores de crianza, tuvo efectos en la disminución de las cargas ambientales de la mayoría de las categorías de impacto analizadas, debido a los incrementos de la producción y la salud de los animales. Esto refleja el potencial de uso de productos naturales y la eficiencia en el uso de recursos, así como el uso de productos residuales de la industria de arroz, para generar alternativas de mitigación del impacto ambiental, desde una perspectiva de ciclo de vida.

Las categorías con menores cargas ambientales por unidad funcional fueron acidificación y eutrofización, aspectos relacionados con la disminución del nitrógeno en las heces fecales y que pueden aportar a la transformación del ácido úrico en urea y posteriormente, en amoníaco y N reactivo, con emisiones de CO<sub>2</sub>.

Las fases con mayor aporte de cargas ambientales fueron pre-granja (que incluye a extracción de la materia prima para la producción de soya y maíz en Estados Unidos, el transporte terrestre a puerto y el transporte marítimo y transporte terrestre en Honduras y la producción de pollos.

### **Recomendaciones**

En el análisis de ciclo de vida se determinó que la etapa que generó mayor impacto ambiental es la de pre-granja debido a la gran cantidad de operaciones unitarias involucradas, que demandan el uso de insumos agrícolas, energía y transporte. Se recomienda realizar más estudios con la introducción subproductos de la industria nacional, y hacer sustituciones de maíz y soya.

Al utilizar la dieta ZamoAmet alternativa, se recomienda a partir de los 11 días de vida de los pollos, con el objetivo de disminuir el porcentaje de mortalidad, ya que en esta etapa el sistema digestivo de los pollos no logra asimilar correctamente los altos porcentajes de fibra cruda.

## Referencias

- Abbasi, F., Fakhur-Un-Nisa, T., Liu, J., Luo, X. y Abbasi, I. H. R. (2019). Low digestibility of phytate phosphorus, their impacts on the environment, and phytase opportunity in the poultry industry. *Environmental Science and Pollution Research International*, 26(10), 9469–9479. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-4000-0>
- Abidah, M. N. y Wan Noorai, W. M. (2017). Growth Performance and Carcass Analysis of Broilers Fed with Enhanced Quality Palm Kernel Meal. *International Journal of Poultry Science*, 16(6), 215–220. <https://doi.org/10.3923/ijps.2017.215.220>
- Alhotan, R. A., Al-Sagan, A. A., Al-Abdullatif, A. A., Hussein, E., Saadeldin, I. M., Azzam, M. M. y Swelum, A. A. (2021). Interactive effects of dietary amino acid density and environmental temperature on growth performance and expression of selected amino acid transporters, water channels, and stress-related transcripts. *Poultry Science*, 101333. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101333>
- Almeida, D. S. de, Schneider, A. F., Yuri, F. M., Zimmermann, O. F., Gerber, M. W. y Gewehr, C. E. (2016). Natural zeolites in diet or litter of broilers. *British Poultry Science*, 57(2), 257–263. <https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1150962>
- Baumgartner, D., de Bann, L., Nemecek, T. y Crépon, K. (2008). *Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector: Life cycle assessment of feeding livestock with European grain legumes*. [https://www6.inrae.fr/lcafoodconferencearchives/content/download/3454/33261/version/1/file/lcafood08\\_proceedings.pdf#page=352](https://www6.inrae.fr/lcafoodconferencearchives/content/download/3454/33261/version/1/file/lcafood08_proceedings.pdf#page=352)
- Belloir, P., Méda, B., Lambert, W., Corrent, E., Juin, H., Lessire, M. y Tesseraud, S. (2017). Reducing the CP content in broiler feeds: Impact on animal performance, meat quality and nitrogen utilization. *Animal*, 11(11), 1881–1889. <https://doi.org/10.1017/S1751731117000660>
- Boggia, A., Paolotti, L. y Castellini, C. (2010). Environmental impact evaluation of conventional, organic and organic-plus poultry production systems using life cycle assessment. *World's Poultry Science Journal*, 66(1), 95–114. <https://doi.org/10.1017/S0043933910000103>
- Campos-Granados, C. M. y Arce-Vega, J. (2016). Sustitutos de maíz utilizados en la alimentación animal en Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*, 10(2), 91. <https://doi.org/10.15517/nat.v10i2.27327>
- Cesari, V., Zucali, M., Sandrucci, A., Tamburini, A., Bava, L. y Toschi, I. (2017). Environmental impact assessment of an Italian vertically integrated broiler system through a Life Cycle approach. *Journal of Cleaner Production*, 143, 904–911. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.030>
- Clune, S., Crossin, E. y Verghese, K. (2017). Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal of Cleaner Production*, 140, 766–783. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.082>
- Costantini, M., Ferrante, V., Guarino, M. y Bacenetti, J. (2021). Environmental sustainability assessment of poultry productions through life cycle approaches: A critical review. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 201–212. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.086>
- da Silva, V. P., van der Werf, H. M. G., Soares, S. R. y Corson, M. S. (2014). Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach. *Journal of Environmental Management*, 133, 222–231. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.011>

- Duarte da Silva, N. L., Alencar Nääs, I. de, Garcia, R. G [Rodrigo Garófallo] y Jorge de Moura, D. (2019). Environmental impact of Brazilian broiler production process: Evaluation using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117752. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117752>
- González-García, S., Gomez-Fernández, Z., Dias, A. C., Feijoo, G., Moreira, M. T. y Arroja, L. (2014). Life Cycle Assessment of broiler chicken production: a Portuguese case study. *Journal of Cleaner Production*, 74, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.067>
- Grashorn, M. (2010). Use of phytobiotics in broiler nutrition – an alternative to infeed antibiotics? *Journal of Animal and Feed Sciences*, 19(3), 338–347. <https://doi.org/10.22358/jafs/66297/2010>
- Huang, Q., Liu, X., Zhao, G., Hu, T. y Wang, Y. (2018). Potential and challenges of tannins as an alternative to in-feed antibiotics for farm animal production. *Animal Nutrition*, 4(2), 137–150. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.09.004>
- Jeswani, H. K., Whiting, A., Martin, A. y Azapagic, A. (2019). Environmental impacts of poultry litter gasification for power generation. *Energy Procedia*, 161, 32–37. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.055>
- Kalhor, T., Rajabipour, A., Akram, A. y Sharifi, M. (2016). Environmental impact assessment of chicken meat production using life cycle assessment. *Information Processing in Agriculture*, 3(4), 262–271. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.10.002>
- Kebreab, E [E.], Liedke, A., Caro, D., Deimling, S., Binder, M. y Finkbeiner, M. (2016). Environmental impact of using specialty feed ingredients in swine and poultry production: A life cycle assessment. *Journal of Animal Science*, 94(6), 2664–2681. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9036>
- Kebreab, E [Ermias], Hansen, A. V. y Strathe, A. B. (2012). Animal production for efficient phosphate utilization: From optimized feed to high efficiency livestock. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(6), 872–877. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2012.06.001>
- Knížatová, M., Mihina, Š., Brouček, J., Karandušovská, I. y Mačuhová, J. (2010). The influence of litter age, litter temperature and ventilation rate on ammonia emissions from a broiler rearing facility. *Czech Journal of Animal Science*, 55(8), 337–345. <https://doi.org/10.17221/176/2009-CJAS>
- Kornegay, E. T. (2000). Digestion of phosphorus and other nutrients: the role of phytases and factors influencing their activity. En M. R. Bedford y G. G. Partridge (Eds.), *Enzymes in farm animal nutrition* (pp. 237–271). CABI. <https://doi.org/10.1079/9780851993935.0237>
- Leinonen, I [I.], Williams, A. G., Wiseman, J., Guy, J. y Kyriazakis, I [I.] (2012). Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Broiler production systems. *Poultry Science*, 91(1), 8–25. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01634>
- Leinonen, I [Ilkka] y Kyriazakis, I [Ilias] (2016). How can we improve the environmental sustainability of poultry production? *The Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), 265–273. <https://doi.org/10.1017/S0029665116000094>
- Lin, L., Xiu-dong, L. y Xu-gang, L. (2017). Nutritional strategies for reducing nitrogen, phosphorus and trace mineral excretions of livestock and poultry. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(12), 2815–2833. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61701-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61701-5)
- López-Andrés, J. J., Aguilar-Lasserre, A. A., Morales-Mendoza, L. F., Azzaro-Pantel, C., Pérez-Gallardo, J. R. y Rico-Contreras, J. O. (2018). Environmental impact assessment of chicken meat

- production via an integrated methodology based on LCA, simulation and genetic algorithms. *Journal of Cleaner Production*, 174, 477–491. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.307>
- Mallek, Z., Fendri, I., Khannous, L., Ben Hassena, A., Traore, A. I., Ayadi, M.-A. y Gdoura, R. (2012). Effect of zeolite (clinoptilolite) as feed additive in Tunisian broilers on the total flora, meat texture and the production of omega 3 polyunsaturated fatty acid. *Lipids in Health and Disease*, 11, 35. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-11-35>
- Martinelli, G., Vogel, E., Decian, M., Farinha, M. J. U. S., Bernardo, L. V. M., Borges, J. A. R., Gimenes, R. M. T., Garcia, R. G [Rodrigo Garofallo] y Ruviano, C. F. (2020). Assessing the eco-efficiency of different poultry production systems: an approach using life cycle assessment and economic value added. *Sustainable Production and Consumption*, 24, 181–193. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.07.007>
- Martínez, Y., La Tobar, Lagos, H. M., Parrado, C. A., am Urquía y Valdiviá, M. (2021). Phytobiotic Effect of Anacardium occidentale L. Leaves Powder on Performance, Carcass Traits, and Intestinal Characteristics in Broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 23(1), 1–10. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2020-1362>
- Martínez Aguilar, Y., Martínez Yero, O., Escalona Arias, A., Soto Rodríguez, F. y Valdiviá Navarro, M. (2012). Composición química y tamizaje fitoquímico del polvo de hojas y retoños del Anacardium occidentale L. (marañón). *Revista Cubana De Plantas Medicinales*, 17(1), 1–10.
- Mehdi, Y., Létourneau-Montminy, M.-P., Gaucher, M.-L., Chorfi, Y., Suresh, G., Rouissi, T., Brar, S. K., Côté, C., Ramirez, A. A. y Godbout, S. (2018). Use of antibiotics in broiler production: Global impacts and alternatives. *Animal Nutrition*, 4(2), 170–178. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.03.002>
- Naseem, S. y King, A. J. (2018). Ammonia production in poultry houses can affect health of humans, birds, and the environment-techniques for its reduction during poultry production. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(16), 15269–15293. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2018-y>
- North, M. K., Dalle Zotte, A. y Hoffman, L. C. (2019). The use of dietary flavonoids in meat production: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 257, 114291. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114291>
- Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *Producción | Producción y productos avícolas | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <http://www.fao.org/poultry-production-products/production/es/>
- Oseguera, M. (2020, 1 de noviembre). *Industria avícola hondureña: motor de crecimiento | Industria Avícola*. <https://www.industriaavicola.net/mercados-y-negocios/industria-avicola-hondurena-motor-de-crecimiento/>
- Pelletier, N. (2008). Environmental performance in the US broiler poultry sector: Life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions. *Agricultural Systems*, 98(2), 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2008.03.007>
- Pitino, R., Marchi, M. de, Manuelian, C. L., Johnson, M., Simoni, M., Righi, F. y Tsiplakou, E. (2021). Plant Feed Additives as Natural Alternatives to the Use of Synthetic Antioxidant Vitamins on Yield, Quality, and Oxidative Status of Poultry Products: A Review of the Literature of the Last 20 Years. *Antioxidants*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/antiox10050757>

- Puvača, N., Stanačev, V., Glamočić, D., Lević, J., Perić, L. y Milić, D. (2013). Beneficial effects of phytoadditives in broiler nutrition. *World's Poultry Science Journal*, 69(1), 27–34. <https://doi.org/10.1017/S0043933913000032>
- Roma, R., Corrado, S., Boni, A. de, Forleo, M. B., Fantin, V., Moretti, M., Palmieri, N., Vitali, A. y Camillo, D. C. (2015). Life Cycle Assessment in the Livestock and Derived Edible Products Sector. En B. Notarnicola, R. Salomone, L. Petti, P. A. Renzulli, R. Roma y A. K. Cerutti (Eds.), *Life Cycle Assessment in the Agri-food Sector* (pp. 251–332). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-11940-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-11940-3_5)
- Sousa, F. C. de, Tinôco, I. d. F. F., Da Silva, J. N., Baptista, F. d. J. F., Souza, C. D. F. y Da Silva, A. L. (2017). Gas emission in the poultry production. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 5(2), 49–55. <https://doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v5n2p49-55>
- Tongpool, R., Phanichavalit, N., Yuvaniyama, C. y Mungcharoen, T. (2012). Improvement of the environmental performance of broiler feeds: a study via life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 35, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.007>
- van der Hoeven-Hangoor, E., van de Linde, I. B., Paton, N. D., Verstegen, M. W. A. y Hendriks, W. H. (2013). Effect of different magnesium sources on digesta and excreta moisture content and production performance in broiler chickens. *Poultry Science*, 92(2), 382–391. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02404>
- Wawrzyniak, A., Kapica, M., Stępień-Pyśniak, D., Szewerniak, R., Olejarska, A. y Jarosz, Ł. (2017). Effect of Feeding Transcarpathian Zeolite on Gastrointestinal Morphology and Function in Broiler Chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 19(4), 737–746. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2016-0360>
- Yaophakdee, N., Ruangpanit, Y. y Attamangkune, S. (2018). Effects of palm kernel meal level on live performance and gut morphology of broilers. *Agriculture and Natural Resources*, 52(1), 75–78. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.05.007>
- Yi, B., Chen, L., Sa, R., Zhong, R., Xing, H. y Zhang, H. (2016). Transcriptome Profile Analysis of Breast Muscle Tissues from High or Low Levels of Atmospheric Ammonia Exposed Broilers (*Gallus gallus*). *PloS One*, 11(9), e0162631. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162631>
- Zhou, Y., Liu, Q. X., Li, X. M., Ma, D. D., Xing, S., Feng, J. H. y Zhang, M. H. (2020). Effects of ammonia exposure on growth performance and cytokines in the serum, trachea, and ileum of broilers. *Poultry Science*, 99(5), 2485–2493. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.12.063>

## Anexos

### Anexo A

#### *Índice de Conversión Alimenticia en las tres etapas de producción*

Tratamientos	Inicio	Crecimiento	Engorde
	(0-10 días)	(11-18 días)	(19-35 días)
T1	1.17	1.60	1.74
T2	1.21	1.54	1.75
T3	1.16	1.56	1.79
EE±	0.017	0.016	0.027
Valor de P	0.107	0.065	0.403

*Nota.* T1: control; T2: ZamoAmet convencional; T3: ZamoAmet Alternativo.

## Anexo B

*Ingredientes y aportes nutricionales de pollos de engorde (0-10 días)*

Ingredientes (%)	Control	ZamoAmet- Convencional	ZamoAmet- alternativa
Harina de maíz de descarte	59.16	57.12	39.89
Harina de soya	32.29	30.33	29.92
Zeolita	0.00	1.00	1.00
Annatto	0.00	1.00	1.00
Marañón	0.00	0.50	0.50
Harina de coquito	0.00	0.00	5.00
Semolina de arroz	0.00	0.00	10.00
Premezcla de minerales y vitaminas	0.35	0.35	0.35
Cloruro de sodio	0.25	0.25	0.25
Bicarbonato de sodio	0.25	0.25	0.25
Aceite de palma africana	3.44	4.70	7.38
Colina	0.05	0.05	0.05
DL-Metionina	0.34	0.37	0.39
L-Treonina	0.16	0.20	0.22
L-Lisina	0.32	0.38	0.39
L-Valina	0.00	0.04	0.04
Carbonato de calcio	1.60	1.61	1.59
Biofos	1.54	1.55	1.45
Mycofix plus 5.0	0.20	0.20	0.20
Enzimas Lumis Lbzyme X50	0.00	0.05	0.08
Coccidiostato	0.05	0.05	0.05
Aportes nutricionales (%)			
Energía metabolizable (kcal/kg MS)	2975	2975	2975
Proteína cruda	22.00	21.00	21.00
FND	15.27	14.54	17.47
FAD	5.69	5.40	7.98
LAD	0.53	0.50	1.39
Fibra cruda	3.05	2.90	4.38
Ca	0.90	0.90	0.90
P disponible	0.45	0.45	0.45
Lisina	1.22	1.22	1.22
Metionina+cistina	0.91	0.91	0.91
Treonina	0.83	0.83	0.83
Triptófano	0.20	0.19	0.19
Valina	0.84	0.89	0.89
Na	0.18	0.18	0.18
Cl	0.21	0.21	0.21

## Anexo C

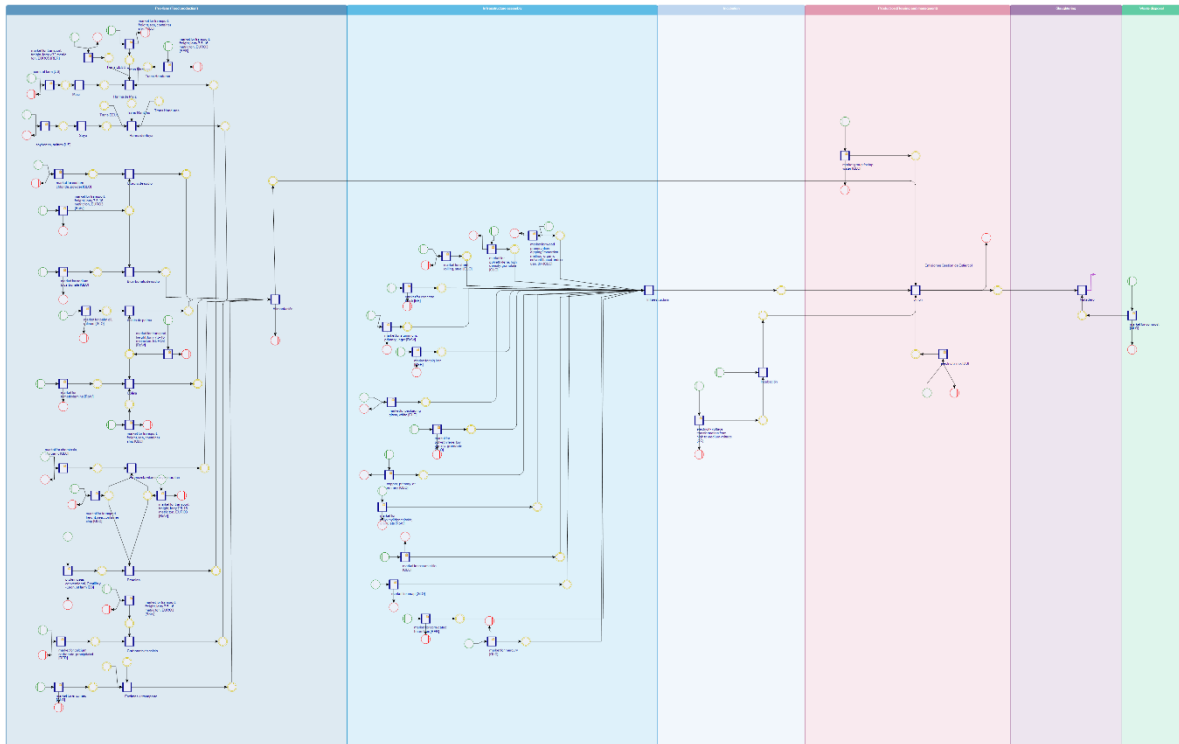
*Ingredientes y aportes nutricionales de pollos de engorde (11-18 días)*

Ingredientes (%)	Control	ZamoAmet- Convencional	ZamoAmet- alternativa
Harina de maíz de descarte	65.40	57.12	46.24
Harina de soya	26.65	30.33	24.16
Zeolita	0.00	1.00	1.00
Annatto	0.00	1.00	1.00
Marañón	0.00	0.50	0.50
Harina de coquito	0.00	0.00	5.00
Semolina de arroz	0.00	0.00	10.00
Premezcla de minerales y vitaminas	0.35	0.35	0.35
Cloruro de sodio	0.25	0.25	0.25
Bicarbonato de sodio	0.25	0.25	0.25
Aceite de palma africana	3.06	4.70	6.95
Colina	0.05	0.05	0.05
DL-Metionina	0.31	0.37	0.36
L-Treonina	0.12	0.20	0.18
L-Lisina	0.35	0.38	0.41
L-Valina	0.00	0.04	0.11
Carbonato de calcio	1.54	1.61	1.51
Biofos	1.42	1.55	1.35
Mycofix plus 5.0	0.20	0.20	0.20
Enzimas Lumis Lbzyme X50	0.00	0.05	0.08
Cocciostato	0.05	0.05	0.05
Aportes nutricionales (%)			
Energía metabolizable (kcal/kg MS)	3025	3025	3025
Proteína cruda	20.00	19.00	19.00
FND	16.03	15.40	17.96
FAD	5.712	5.45	7.94
LAD	0.56	0.54	1.41
Fibra cruda	3.05	2.93	4.36
Ca	0.84	0.84	0.84
P disponible	0.42	0.42	0.42
Lisina	1.12	1.12	1.12
Metionina+cistina	0.85	0.85	0.85
Treonina	0.73	0.73	0.73
Triptófano	0.18	0.16	0.16
Valina	0.74	0.85	0.85
Na	0.18	0.18	0.18
Cl	0.21	0.21	0.21

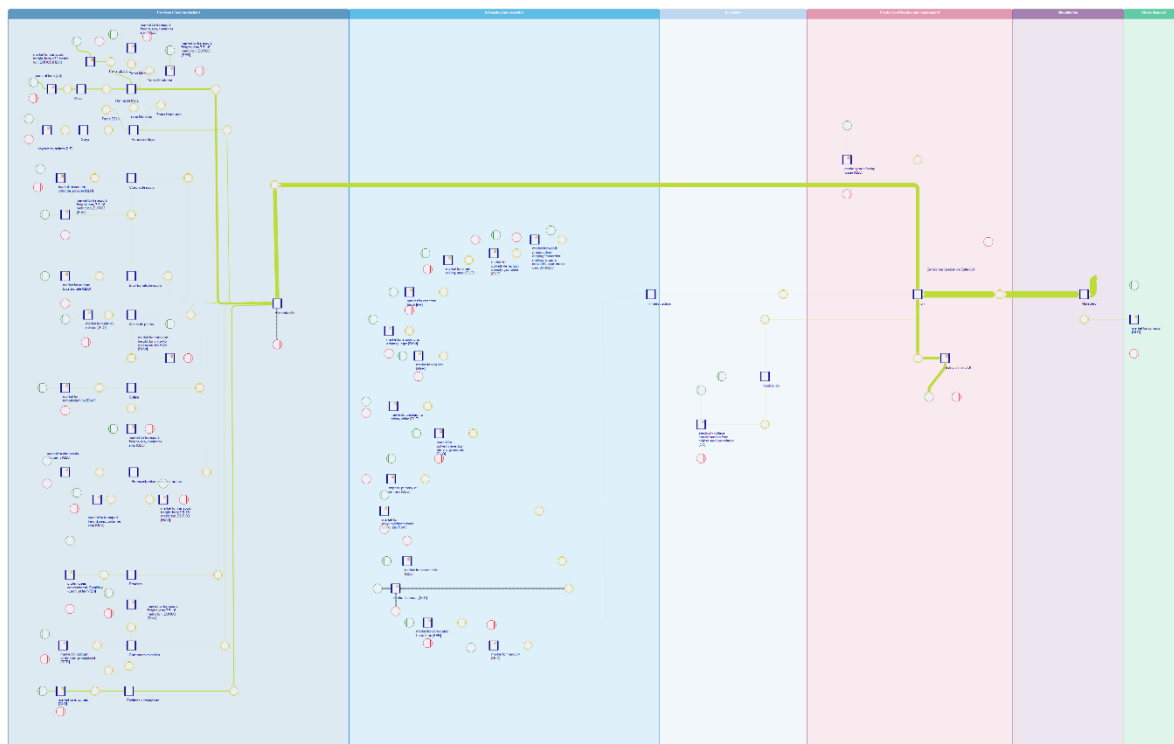
## Anexo D

*Ingredientes y aportes nutricionales de pollos de engorde (19-35 días)*

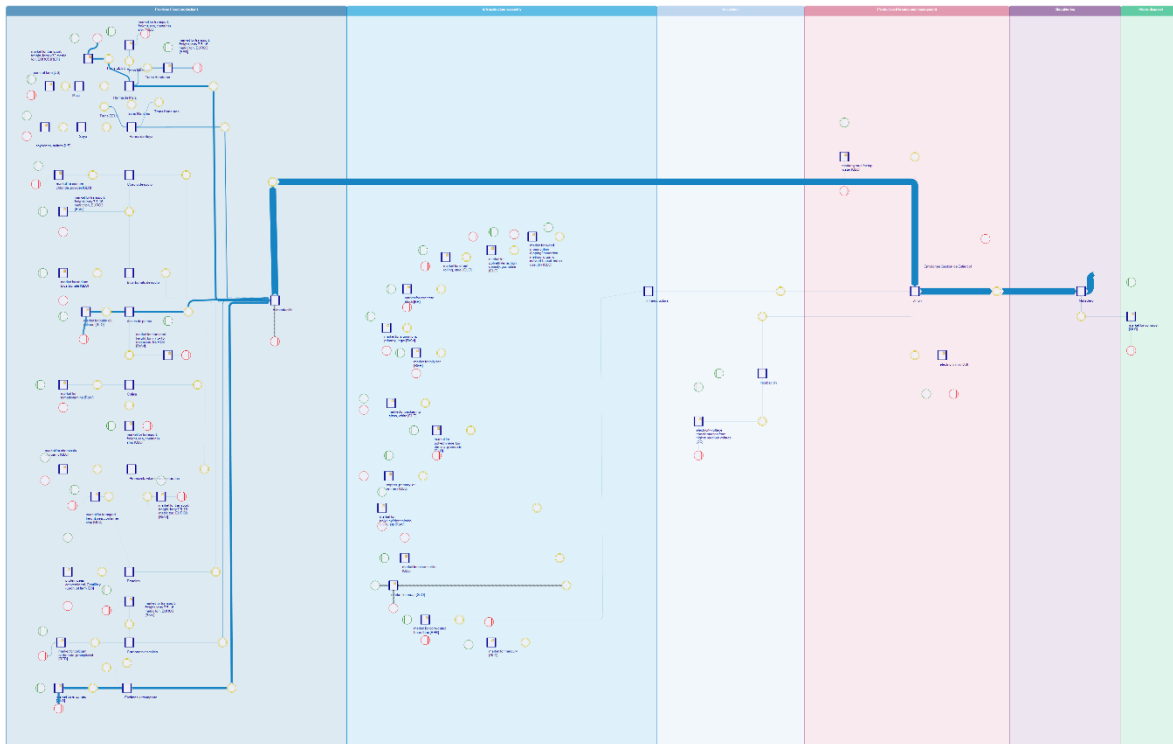
Ingredientes (%)	Control	ZamoAmet- Convencional	ZamoAmet- alternativa
Harina de maíz de descarte	67.46	65.42	48.22
Harina de soya	24.25	22.26	21.82
Zeolita	0.00	1.00	1.00
Annatto	0.00	1.00	1.00
Marañón	0.00	0.50	0.50
Harina de coquito	0.00	0.00	5.00
Semolina de arroz	0.00	0.00	10.00
Premezcla de minerales y vitaminas	0.35	0.35	0.35
Cloruro de sodio	0.25	0.25	0.25
Bicarbonato de sodio	0.25	0.25	0.25
Aceite de palma africana	3.85	5.11	7.78
Colina	0.05	0.05	0.05
DL-Metionina	0.28	0.31	0.33
L-Treonina	0.08	0.11	0.14
L-Lisina	0.30	0.35	0.36
L-Valina	0.00	0.08	0.08
Carbonato de calcio	1.42	1.42	1.40
Biofos	1.21	1.24	1.14
Mycofix plus 5.0	0.20	0.20	0.20
Enzimas Lumis Lbzyme X50	0.00	0.05	0.08
Coccidiostato	0.05	0.05	0.05
Aportes nutricionales (%)			
Energía metabolizable (kcal/kg MS)	3100	3100	3100
Proteína cruda	19.00	18.00	18.00
FND	16.12	15.47	18.04
FAD	5.66	5.40	7.89
LAD	0.18	0.55	1.41
Fibra cruda	3.04	2.90	4.36
Ca	0.76	0.76	0.76
P disponible	0.38	0.38	0.38
Lisina	1.02	1.02	1.02
Metionina+cistina	0.80	0.80	0.80
Treonina	0.66	0.66	0.66
Triptófano	0.17	0.17	0.17
Valina	0.70	0.76	0.76
Na	0.18	0.18	0.18
Cl	0.21	0.21	0.21

**Anexo E***Modelo de Análisis de ciclo de vida en pollos de engorde*




## Anexo F

*Flujo de energía de sistema productivo de pollos de engorde*

## Anexo G

*Diagrama de huella de carbono del sistema productivo de pollos de engorde*

**Anexo H***Huella de carbono del sistema productivo de pollos de engorde*

T1	T2	T3
 <p>1.537648 kg CO<sub>2</sub>eq. Carne de ave (1.000000 kg)</p>	 <p>1.445085 kg CO<sub>2</sub>eq. Carne de ave (1.000000 kg)</p>	 <p>1.527594 kg CO<sub>2</sub>eq. Carne de ave (1.000000 kg)</p>