

Optimización técnica de la producción pecuaria a partir de indicadores históricos

Technical Optimization of livestock production based on historical indicators

<https://doi.org/10.47606/ACVEN/PH0340>

Francisco Enrique Huerta Berríos^{1*}
<https://orcid.org/0000-0002-6018-2198>
fhuertab@unasam.edu.pe

Ricardo Enrique Toledo Quiñones¹
<https://orcid.org/0000-0003-4834-5959>
rtoledoq@unasam.edu.pe

Silvia Isabel Figueroa Quito¹
<https://orcid.org/0000-0003-2986-4809>
sfigueroaq@unasam.edu.pe

Timoteo Raúl Huerta-Berrios¹
<https://orcid.org/0000-0001-6275-1705>
thuertab@unasam.edu.pe

Recibido: 07/01/2025

Aceptado: 16/04/2025

RESUMEN

La presente investigación tiene como propósito optimizar la relación técnica de la producción pecuaria del Instituto de Investigación Agroindustrial Santiago Antúnez de Mayolo, IIASAM Tingua, a partir de los datos estadísticos internos relevados de las series históricas de indicadores técnicos de la producción de porcinos, ovinos, bovinos según razas de las crías. La investigación responde a un diseño no experimental, longitudinal, transeccional, descriptivo y explicativo. Con tal fin se integró la investigación agropecuaria con la económica con ayuda del análisis econométrico; estimando modelos de beneficios económicos sobre el cumplimiento de los objetivos de crianza sostenible y eficiente del referido Instituto de Investigación universitaria. Como resultado se obtuvieron optimizaciones de las funciones de producción tanto por el peso de los tipos de ganado como por la edad de los mismos. Consecutivamente, a partir de los resultados se formuló un Plan de Producción Óptimo para la crianza del ganado porcino. También se estimaron los modelos econométricos de optimización del suministro alimentario, con resultados que permitieron inferencias relevantes susceptibles de ser utilizados en la toma de decisiones de gestión y administración ganadera del referido Instituto, a fin de darle eficiencia y sustentabilidad a la granja del Instituto, aunque algunos resultados es prudente tomarlos con reserva, dadas las limitaciones de calidad de los datos internos observados.

Palabras clave: función de producción pecuaria, peso del ganado, edad del ganado, producción de leche, plan óptimo de producción.

1. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo – Perú

* Autor de correspondencia: fhuertab@unasam.edu.pe

ABSTRACT

The purpose of this research is to optimize the technical performance of livestock production at the Santiago Antúnez de Mayolo Agroindustrial Research Institute (IIASAM Tingua), based on internal statistical data drawn from historical series of technical indicators related to the production of pigs, sheep, and cattle, classified by breed. The study follows a non-experimental, longitudinal, cross-sectional, descriptive, and explanatory research design. To achieve this, agricultural research was integrated with economic analysis through the use of econometric modeling, estimating economic benefit functions based on the achievement of sustainable and efficient breeding objectives at the aforementioned university research institute. As a result, optimizations were obtained for the livestock production functions, specifically in relation to animal weight and age. Based on these findings, an Optimal Production Plan was developed for pig farming. Additionally, econometric models were estimated to optimize feed supply, yielding results that provided relevant insights to support decision-making processes in the management and administration of livestock production at the institute. While the findings offer valuable contributions toward improving efficiency and sustainability at the institutional farm, some results should be interpreted with caution due to limitations in the quality of the internal data used.

Keywords: Livestock production function, livestock weight, livestock age, milk production, optimal production plan.

INTRODUCTION

La función de producción microeconómica es una relación tecnológica entre la cantidad de producto a obtener con las cantidades de los diferentes factores de producción variables, dadas las cantidades de los otros factores productivos, el tipo de organización del proceso productivo del productor. Dicha relación es posible determinar de modo experimental o no experimental, especialmente en las funciones de producción agropecuarias. Esta línea constituye un importante campo de investigación, a cuyas referencias bibliográficas relevantes accedimos para enmarcar teóricamente el presente estudio, entre ellos: (Fernández-Baca 2003), (Guillén, 2019), (Nicholson, 2006), (Mankiw, 2020), (Samuelson y Nordhaus, 2019) y otros.

En los países subdesarrollados como Perú, sin embargo, esta línea de investigación de la economía agrícola aún está rezagada y merece un mayor impulso a fin de contribuir en el mejoramiento de la gestión y administración de la producción en las fincas agropecuarias, por ser la base de una deseable seguridad alimentaria de la población y del despegue de la agricultura y la agroindustria en la Región Áncash y el país, así como de otros con similar realidad y que también se hallan rezagados en estas áreas estratégicas de desarrollo. En la producción, al adicionar valor a un bien o servicio para su venta y la generación de beneficios económicos, conviene su realización sí, como resultado, se obtiene un margen que supere los costos incurridos.

Esta condición obliga a que los criterios de optimización productiva tengan que estar sistemáticamente integradas con su optimización económica dentro del mercado. De acuerdo a la (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2025) las previsiones en 2024 de la producción mundial de carne eran de 373 millones de toneladas (equivalentes de peso en canal), un 1,4 % más que en 2023, impulsado por los aumentos previstos de la producción de carne de aves de corral y bovino y por un incremento marginal de la carne de ovino, mientras que la producción de carne de cerdo debería de disminuir ligeramente.

Igualmente, según la FAO (2019) el debate en el ámbito del sector pecuario durante décadas, se ha centrado en cómo aumentar la producción de forma sostenible. No obstante, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas ha desplazado el foco del debate, hacia cómo potenciar la contribución del sector pecuario al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Cuatrecasas (2020) plantea que la actividad productiva incluye procesos constituidos por un conjunto de actividades coordinadas con el fin de generar bienes o servicios, en la que se busca la determinación correcta de medios y métodos adecuados a fin de obtener la máxima productividad y calidad y el mínimo tiempo y costo.

Dentro del marco microeconómico, Méndez (2020) establece que la producción es una actividad básica de la economía, la cual se da como un proceso de transformación de la naturaleza mediante el trabajo humano, con el objetivo de satisfacer necesidades. Bajo el modelo básico de producción, las entradas se transforman en procesos productivos que generan salidas (bienes o servicios). Los insumos, que constituyen recursos productivos o factores, forman parte de las entradas. La teoría de la producción permite analizar las distintas maneras en que estos recursos se combinan para elaborar las salidas de manera que resulten económicamente rentables, en función de las ganancias deseadas.

Según los criterios esgrimidos por Krugman y Wells (2019) en el ámbito de la microeconomía, los mercados de factores de producción incluyen trabajo, tierra, capital físico y capital humano, los cuales determinan la distribución de la renta entre los factores. Los productores que buscan maximizar su beneficio emplearán una cantidad de factor tal que su valor de producto marginal sea igual a su precio. La curva del valor del producto marginal constituye la curva de demanda del factor para un productor que acepta el precio del mercado.

En cuanto a la optimización, García (2020) señala que es fundamental romper tanto teórica como prácticamente con la idea de que la empresa es un sistema cerrado y funcionalista que busca en sí misma el criterio de optimización. La optimización no se trata de alcanzar la excelencia o el óptimo absoluto, sino de lograr eficiencia y evitar la ineficiencia en el diseño de los procesos y las instituciones empresariales, así como en sus organizaciones, en relación con los entornos a los que se orientan y los objetivos finales e instrumentales que persigue la empresa. Por esta razón, se analiza y define cuál debería ser la forma más eficiente para la asignación de los recursos, es decir, las optimizaciones parciales. Este enfoque ha representado un cambio significativo tanto en la teoría

como en la práctica.

La optimización parcial en el ámbito económico de una empresa se refiere a la mejora de ciertos aspectos o áreas específicas dentro de la organización, en lugar de buscar una optimización total y absoluta de todos los procesos. Este enfoque se centra en mejorar la eficiencia y efectividad de departamentos, recursos o estrategias específicos, sin necesariamente transformar la empresa en su totalidad. Este cambio de paradigma permite a las empresas adaptarse mejor a sus entornos y objetivos, enfocándose en áreas clave que pueden generar mejoras significativas sin requerir una reestructuración completa. Así, la optimización parcial se convierte en una herramienta valiosa para la gestión eficiente de recursos escasos, permitiendo a las empresas ser más ágiles y responder de manera más efectiva a las demandas del mercado y a los desafíos económicos.

En la producción pecuaria, el desarrollo de los animales es crucial para evaluar la productividad en las explotaciones de carne y, en algunos casos, se utiliza como criterio de selección. Sin embargo, es importante considerar que el crecimiento no depende únicamente de factores genéticos, sino también de influencias ambientales. Para medir el crecimiento animal, se han empleado diversos modelos matemáticos, tanto lineales como no lineales, seleccionados por su precisión en el ajuste y la facilidad de interpretación biológica de sus parámetros (Agudelo et al., 2008). Merino et al. (2009) desarrollaron una herramienta de modelado que permitió crear modelos completos de fábricas azucareras, conectando sus unidades de proceso. La librería desarrollada destaca por utilizar modelos dinámicos detallados que incluyen anomalías y malfunciones, lo que la hace versátil para diseñar controladores, simuladores de entrenamiento y optimización en línea de procesos.

García et al. (2020) realizaron un experimento con las variables rendimiento de leche, peso vivo, condición corporal y consumo voluntario, utilizando como insumo el rastrojo de maíz. En este estudio se evaluaron la materia seca (MS), fibra detergente ácido (FDA), fibra detergente neutro (FDN), proteína cruda (PC) y digestibilidad in vitro de la materia seca. Sus conclusiones indicaron que la adición de urea al rastrojo de maíz incrementa la calidad nutritiva del rastrojo; sin embargo, no mejora los parámetros productivos de las vacas.

Tarasiuk et al. (2020) abordan la optimización del programa de fabricación mediante la mejora de modelos económicos y matemáticos. El objetivo principal es maximizar los ingresos netos por ventas, considerando restricciones en la venta, fabricación, suministro y protección ambiental. Además, se proponen restricciones sobre los beneficios operativos para planificar márgenes de beneficio y definir un punto de equilibrio en la producción de múltiples productos.

Sánchez (2021) en su tesis doctoral, estudió el efecto de la inclusión de urea sobre la composición nutricional y microbiología del ensilado de rastrojo de maíz, así como la cinética de degradación ruminal. Los conocimientos obtenidos permiten que este recurso alimenticio pueda ser incluido en los programas de alimentación de rumiantes, incorporando los valores nutritivos de estos alimentos y la energía disponible para los animales. La economía circular, planteada por

Henzen y Weenk (2022) representa un modelo sostenible que impulsa el desarrollo de nuevas actividades productivas y de servicios.

Este enfoque ofrece soluciones prácticas y herramientas conceptuales para repensar los procesos productivos, considerando tanto las implicaciones macroeconómicas como microeconómicas. En el contexto de la producción pecuaria, los principios de la economía circular pueden integrarse para optimizar el uso de los recursos, reducir desperdicios y promover un sistema de producción más eficiente y respetuoso con el medio ambiente. La implementación de modelos circulares en este sector permite incrementar la sostenibilidad de las operaciones y mejorar la competitividad en un entorno de mercado cada vez más exigente en términos de responsabilidad ambiental.

Lo anterior, respecto a la forma en que se vienen desarrollando la mejora y optimización productiva pecuaria o agropecuaria en general, indica la diversidad de métodos, tanto experimentales como no experimentales. Los métodos, basados en información secundaria, son fundamentales para tomar mejores decisiones en la gestión de la organización en estudio, algunos integran planteamientos tanto económicos como matemáticos.

METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo en el Instituto de Investigación Agroindustrial Santiago Antúnez de Mayolo de Tingua (IIASAM), parte de los centros de investigación y experimentación de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM). Se enmarcó dentro de un diseño metodológico no experimental, observando los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, sin manipulación de variables. Este enfoque es especialmente pertinente para analizar procesos complejos en escenarios reales, como la producción pecuaria en condiciones institucionales específicas.

El estudio presenta una estructura longitudinal, analizando datos a lo largo del tiempo para identificar patrones, tendencias y cambios en los indicadores técnicos de producción. Esta perspectiva temporal enriquece la interpretación de los resultados, brindando una visión dinámica del comportamiento de las variables analizadas. Además, el diseño es transeccional, ya que la recolección de datos y el análisis se realizaron en un momento específico, capturando una “fotografía” representativa del estado actual de los procesos productivos, sin perder de vista su evolución histórica.

Desde el punto de vista de su finalidad, el estudio es descriptivo, detallando las características y relaciones existentes entre las variables técnicas y económicas implicadas en la producción pecuaria. A su vez, es explicativo, orientado a comprender las causas y efectos subyacentes en el comportamiento observado de dichas variables, proponiendo modelos que permiten inferir relaciones causales y formular recomendaciones basadas en evidencias.

Esta combinación de enfoques metodológicos otorga robustez al estudio, permitiendo no solo registrar y describir los hechos, sino también generar interpretaciones fundadas que contribuyen a la toma de decisiones estratégicas en la producción agropecuaria. La investigación se basó en una revisión documental

rigurosa de reportes técnicos e informes internos del IIASAM, que contienen registros históricos de indicadores técnicos de producción pecuaria.

Su análisis permitió acceder a información relevante sobre procesos de crianza y rendimiento productivo, asegurando la pertinencia y validez contextual del estudio. Para el caso específico de la investigación, la optimización fue de orden matemático. La optimización matemática, una rama fundamental de las matemáticas aplicadas, se enfoca en identificar las mejores soluciones posibles dentro de un conjunto de opciones viables, sujetas a restricciones específicas. En la producción pecuaria, las restricciones y objetivos están ligados a la productividad, los costos y la sostenibilidad.

Las funciones objetivo representan la meta principal, como el aumento del rendimiento o la reducción de costos, junto con las restricciones como recursos limitados de alimento, espacio y tiempo. Los métodos de resolución incluyen enfoques exactos, como el método Simplex, y heurísticos, como los algoritmos genéticos. La optimización matemática tiene aplicaciones prácticas valiosas en la producción pecuaria, como diseñar estrategias óptimas de alimentación animal, gestionar eficientemente los recursos y programar la rotación de ganado, maximizando beneficios económicos y minimizando el impacto ambiental.

El análisis empírico se basa en una función de producción microeconómica que relaciona la producción láctea con los alimentos concentrados utilizados, junto a otros insumos intermedios. Se empleó específicamente el modelo lineal, ya que permite una estimación sencilla y de fácil interpretación, el cual responde a la siguiente expresión:

- $Y_t = a + bX_t + \mu$; donde:
- Y es la producción final de leche por año;
- X es el consumo de alimento concentrado por el ganado vacuno lechero por año.
- a y b son los parámetros a estimar y μ la variable estocástica.

Para los casos de optimización, se utilizó el modelo cuadrático siguiente:
$$PESO = \alpha + \beta_1 EDAD + \beta_2 EDAD^2$$

Dónde, PESO se refiere al tipo de ganado (ovino, bovino según las razas Holstein o Brown Swiss, y de los porcinos); y EDAD se refiere a cada uno de los tres tipos de ganado antes especificados, en kilogramos por tipo de ganado criado. α es la dimensión tecnológica, β_1 y β_2 los parámetros de la EDAD.

El método de regresión que se utilizó fue el los Mínimos Cuadrados Ordinarios, que resultó adecuado para el presente estudio.

Para la estimación de la relación producción-mercado y ante las limitaciones del presupuesto asignado a la investigación, se recurrió al uso de datos secundarios. Sin embargo, para el caso específico del ganado porcino, se obtuvieron datos directamente, lo que permitió generar un Plan Óptimo de Producción para el Instituto.

RESULTADOS

Marranas: optimización por edad

No se encontró una relación posible de ser modelizada debido al comportamiento errático de los datos, en tanto éstos no siguen una tendencia definida y, por lo tanto, resultaron poco útiles y confiables.

Ovinos raza Hampshire Down: optimización por edad

Modelo estimado:

$$\text{Peso (kg)} = 14,5651134 + 15,4155337 * \text{EDAD} - 1,26828621 * \text{EDAD}^2$$

Se encontró que el modelo tiene adecuados indicadores estadísticos: un R^2 ajustado de 0,83, un valor crítico de la prueba $F < 0,05$, no existencia de autocorrelación y la significancia de los coeficientes $< 0,05$. Estos aspectos clave garantizan la validez y el ajuste adecuado del modelo cuadrático a los datos. Para optimizar el peso de los ovinos de la raza Hampshire Down en función de la edad, se siguieron estos pasos:

Paso 1: Derivada de la función

Para el efecto se calcula la primera derivada $dP/dEDAD$
 $dP/dEDAD = 15.4155337 - 2 * 1.26828621 * EDAD$

Paso 2: Igualar a cero

Igualamos la derivada a cero para encontrar la edad óptima:
 $15.4155337 - 2.53657242 * EDAD = 0$

Paso 3: Resolviendo para la EDAD.

Despejamos la edad óptima:
 $2.53657242 * EDAD = 15.4155337$
 $EDAD = 15.4155337 / 2.53657242 = 6.08$

Paso 4: Sustitución para calcular el peso óptimo.

Sustituyendo la edad óptima en la función original para encontrar el peso:
 $\text{Peso óptimo} = 14.5651134 + 15.4155337 * 6.08 - 1.26828621 * 6.08^2$

Cálculos:

- $15.4155337 * 6.08^2 = 93.758$
- $1.26828621 * 6.08^2 = 1.26828621 * 36.96 = 46.917$

De manera que: $\text{Peso óptimo} = 14.5651134 + 93.758 - 46.917 = 61.41$

Esto quiere decir que, el peso óptimo de los ovinos de la raza Hampshire Down a una edad aproximada de 6.08 años es aproximadamente 61.41 kg.

Bovinos de raza Holstein: optimización por edad

Modelo estimado:

$$\text{Peso (kg)} = 111,942275 + 100,080851 * \text{EDAD} - 4,71184294 * \text{EDAD}^2$$

El modelo tiene adecuados indicadores estadísticos: un R² ajustado de 0,87, valor crítico de la prueba F < 0,05, no existencia de autocorrelación y la significancia de los coeficientes < 0,05. Para optimizar el peso de los Bovinos de la raza Holstein por edad, se siguieron estos pasos:

Paso 1: Calculamos la primera derivada dP/dEDAD:

$$dP/dEDAD = 100,080851 - 2 * 4,71184294 * \text{EDAD}$$

Paso 2: Igualar a cero

Se iguala la derivada a cero para encontrar la edad óptima:
 $100,080851 - 9,42368588 * \text{EDAD} = 0$

Paso 3: Resolver para EDAD

Despejando la edad óptima:
 $9,42368588 * \text{EDAD} = 100,080851 / 9,42368588 = 10,61 \text{ años}$

Paso 4: Sustitución para calcular el peso óptimo

Sustituyendo la edad óptima en la función original para encontrar el peso:
 $P \text{ óptimo} = 111,942275 + 100,080851 * 10,61 - 4,71184294$

Cálculos:

1. $100,080851 * 10,61 \approx 10669,73$.
 2. $4,71184294 * (10,61)^2 \approx 4,71184294 * 112,67 \approx 530,84$
- El peso óptimo del bovino a la edad de aproximadamente 10.61 años.

Usando la fórmula: $\text{Peso} = 111,942275 + 100,080851 * 10,61 - 4,71184294 * (10,61)^2$

Cálculo de cada término:

$$100,080851 * 10,61 \approx 1067,499$$
$$(10,61)^2 \approx 112,5721$$
$$4,71184294 * 112,5721 \approx 530,139$$

En consecuencia, el peso óptimo de los bovinos de raza Holstein a una edad de aproximadamente 10.61 años es aproximadamente 530.139 kg.

Bovinos de raza Brown Swiss: optimización por edad

Modelo estimado:

$$\text{Peso (kg)} = 105,133292 + 94,2853801 * \text{EDAD} - 5,10722927 * \text{EDAD}^2$$

La relación de variables también tiene consistencia teórica como estadística, lo cual permite proceder con su uso práctico.

Paso 1: Derivada de la función

Se calcula la primera derivada $dP/dEDAD$:

$$dP/dEDAD = 94.2853801 - 2 * 5.10722927 \cdot EDAD$$

Paso 2: Igualar a cero

Se iguala la derivada a cero para encontrar la edad óptima:

$$94.2853801 - 10.21445854 \cdot EDAD = 0$$

Paso 3: Resolver para EDAD

Despejamos la edad óptima:

$$10.21445854 \cdot EDAD = 94.2853801 / 10.21445854 = 9.23$$

Paso 4: Sustitución para calcular el peso óptimo

Sustituyendo la edad óptima en la función original para encontrar el peso:

$$\text{Peso óptimo} = 105.133292 + 94.2853801 * 9.23 - 5.10722927 * (9.23)^2$$

Los cálculos:

$$1. 94.2853801 * 9.23 \approx 869.6394$$

$$2. 5.10722927 * (9.23)^2 \approx 5.10722927 * 85.06 \approx 434.355$$

De aquí se deriva que:

$$\text{Peso óptimo} \approx 105.133292 + 869.63 - 434.35 \approx 540.41$$

El peso óptimo de los bovinos de raza Pardo Suizo, a una edad de 9.23 años es aproximadamente 540.41 kg.

Bovinos de raza Holstein: rendimiento y consumo

Modelo estimado:

$$\text{Litros de leche (mes)} = \left| 70,8678 \right| + 2,35807061 * \text{CONSUMO CONCENTRADO}.$$

Se halla que pese a que el modelo tiene adecuados indicadores estadísticos muestra problemas de autocorrelación, lo cual no fue posible corregirse aplicando los métodos econométricos usuales. Es importante tener en cuenta que esto puede afectar la validez de las estimaciones. Sin embargo, dado que el modelo es simple y lineal, procederemos a optimizarlo dentro de sus limitaciones.

Paso 1: Evaluar el modelo

El modelo es lineal y no contiene un término cuadrático ni interacciones, lo que significa que la producción de leche se incrementa de manera constante con el consumo concentrado.

Paso 2: Encontrar el Punto Óptimo

Dado que el modelo es lineal, no hay un punto de máximo o mínimo en el sentido clásico. En este caso, la producción de leche aumenta indefinidamente con el aumento del consumo concentrado, dentro de rangos razonables de consumo.

Paso 3: Análisis práctico

1. Rango de Consumo: Se debe establecer un rango práctico para el consumo concentrado, basado en la alimentación y condiciones de salud de los bovinos.

2. Límite de Producción: Determinar un límite en el consumo concentrado que sea sostenible y no perjudique la salud del ganado.

Paso 4: Cálculo de Producción

El cálculo de la producción de leche para un valor específico de consumo concentrado, simplemente se reemplaza el valor en la ecuación:

$$Y_o = 70.8677909 + 2.35807061 \cdot \text{CONSUMO CONCENTRADO.}$$

Resulta que, para un consumo concentrado de 10 kg/día, la producción de leche es, aproximadamente 94,45 litros/mes.

De manera que se concluye que, debido a la naturaleza lineal del modelo, no hay un "óptimo" en el sentido tradicional. En lugar de eso, es crucial establecer límites prácticos y considerar los efectos de la autocorrelación en la interpretación de los resultados. Una propuesta para el mejoramiento del Instituto es aumentar la producción láctea y fortalecer las líneas de investigación.

A su vez, incrementar el sembrío de forrajes de diversas variedades, pasando de las 4 hectáreas actuales a 22 hectáreas que tendría como efecto el reducir la compra de alimentos balanceados de alto costo, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia descritos en la investigación. Complementariamente la selección de animales según sus características genéticas y de producción facilitarían la adquisición de semen y embriones de las mejores razas adaptables a la zona. Este enfoque está respaldado por los modelos de optimización técnica y económica desarrollados en el estudio, que destacan la importancia de mejorar la calidad genética del ganado para maximizar la producción.

Con la asistencia técnica continua, se ha logrado mejorar significativamente el estado de crianza del ganado vacuno (ver Figura 1). Se proyecta el nacimiento de una veintena de becerros bajo las mejores condiciones sanitarias y alimenticias, lo que contribuiría a la eficiencia y sustentabilidad de la producción pecuaria del Instituto.

Figura 1
Ganado bovino mejorado del IIASAM Tingua



Nota. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/unasam/noticias/584617-unasam-proyecta-mejoramiento-genetico-e-incremento-de-sembríos-de-forrajes-en-ciesam-tingua>

Modelos de rendimiento y consumo

Se verificó que, pese a que los modelos elaborados para todos los casos tienen adecuados indicadores estadísticos, poseen problemas de autocorrelación, no habiendo podido corregirse aplicando los métodos econométricos. Sólo se muestra la evidencia teórica que posibilitará mejora el sistema de obtención de los datos, por ser de gran importancia en la adopción de decisiones.

Porcinos: optimización

Debido a los problemas de autocorrelación encontrados, se optó en la investigación por un análisis completo sólo a nivel de los porcinos.

Modelo estimado:

$$\text{Peso (kg)} = |4,02323459| + 84,2592348 * \text{EDAD} | - 9,32249637 * \text{EDAD}^2$$

Para calcular el máximo técnico en el caso de la función cuadrática, derivamos la expresión anterior:

$$\text{Primera derivada} = |84,2592348| - 18,6449927 * \text{EDAD}$$

Igualando a cero la primera derivada, se obtiene:

$$\text{Edad (años)} = |4,52$$

Se maximiza el peso a la edad en 4,52 años, la segunda derivada de la función del producto total en peso debe ser negativa, lo cual es una condición suficiente de maximización. De aquí se obtiene que:

La segunda derivada es = $-18,6449927$

Por lo tanto, el peso total máximo que se obtiene es:

$$\frac{\text{Peso (kg)} = 4,02323459 + 84,2592348 \cdot (4,52) - 9,32249637 \cdot (4,52)^2}{\text{Peso (kg)} = 194,41}$$

Utilizando la información secundaria para un mercado posible de cubrir que se fundamente en la preferencia de un segmento de consumidores de carne limpia y que no sea portadora de enfermedades, se efectúa la proyección siguiente:

Tabla 1
Proyección de ventas de porcinos de la IIASAM

| Año | N | Ventas (Kg) | Ventas (n° de animales) |
|-----|---|-------------|-------------------------|
| 1 | 0 | 132 421 | 681 |
| 2 | 1 | 136 102 | 700 |
| 3 | 2 | 142 968 | 735 |
| 4 | 3 | 150 037 | 772 |
| 5 | 4 | 157 327 | 809 |
| 6 | 5 | 164 855 | 848 |
| 7 | 6 | 172 641 | 888 |
| 8 | 7 | 180 698 | 929 |
| 9 | 8 | 189 044 | 972 |

Se planifica que la capacidad máxima de producción, en un nivel optimizado, pueda llegar a 852 porcinos, el número de lechones ha sido estimado considerando que el 80% de las marranas se reproducirán, que tendrán en promedio 6 lechones en cada parto que se producirá dos veces al año. El desarrollo del período óptimo se fundamenta en la fórmula teórica siguiente:

$$X^* = 2,6 \cdot 1 + a \cdot 1,12r$$

Dónde:

X^* = Período óptimo,

a = factor de escala y

r = tasa de descuento.

El tamaño óptimo se dedujo de

$D_n = D_o (1 + r)^n$; donde:

D_n = Tamaño óptimo,

D_o = Magnitud del mercado actual,

n = Período óptimo.

Por la característica del proceso productivo ganadero, no generará inventarios y las pérdidas se deberán a las muertes de los ganados, lo cual técnicamente se estima en un 5% de la producción. El Plan de Producción se efectuó en dos etapas, hasta llegar a un nivel donde no se generaba incompatibilidad entre la capacidad máxima y el total de producción.

Tabla 2
Plan de producción de porcinos

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Ventas | 700 | 735 | 772 | 809 | 809 | 809 | 809 | 809 |
| - Requerimiento | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| - Incremental | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Subtotal de producción | 700 | 735 | 772 | 809 | 809 | 809 | 809 | 809 |
| Muertes | 37 | 39 | 41 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 |
| Producción Total | 737 | 774 | 813 | 852 | 852 | 852 | 852 | 852 |
| Índice de producción | 87% | 91% | 95% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

DISCUSIÓN

En las funciones productivas estimadas se verifica que, conforme se aumentan las cantidades de los factores variables de producción, la cantidad de producto va en aumento, hasta llegar a un cierto límite. Pasando este límite, nuevos incrementos de los factores variables de producción generarán una disminución en la cantidad de producto. A ese límite, que representa la producción máxima posible, se le llama máximo técnico, permitiendo elaborar Planes Óptimos de Producción.

Este comportamiento es consistente con los principios microeconómicos descritos por Fernández-Baca (2003) quien señala que la producción se incrementa con el aumento de los insumos hasta alcanzar un punto de saturación. Asimismo, Krugman y Wells (2019) destacan que los productores maximizan su beneficio empleando una cantidad de factor tal que su valor de producto marginal sea igual a su precio, lo que se observa en los modelos estimados.

En algunos modelos, debido a problemas de calidad de datos, se asume que existe “manipulación de datos” que genera reiteración y monotonía, no mostrando la variabilidad necesaria e induciendo a un patrón sistemático de comportamiento, lo que se traduce en autocorrelación. Este problema es mencionado por García (2020) quien indica que la optimización debe considerar la eficiencia en el diseño de los procesos y la correcta asignación de recursos.

Para fijar óptimos de producción existen varios métodos alternativos, todos ellos relacionan el proceso productivo con el mercado. Se investigó una posibilidad bajo el criterio de modelos econométricos y fórmulas desarrolladas para mercados crecientes. Cuatrecasas (2020) plantea que la actividad productiva incluye

procesos coordinados para generar bienes o servicios, buscando la máxima productividad y calidad con el mínimo tiempo y costo, lo cual es fundamental en la optimización de la producción pecuaria.

En el contexto de la producción pecuaria, la implementación de modelos circulares puede mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las operaciones, promoviendo un sistema de producción más respetuoso con el medio ambiente. Este enfoque permite a las granjas adaptarse mejor a las exigencias del mercado en términos de responsabilidad ambiental, incrementando su competitividad y contribuyendo al desarrollo económico sostenible.

La mejora en la calidad del recojo de datos por el IIASAM permitirá generar mejores modelos de decisión. La FAO (2019) y (2025) subraya la importancia de la producción sostenible y eficiente, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, lo que refuerza la necesidad de optimizar los procesos productivos para contribuir al desarrollo económico y la seguridad alimentaria.

CONCLUSIONES

La optimización técnica de la producción pecuaria, basada en el análisis de series históricas de indicadores técnicos, ha demostrado ser efectiva para la toma de decisiones en la gestión productiva del Instituto. Los modelos econométricos utilizados permitieron identificar mejoras en las funciones de producción, considerando tanto el peso como la edad del ganado, y derivaron en la formulación de un plan de producción óptimo para la crianza de porcinos.

La integración de los fundamentos teóricos de la función de producción pecuaria con su optimización técnica insumo-producto ha proporcionado resultados objetivos que pueden ser utilizados para apoyar la toma de decisiones en la administración ganadera. Esto es consistente con los principios microeconómicos descritos por Fernández-Baca (2003) y Krugman y Wells (2019) quienes destacan la importancia de maximizar el beneficio empleando una cantidad de factor tal que su valor de producto marginal sea igual a su precio.

Los resultados del estudio revelan que, conforme se aumentan las cantidades de los factores variables de producción, la cantidad de producto va en aumento hasta llegar a un máximo técnico. Pasado este límite, nuevos incrementos de los factores variables generarán una disminución en la cantidad de producto. Este comportamiento es fundamental para elaborar Planes Óptimos de Producción, como lo plantea Cuatrecasas (2020) en su enfoque sobre la actividad productiva. La optimización realizada también muestra cómo adaptarse mejor a los cambios en el mercado o en la demanda, lo cual es crucial para la sostenibilidad de la granja a largo plazo. La FAO (2019) y (2025) subraya la importancia de la producción sostenible y eficiente, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, lo que refuerza la necesidad de optimizar los procesos productivos para contribuir al desarrollo económico y la seguridad alimentaria.

Es importante señalar que, en el análisis micro econométrico que vinculó el uso del concentrado y la chala en la crianza de porcinos, ovinos y bovinos, las estimaciones no fueron estadísticamente significativas y sufrieron de autocorrelación. Por ello, se optó por correlacionar las variables de edad de los

animales con su peso, siguiendo los modelos matemáticos precisos descritos por Agudelo et al. (2008). Hay un registro inconsistente en los reportes informativos pecuarios, lo cual debe ser superado mediante una sistematización del registro estadístico y el análisis de los datos. La optimización realizada puede traducirse en un mejor servicio al cliente, aumentando la satisfacción y la lealtad hacia la granja. En resumen, la optimización técnica y económica de la producción pecuaria ofrece una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el sector, fortaleciendo la gestión operativa y estratégica de la producción pecuaria.

REFERENCIAS

- Agudelo, D.A., Cerón, M.F., Restrepo, L.F. (2008). *Modelación de funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal*. Rev Colomb Cienc Pecu 2008; 21:39-58.
- Cuatrecasas, L. (2020). *Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible*. Profit Editorial I, S.L.
- Fernández-Baca, J. (2003) *Microeconomía teoría y aplicaciones*. Universidad del Pacífico, Centro de Investigación.
- García, A., Prospero, F., Albarrán, B., Arriaga, C.M. (2020). *Evaluación de rastrojo de maíz (Zea mays L.) tratado con urea como una alternativa en la suplementación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala*. (2020). Agro Productividad, 13(3). <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1628>
- García Echevarría, S. (2020). *Introducción a la economía de la empresa*. Ediciones Díaz de Santos. 2da. Edición.
- Guillén, J. (2019). *Microeconomía para los negocios Casos y Aplicaciones*. CENGAGE Learning Editores S.A.
- Henzen, R. y Weenk, E. (2022). *Economía circular. Un enfoque práctico para transformar los modelos empresariales*. Alpha Editorial S.A.
- Krugman, P. y Wells, R. (2019). *Microeconomía*. Editorial Reverté, S.A.
- Méndez, J.S. (2020). *Microeconomía. La economía en la empresa*. Grupo Editorial Patria, S.A. de C.V.
- Mankiw, G. (2020). *Principios de economía, con casos y aplicaciones para América Latina*. Editorial Cengage Learning.
- Merino, A., Acebes. L.F., Mazaeda, R. y de Prada, C. (2009). *Modelado y Simulación del Proceso de Producción del Azúcar*, Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI, Volume 6, Issue 3, Pages 21-31, ISSN 1697-7912, [https://doi.org/10.1016/S1697-7912\(09\)70261-4](https://doi.org/10.1016/S1697-7912(09)70261-4)
- Nicholson, W. (2006) *Microeconomía intermedia y sus aplicaciones*. Thomson.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2019). *Transformando el sector pecuario a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/0f9d81ed-4b18-4d45-a462-87ee3bb5403e/content>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

- (2025). *Perspectivas alimentarias. Resúmenes de mercado*. FAO
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d806973a-2281-4b86-912c-910450dbbc1d/content>
- Samuelson, P. y Nordhaus, W. (2019). *Microeconomía con Aplicaciones*. Decimonovena edición, editorial Mc Graw Hill México.
- Sánchez, A. (2021). *Ensilaje de rastrojo de maíz asociado con diferentes niveles de urea y melaza para la alimentación de rumiantes. Caracterización y posicionamiento estratégico*. Tesis Doctoral en Recursos Naturales y Gestión Sostenible por la Universidad de Córdoba.
<https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/21441>
- Tarasiuk, H., Mostenska, T., Pashchenko, O., Rudkivskyi, O. y Burachek, I. (2020). *Optimización del programa de operación de la empresa manufacturera*, Revista Internacional de Investigación Científica y Tecnológica Volúmen 9, Número 1, Páginas 3424 - 3428.