



Evaluación técnica y cuantitativa de la producción porcina mediante un sistema informático

Technical and quantitative evaluation of pig production using a computer system

Avaliação técnica e quantitativa da produção suína com recurso a um sistema computacional

Juan Diego Erazo-Rodríguez ^I

juan.erazo@espoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0152-5645>

Vanessa Lorena Valverde-González ^{II}

v_valverde@espoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-3501-8353>

Byron Daniel Erazo-Rodríguez ^{III}

erazodaniel97@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-3339-9017>

Johana Beatriz Samaniego-Palacios ^{IV}

johasamaniego@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3432-2089>

Correspondencia: juan.erazo@espoch.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

*** Recibido:** 25 de mayo de 2025 ***Aceptado:** 29 de junio de 2025 *** Publicado:** 08 de julio de 2025

- I. Ingeniero Industrial, Magíster en Ingeniería Industrial con mención en Calidad y Productividad, Máster Universitario en Dirección Logística, Filial: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad Mecánica, Carrera Ingeniería Industrial, Grupo de investigación GIDENM, Ecuador.
- II. Máster universitario en Ingeniería de Software y Sistemas Informáticos, Magíster en Informática Educativa, Filial: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad Mecánica, Carrera Ingeniería Industrial, Grupo de investigación CIMANT, Ecuador.
- III. Ingeniero Mecánico, Máster Universitario en Ingeniería Matemática y Computación, Ecuador.
- IV. Tecnólogo en contabilidad de costos, Ingeniera de mantenimiento, Master universitario en sistemas integrados de gestión de la prevención de riesgos laborales, la calidad, el medio ambiente y la responsabilidad social corporativa, Ecuador.

Resumen

El presente trabajo de titulación aborda la implementación de un sistema informático basado en macros de Excel para mejorar la gestión y control de la producción porcina en la Granja San Pablo. El objetivo principal es optimizar la eficiencia en la producción mediante las herramientas tecnológicas que permitan una planificación precisa y una gestión adecuada de inventarios y recursos. Se realizó un diseño de bloques completamente al azar, en diferentes corrales de cerdos, analizando el efecto de las dosis de ractopamina (250, 225 y 200 gramos) y evaluar la eficiencia de conversión alimenticia (ICA) y la ganancia diaria de peso (GDP). El corral 9, con 250 gramos de ractopamina, mostró la mejor eficiencia (ICA de 2.30) y la mayor ganancia diaria de peso (GDP de 0.94 kg/día). Estos resultados demuestran la importancia de gestionar adecuadamente las dosis de ractopamina para maximizar el rendimiento. La tesis destaca la relevancia de mantener un stock de seguridad de productos, especialmente de macronutrientes y micronutrientes necesarios para la producción de cerdos. Esto garantiza una producción continua sin interrupciones debido a la falta de suministros. Se evaluaron métodos de proyección de demanda para diferentes tipos de balanceado, y mediante programación lineal con el complemento Solver en de microsoft excel se determinó que el Promedio Móvil Ponderado Ajustado (MP) y analizando el indicador de desempeño demuestra la mayor precisión y ajuste en relación con la demanda real. Adicional, se desarrolló un Plan Maestro de Producción (PMP) que se actualiza automáticamente, así como el Plan Agregado de Producción con una fuerza laboral constante. El uso de macros de Excel para gestionar inventarios y proyectar la demanda permite tomar decisiones informadas y optimizar la producción de cerdos, satisfaciendo la demanda y maximizando la eficiencia, lo que justifica la implementación de tecnología en la gestión agrícola.

Palabras clave: producción porcina; proyección de demanda; sistema informático; plan maestro de producción; control de inventarios; stock de seguridad; plan agregado de producción.

Abstract

This thesis addresses the implementation of an Excel macro-based software system to improve the management and control of pig production at Granja San Pablo. The main objective is to optimize production efficiency through technological tools that allow for precise planning and proper management of inventories and resources. A completely randomized block design was used in different pig pens, analyzing the effect of ractopamine doses (250, 225, and 200 grams) and

evaluating feed conversion efficiency (FCE) and daily weight gain (DWG). Pen 9, with 250 grams of ractopamine, showed the highest efficiency (FCE of 2.30) and the highest daily weight gain (DWG of 0.94 kg/day). These results demonstrate the importance of properly managing ractopamine doses to maximize performance. The thesis highlights the importance of maintaining a safety stock of products, especially macronutrients and micronutrients necessary for pig production. This ensures continuous production without interruptions due to supply shortages. Demand forecasting methods for different types of feed were evaluated, and using linear programming with the Solver add-in in Microsoft Excel, it was determined that the Adjusted Weighted Moving Average (WMA) and the performance indicator analysis demonstrate the greatest accuracy and fit with actual demand. Additionally, an automatically updated Master Production Plan (MPP) was developed, as well as the Aggregate Production Plan with a constant workforce. The use of Excel macros to manage inventories and forecast demand allows for informed decisions and optimizes pig production, meeting demand and maximizing efficiency, justifying the implementation of technology in farm management.

Keywords: pig production; demand forecasting; computer system; master production plan; inventory control; safety stock; aggregate production plan.

Resumo

Esta tese aborda a implementação de um sistema de software baseado em macros do Excel para melhorar a gestão e o controle da produção de suínos na Granja San Pablo. O principal objetivo é otimizar a eficiência da produção através de ferramentas tecnológicas que permitam um planejamento preciso e uma gestão adequada dos stocks e dos recursos. Utilizou-se um delineamento em blocos ao acaso em diferentes parques de suínos, analisando o efeito das doses de ractopamina (250, 225 e 200 gramas) e avaliando a eficiência de conversão alimentar (CAA) e o ganho de peso diário (GPD). A baia 9, com 250 gramas de ractopamina, apresentou a maior eficiência (CAA de 2,30) e o maior ganho de peso diário (GPD de 0,94 kg/dia). Estes resultados demonstram a importância da gestão adequada das doses de ractopamina para maximizar o desempenho. A tese realça a importância de manter um stock de segurança de produtos, especialmente macronutrientes e micronutrientes necessários para a produção de suínos. Isto garante uma produção contínua sem interrupções devido à escassez de fornecimentos. Foram avaliados métodos de previsão da procura para diferentes tipos de ração e, utilizando a

programação linear com o complemento Solver do Microsoft Excel, determinou-se que a Média Móvel Ponderada Ajustada (MMA) e a análise dos indicadores de desempenho demonstram a maior precisão e adequação à procura real. Além disso, foi desenvolvido um Plano Mestre de Produção (MPP) atualizado automaticamente, bem como o Plano de Produção Agregada com força de trabalho constante. A utilização de macros do Excel para gerir stocks e prever a procura permite decisões informadas e otimiza a produção de suínos, atendendo à procura e maximizando a eficiência, justificando a implementação de tecnologia na gestão da exploração.

Palavras-chave: produção de suínos; previsão da procura; sistema informático; plano mestre de produção; controlo de stock; stock de segurança; plano de produção agregado.

Introducción

La producción porcina en Ecuador ha experimentado un notable crecimiento, consolidándose como el segundo sector más relevante dentro de la ganadería, justo después del ganado vacuno. En los últimos años, este sector ha alcanzado niveles significativos de producción, superando las 220 mil toneladas anuales, y ha mantenido estándares elevados de calidad cárnica (ROTECNA, 2024). Este desarrollo ha implicado una evolución desde sistemas de crianza tradicionales y familiares hacia una industria porcina altamente tecnificada, que incorpora mejores prácticas en genética, nutrición, bioseguridad y manejo animal.

En este contexto, la tecnología desempeña un papel fundamental al optimizar los procesos de producción. No obstante, los sectores primarios en Ecuador, incluyendo la porcicultura, siguen siendo los que menos invierten en tecnología, lo que limita su gestión y ralentiza su potencial de expansión tanto a nivel nacional como internacional (Escalante, 2024). Superar estas limitaciones requiere de estrategias integrales que integren herramientas de planificación avanzada, automatización y sistemas de información para mejorar la toma de decisiones en la producción porcina.

Una adecuada gestión de inventarios de nutrientes esenciales, como macronutrientes y micronutrientes, son la clave para garantizar el rendimiento óptimo de los animales. Esta gestión incide directamente en indicadores técnicos como la eficiencia de conversión alimenticia y la ganancia diaria de peso. En este sentido, el uso de herramientas digitales, como macros programadas en Excel, permite calcular requerimientos, registrar consumos y prever necesidades, evitando interrupciones en el suministro (Escudero, 2022). Este tipo de soluciones, aunque simples,

son fundamentales para pequeños y medianos productores que aún no cuentan con sistemas especializados.

Fundamentos Teóricos

Índice de conversión alimenticia (ICA)

Es una medida que se utiliza en la producción animal para evaluar la eficiencia con la que los animales convierten el alimento que consumen en peso corporal. En el caso de cerdos, el índice de conversión alimenticia se expresa como la cantidad de alimento necesario para producir una unidad de peso vivo (Romero, y otros, 2017: pp.1-2).

$$ICA = \frac{\text{Peso ganado (en peso vivo)}}{\text{Cantidad total de alimento consumido (en peso)}}$$

Ganancia de peso diario (GDP)

La ganancia de peso diario se refiere al aumento en la masa o peso de un organismo en un período de un día. Se calcula al dividir la ganancia total de peso (kg en un periodo de tiempo dado del crecimiento), entre los días en crecimiento de ese periodo evaluado (no entre días de edad) (Aguila, 2021: pp.1-2).

$$GDP = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Numero de días}}$$

Diseño experimental

Es un proceso de prueba o investigación de ensayos que buscan la verdad, utilizando un diseño o modelo matemático, que nos permita comprobar una hipótesis. Al planificar un experimento, hay tres principios básicos que se deben tener siempre en cuenta, el principio de aleatorización, bloqueo o agrupación, la factorización del diseño (Luis, y otros, 2015: pp.27).

Diseño de bloques completamente al azar

El diseño de bloques completos al azar (RCBD) según (Montgomery, y otros, 2014, pp. 562-568) es un enfoque experimental utilizado para reducir la variabilidad causada por factores no controlables en un experimento. Este diseño es una extensión de la prueba t pareada y se aplica cuando hay más de dos tratamientos que necesitan ser comparados. A continuación, se presenta una descripción teórica del RCBD:

Bloques

En el RCBD, las unidades experimentales se agrupan en bloques, donde cada bloque contiene unidades similares entre sí. Los bloques son diseñados para capturar y controlar la variabilidad causada por factores externos no controlables, llamados factores de bloqueo (Montgomery, y otros, 2014, pp. 562-568).

Tratamientos

Dentro de cada bloque, se asignan los tratamientos de manera aleatoria. Un tratamiento es una condición específica que se aplica a las unidades experimentales. En un RCBD, cada bloque debe contener todas las condiciones de tratamiento, garantizando así que cada tratamiento se pruebe en cada bloque (Montgomery, y otros, 2014, pp. 562-568).

Asignación Aleatoria

La asignación de tratamientos a unidades experimentales dentro de cada bloque se realiza aleatoriamente para asegurar que las conclusiones del experimento sean válidas y no estén sesgadas por la variabilidad inherente de los bloques (Montgomery, y otros, 2014, pp. 562-568).

Modelo Estadístico

Representar las observaciones mediante un modelo estadístico lineal. Para un solo factor con a niveles y b bloques, el modelo es:

$$y_{ij} = m + t_i + b_j + e_{ij}$$

Donde:

y_{ij} = respuesta observada con el tratamiento i en el bloque j

m = media general

t_i = efecto del tratamiento i ; $i = 1, 2, \dots, t$

b_j = efecto del bloque j ; $j = 1, 2, \dots, r$

e_{ij} = termino de error asociado al tratamiento i en el bloque j

Tabla 1: Análisis ANOVA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Tratamientos	SC _{Trat}	k-1	$CM_{Trat} = \frac{SC_{Trat}}{k-1}$	$F = \frac{CM_{Trat}}{CM_{Error}}$
Bloques	SC _{Bloq}	r-1	$CM_{Bloq} = \frac{SC_{Bloq}}{r-1}$	$F = \frac{CM_{Bloq}}{CM_{Error}}$
Error	SC _{Error}	(k-1) (r-1)	$CM_{Error} = \frac{SC_{Error}}{(k-1)(r-1)}$	
Total	SC _{Total}	N-1		

Fuente: (Montgomery, y otros, 2014, pp. 562-568)

Realizado por: Autor

Análisis ANOVA

Se realiza un ANOVA para determinar si hay diferencias significativas entre los tratamientos, comparando la variabilidad entre tratamientos con la variabilidad dentro de los bloques, para realizarlo se necesitan de las siguientes formulas y tabla:

Formulas:

$$SC_{Total} = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^k y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^r \frac{1}{n_i} y_i^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SC_{Bloq} = \sum_{j=1}^r \frac{1}{n_j} y_{.j}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SC_{Error} = SC_{Total} - SC_{Trat} - SC_{Bloq}$$

Interpretación

Si el F-estadístico es significativo, se concluye que hay diferencias significativas entre los tratamientos.

Múltiples comparaciones

Cuando el ANOVA muestra que hay una diferencia entre las medias de los tratamientos, puede ser necesario realizar pruebas adicionales para identificar las diferencias específicas. Para este propósito, se puede emplear un método de comparación múltiple, como el método LSD de Fisher.

$$LSD = t_{\frac{\alpha}{2}, (k-1)(r-1)} \sqrt{\frac{2CM_E}{ni}}$$

Tabla 2: Comparación de medias

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Comparación	Interpretación
$\mu_1 - \mu_2$	$\mu_1 - \mu_2 = x_1$	$x_1 > LSD$	Si el resultado de las medias es mayor al LSD estas serán significativas, de lo contrario serán no significativas.

Fuente: (Montgomery, y otros, 2014, pp. 562-568)

Realizado por: Autor

Modelo matemático de inventario

Cantidad económica de pedido (EOQ)

Según (KRAJEWSKI, y otros, 2008: pp.468-469), la cantidad económica de pedido (EOQ) es el tamaño de lote que minimiza los costos totales anuales asociados con el mantenimiento de inventario cíclico y la realización de pedidos.

La fórmula básica de EOQ es la siguiente:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 * D * S}{H}}$$

Donde:

D= Demanda anual de unidades

S= Costo de realizar un pedido

H= Costo de mantenimiento de inventario por unidad por año

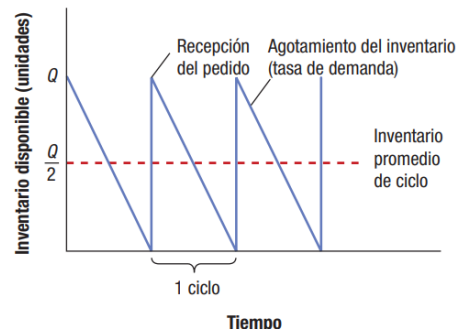


Ilustración 1: Niveles de inventario de ciclo

Fuente: ((KRAJEWSKI, y otros, 2008: pp.468-469))

Punto de pedido y Stock de seguridad

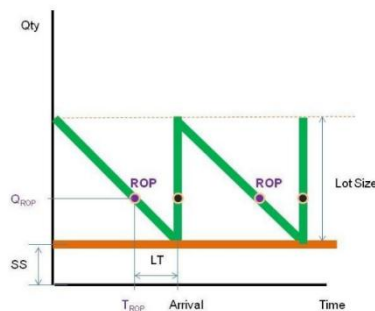


Ilustración ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.: Relación entre stock de seguridad y punto de equilibrio

Fuente: (Kuuse, 2023)

A la hora de calcular el stock de seguridad se disponen de varis modelos matemáticos donde SS es el Stock de Seguridad, PME es el Plazo máximo de entrega, es decir, el período máximo que el proveedor tardaría en entregarnos el producto si hubiera algún problema, PE el Plazo de entrega normal, en el que recibiremos la mercancía si no hay ningún problema y DM la Demanda media, que se tendrá en situaciones habituales, entonces la principal fórmula para calcularlo es la siguiente:

$$SS = (PME - PE) * DM$$

En caso de aplicar el inventario de seguridad, el punto de pedido (PEP) será, el stock de seguridad (SS) más la demanda media (D) por el lead time (LT), y su fórmula viene dada por:

$$PEP = SS + (D \times LT)$$

Series de tiempo

Se trata de métodos estadísticos que utilizan datos históricos para predecir el comportamiento de la demanda en un futuro cercano. Entre las técnicas de pronóstico más destacadas se encuentran el promedio móvil simple, el promedio móvil ponderado, la suavización exponencial y la suavización exponencial con tendencia e índices de estacionalidad. (Romero, 2021: pp.24-35)

Promedio móvil simple

El promedio móvil simple según (Romero, 2021: pp.24-35) es un método de series de tiempo que se emplea cuando no se observan tendencias pronunciadas en los datos históricos, utilizando la siguiente fórmula:

$$F_{t+1} = \frac{\text{Suma de las últimas demandas}}{n}$$

$$F_{t+1} = \frac{D_t + D_{t-1} + D_{t-2} + \dots + D_{t-n+1}}{n}$$

$$F_{t+1} = \text{Pronóstico para el periodo } t + 1$$

$$D_t = \text{demanda real}$$

$$n = \text{número total de periodos}$$

Promedio móvil ponderado

El promedio móvil ponderado permite asignar importancia variable a cada elemento de la serie de tiempo. La importancia de cada valor en la serie se expresa en términos de una ponderación (porcentaje), denotada como (W_t), que representa el valor ponderado para un dato del período "t". Esta ponderación oscila entre 0 y 1; cuanto más cercana esté la ponderación a 0, menor será la importancia del dato en la serie de tiempo. Por otro lado, cuanto más cercana esté la ponderación a 1, mayor será la importancia del dato para calcular el pronóstico. (CIFUENTES, 2021: pp.11-25)

La fórmula general del promedio móvil ponderado es la siguiente:

$$F_{t+1} = W_t Y_t + W_{t-1} Y_{t-1} + W_{t-2} Y_{t-2} + \dots + W_{t-k} Y_{t-k}$$

Dónde:

F_{t+1} = pronóstico en el período $t + 1$

Y_t = valor en el período t

W_t = ponderación asignada a Y_t

n = total de períodos ponderados y que se utilizarán para calcular el pronóstico.

t = períodos

$$\sum_{t=1}^n w_t = 1$$

Promedio móvil ponderado ajustado

El promedio móvil ponderado ajustado permite asignar importancia variable a cada elemento de la serie de tiempo utilizando la herramienta de solver en Excel. La importancia de cada valor en la serie se expresa en términos de una ponderación (porcentaje), denotada como (W_t), que representa el valor ponderado para un dato del período " t ". Esta ponderación oscila entre 0 y 1; cuanto más cercana esté la ponderación a 0, menor será la importancia del dato en la serie de tiempo. Por otro lado, cuanto más cercana esté la ponderación a 1, mayor será la importancia del dato para calcular el pronóstico. (CIFUENTES, 2021: pp.11-25)

La fórmula general del promedio móvil ponderado es la siguiente:

$$F_{t+1} = W_t Y_t + W_{t-1} Y_{t-1} + W_{t-2} Y_{t-2} + \dots + W_{t-k} Y_{t-k}$$

Dónde:

F_{t+1} = pronóstico en el período $t+1$

Y_t = valor en el período t

W_t = ponderación asignada a Y_t

t = períodos

n = total de períodos ponderados y que se utilizarán para calcular el pronóstico

$$\sum_{t=1}^n w_t = 1$$

Suavización exponencial

El suavizamiento exponencial es uno de los métodos más simples y ampliamente utilizados en pronósticos. Se considera un promedio móvil ponderado más especializado, que requiere un parámetro de suavización representado por la letra (α). Este parámetro α varía entre cero y uno; se recomienda usar valores cercanos a cero si los datos están uniformemente distribuidos, mientras que valores más cercanos a uno son más apropiados si los datos son más aleatorios. A continuación, se presentan las fórmulas para calcular el pronóstico utilizando suavización exponencial. (Romero, 2021: pp.24-35)

$$F_{t+1} = \alpha (\text{demanda para este periodo}) + (1 - \alpha)(\text{pronostico para el ultimo periodo})$$

$$F_{t+1} = \alpha D_t + (1 - \alpha)F_t$$

Suavización exponencial doble

El suavizamiento exponencial doble es una técnica más avanzada que el suavizamiento exponencial simple, ya que considera el factor de tendencia, es decir, el aumento o disminución en el promedio en las series de tiempo. (Romero, 2021: pp.24-35) Se utilizan los siguientes parámetros:

A_t = Promedio suavizado exponencialmente en la serie del periodo t

T_t = Promedio suavizado exponencialmente de la tendencia en el periodo t

α = Parámetro de suavizamiento para el promedio entre el intervalo cero y uno

β = Parámetro de la tendencia entre el intervalo cero a uno

F_{t+1} = Pronóstico para el periodo $t + 1$

$A_t = \alpha * (\text{Demanda en este periodo}) + (1 - \alpha) * (\text{promedio} + \text{Estimación de la tendencia en el último periodo})$

$T_t = \beta * (\text{Promedio de este periodo} - \text{Promedio del último periodo}) + (1 - \beta) * (\text{Estimación de la tendencia en el último periodo})$

$A_t = \alpha * (D_t) + (1 - \alpha) * (A_{t-1} + T_{t-1})$

$T_t = \beta * (A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta) * T_{t-1}$

$F_{t+1} = A_t + T_t$

Método de Winter

Este método se emplea cuando, además de la presencia de un componente de tendencia, los datos exhiben componentes estacionales o periódicos. Por ende, este método incorpora una ecuación para calcular una estimación del componente estacional. (CIFUENTES, 2021: pp.11-25) Las fórmulas del modelo son las siguientes:

$$A_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-L}} + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta) T_{t-1}$$

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{A_t} + (1 - \gamma) S_{t-L}$$

$$Y_{t+p} = (A_{t-1} + pT_t)S_{t-L+p}$$

Donde:

α = constante de suavización = $\left(\frac{1}{n}\right)$ o un valor entre 0 y 1

β = constante de suavización de la tendencia = $\left| \frac{1}{1-n} \right|$ o un valor entre 0 y 1

γ = constante de suavización de la estacionalidad, valor entre 0 y 1

p = número de periodos a pronosticar

L = factor de estacionalidad

A_t = Y_t hasta que sea posible calcular A_t

$T_1 = 0$

$E_t = 1$

Pronósticos correlacionales

Son métodos estadísticos que buscan establecer relaciones entre dos o más variables, y se aplican en diversos ámbitos, como la analítica de datos y la econometría. Entre las técnicas más frecuentes se encuentran la regresión lineal, la regresión múltiple y el método de mínimos cuadrados. (Romero, 2021: pp.24-35)

Regresión lineal

La regresión lineal consiste en la correlación de dos variables, una de tipo independiente y otra dependiente, esta relación puede ser de forma directa, indirecta o nula. (Romero, 2021: pp.24-35)

A continuación, se presentan las fórmulas de la regresión lineal:

$$Y = a + bX$$

a = intersección de la recta con respecto al eje Y.

b = pendiente de la recta.

r = coeficiente de correlación,

si es cercano a 1 se determina que la relación de las variables es directa y fuerte,

si es más cercano a 0 es débil y si es más cercano a -1 es fuerte inversa.

Y = variable dependiente.

X = variable independiente.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Y}{n} - b \frac{\sum_{j=1}^n X}{n}$$

$$b = \frac{n(\sum_{i=1}^n X_i Y_i) - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n(\sum_{i=1}^n X_i^2) - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}$$

$$\sigma_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{n} - \bar{X}\bar{Y}$$

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n} - (\bar{X})^2}$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Y_i^2}{n} - (\bar{Y})^2}$$

Mínimos cuadrados

La expresión general de este método se fundamenta en la ecuación de una recta ($y = mx + b$), donde (m) representa la pendiente y (b) el punto de corte (Miguel Rojas, 2023: pp.1). Estos valores se expresan de la siguiente manera:

$$m = \frac{n * \Sigma(x * y) - \Sigma x * \Sigma y}{n * \Sigma x^2 - |\Sigma x|^2}$$

$$b = \frac{\Sigma y * \Sigma x^2 - \Sigma x * \Sigma(x * y)}{n * \Sigma x^2 - |\Sigma x|^2}$$

El método de mínimos cuadrados encuentra la recta que mejor se ajusta a un conjunto de datos (x , y) mediante la minimización de las distancias entre los puntos y la recta. Se calculan los valores de m y b , pendiente e intercepto respectivamente, utilizando la expresión general de la ecuación de una recta $y = mx + b$. Si al trazar los puntos en un gráfico no forman una línea recta clara, se utiliza este método para encontrar la mejor línea de ajuste, basándose en su ecuación general:

$$y = \left(\frac{n * \Sigma(x * y) - \Sigma x * \Sigma y}{n * \Sigma x^2 - |\Sigma x|^2} \right) x + \left(\frac{\Sigma y * \Sigma x^2 - \Sigma x * \Sigma(x * y)}{n * \Sigma x^2 - |\Sigma x|^2} \right)$$

Plan agregado de producción

Un plan agregado es un método de gestión de la producción que se enfoca en establecer una estrategia previa para satisfacer las necesidades de producción. Se llama "agregado" porque no especifica los SKU (Stock Keeping Unit), sino que se realiza en términos de familias de productos. (Óscar Alarcón, 2021: pp. 49-51)

Método de fuerza laboral constante

Este método intenta equilibrar la producción y la demanda utilizando inventarios y faltantes. Es una estrategia efectiva de plan agregado siempre que los costos de mantener inventario y los de faltantes sean bajos. Es importante destacar que, en este caso, la fuerza laboral se mantiene constante (Óscar Alarcón, 2021: pp. 49-51).

$$\text{Producción Real} = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Tiempo de fabricacion}}$$

$$\text{Inventario final} = \text{Inventario inicial} + \text{Producción real} - \text{Demanda}$$

Si el Inventario final es < 0 es unidad faltante

$$\text{Costo total de inventario} = \text{Unidades en inventario} * \text{Costo de mantener inventario}$$

Costo de plan agregado

$$= \text{Costo de tiempo normal} + \text{Costo de faltantes} + \text{Costo de inventario}$$

Plan de Maestro de Producción (PMP)

Es una herramienta que asiste a los planificadores de producción al tomar decisiones en un período de planificación operativa a definir cuándo deben lanzarse las órdenes de fabricación de un producto, esto implica que la planeación de producción se debe realizar por cada sku y no en familias de productos.

A continuación, se definen las fórmulas correspondientes:

Si el inventario inicial $< \text{Max}(\text{pronóstico}, \text{pedidos})$; el PMP sera > 0

$$\text{Inventario final} = \text{Inventario inicial} + \text{PMP} - \text{Max}(\text{pronóstico}, \text{pedidos})$$

Plan de Requerimientos De Materiales (MRP)

Es una herramienta racional para establecer el número de componentes o elementos para fabricar un producto que se basa en una demanda dependiente, por tanto, tiene una gran relevancia en procesos donde se realicen ensambles de fabricación y donde la producción sea en masa, los factores determinantes en un MRP son la lista de materiales, maestro de artículos, explosión de materiales BOM, lead time, Tamaño de lote de producción. (Alarcón, y otros, 2021: pp. 66-67)

Relación entre PMP, MRP Y PEP:

El MRP utiliza el Punto de Pedido para determinar cuándo deben realizarse los pedidos de materiales para garantizar que estén disponibles justo a tiempo para la producción, tanto en el PMP como en el MRP, la gestión del inventario, el Punto de Pedido y el inventario de seguridad, es crítico para asegurar que se cumplan las demandas del mercado y que la producción funcione de manera eficiente. (Caleb Finch, 2021: pp.1)

Sistema Informático de producción

Un sistema informático de producción es un software que sirve para que las empresas de lleven un mejor control de sus procesos. Es decir, con este sistema se puede hacer una trazabilidad del proceso de producción en el punto que se encuentra el producto y está enfocado a la directiva de

una empresa para analizar la eficiencia de la/s planta/s de producción, colas de fases, estado de pedidos, etc. (ticPortal, 2023: p. 1)

Metodología

Tipo de Investigación

El trabajo de investigación presenta los escenarios metodológicos de una investigación aplicada, pues tiene como objetivo la solución de problemas reales. Por lo cual se aplicará la metodología de Diseño Experimental y Punto de pedido para reducir los errores de inventarios, mejorando el proceso de elaboración de balanceado y producción de cerdos en la “Granja San Pablo”. (Alarcón, y otros, 2021: pp. 66-67)

Enfoque de la investigación

La investigación se basa en un enfoque cuantitativo, la cual tiene datos medibles y cuantificables, tales como tasas de producción, índices de conversión alimenticia, inventario de materias primas, nivel de stock de seguridad, punto de pedido etc. (Murray, 2018: pp. 1-5) Este tipo de enfoque son esenciales para optimizar los procesos productivos y los beneficios producidos por el producto para su consumidor. (Cardona, y otros, 2018: pp. 200-203).

Alcance de la Investigación

Este estudio tiene un alcance descriptivo pues se analiza cada etapa del proceso actual, identificando las áreas claves y críticas identificando sus factores, estableciendo la correlación directa entre la fabricación de balanceado con la producción de cerdos, con un enfoque correlacional para examinar la incidencia entre dos variables específicas: los niveles de ractopamina y el índice de ganancia de peso diario (GDP). (PAMEL, 2018: pp. 35-40)

Diseño de la investigación

Con el propósito de abordar eficientemente la mejora del sistema productivo en la Granja San Pablo, se ha optado por un enfoque de investigación basado en el diseño de experimentos. Este diseño, específicamente de tipo completamente aleatorio, ha sido elegido por su adecuación a las necesidades de la intervención propuesta.

Método de Investigación

Los métodos de investigación empleados serán de análisis estadísticos para el tratamiento de los datos de producción, esto permite una evaluación objetiva como tasas de producción como pesos

de cerdos producidos o cantidad de balanceado fabricado y así dar significado a los datos recolectados.

Técnicas de investigación

Se implementarán diversas técnicas de recolección de datos con el objetivo de obtener información para la mejora del sistema productivo, en la observación participativa implicará la manipulación directa de variables durante el diseño experimental. Esto se traduce en la intervención activa en el proceso productivo, específicamente en la variación del porcentaje de ractopamina en 200g, 225g y 250g, para evaluar su incidencia en el índice de ganancia de peso diario.

La observación directa y participante se utilizará para realizar un registro de todos los pesos de los cerdos necesarios así mismo el análisis de documentos se aplicará mediante la revisión y evaluación de registros relacionados con los pesos de los animales, materias primas, historiales de alimentación y otros documentos escritos relevantes. Para probar hipótesis y evaluar condiciones específicas, se emplearán diseños de experimentos controlados. (Rekalde, y otros, 2014: pp. 207-215)

Instrumentos de Investigación

Para hacer posible la aplicación de estas técnicas, se emplearon instrumentos específicos. Las balanzas fueron utilizadas para medir con precisión los pesos de los cerdos, mientras que documentos bibliográficos proporcionaron información clave sobre cantidades de micronutrientes. Además, se revisaron y utilizaron registros de producción de balanceados para obtener datos históricos sobre la alimentación de los cerdos.

Mapa de procesos

En el mapa de procesos permite observar de manera grafica los procesos, tareas y actividades que se realizan en la “Granja San Pablo”.

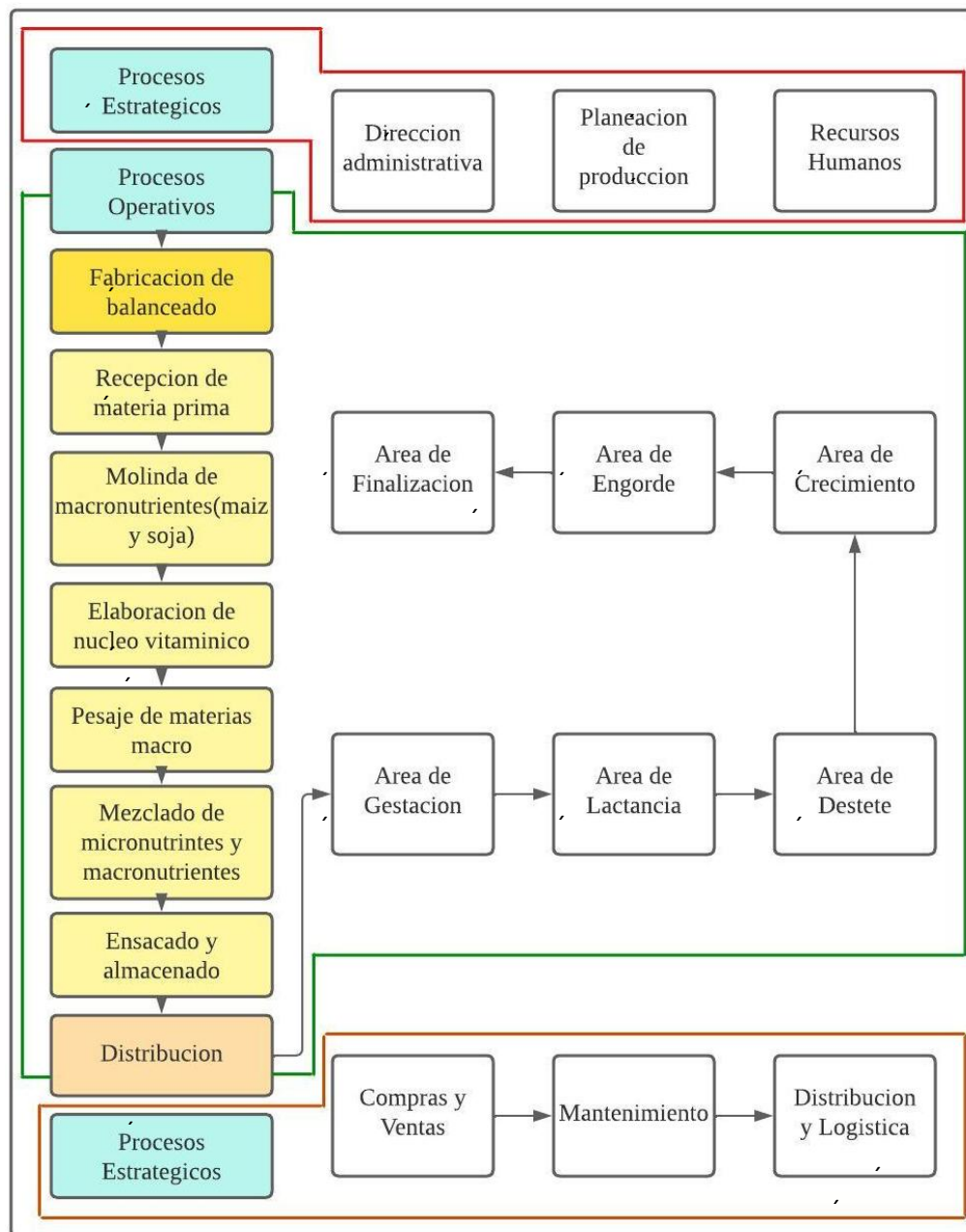


Ilustración 3: Mapa de procesos de la Granja San Pablo

Fuente: Autor

Diagrama de flujo del desarrollo de la investigación

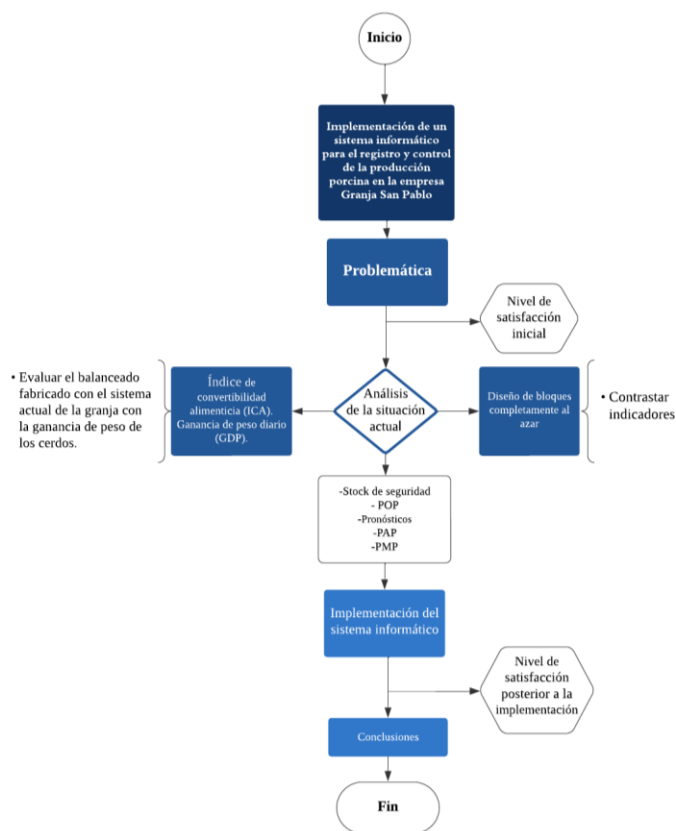


Ilustración 2: Diagrama de flujo del trabajo de integración curricular

Fuente: Autor

Evaluación inicial del sistema actual utilizado

Antes de iniciar la etapa de implementación del sistema informático, resulta fundamental entender la situación actual. Para poder evaluar el sistema se desarrolló una encuesta a todos los encargados del área de producción, la encuesta consto de varias preguntas relacionadas con los puntos importantes que contiene el sistema.

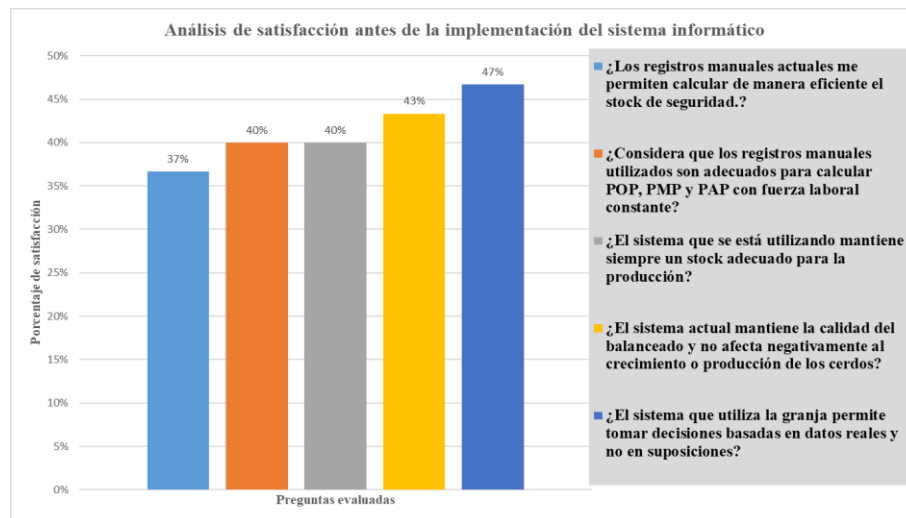


Ilustración 5: Análisis de satisfacción

Fuente: Autor

Se puede observar los resultados de la encuesta indican una percepción general de insatisfacción con los registros manuales y el sistema actual utilizado en la granja para gestionar inventarios y decisiones operativas. Los porcentajes de satisfacción varían entre 37% y 47%, destacando áreas críticas como la eficiencia en el cálculo del stock de seguridad y la capacidad de tomar decisiones basadas en datos reales.

Etapas de aplicación de la metodología de Diseño Experimental, Punto de Pedido, Plan agregado de producción y Plan maestro de producción

En el área de Finalización se aplicará la metodología del diseño experimental en el que se evaluará la cantidad de ractopamina en el alimento vs la ganancia de peso de los cerdos, de la misma forma en el área de distribución y logística se implementará el sistema informático de modelo de inventario el cual se determinará el punto de pedido de los macros y micronutrientes, plan agregado de producción y plan maestro de producción de balanceado.

Aplicación del Diseño Completamente Aleatorio

Según (MONTGOMERY, 2013: pp. 65-75) para realizar un diseño completamente aleatorio se debe determinar varios elementos y aunque cada investigación es diferente el proceso para la realización serán similares, a continuación, se presenta los factores generales:

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.: Características de las unidades experimentales

Corral	Área	Comederos	Bebederos	Numero de cerdos	Raza	Edad	Alimento	Sexo
9	32 m ²	2	2	30	Pietrain, Belga.	150 días	Finalizador	Machos y Hembras
11	32 m ²	2	2	30	Pietrain, Belga.	150 días	Finalizador	Machos y Hembras
10	32 m ²	2	2	30	Pietrain, Belga.	150 días	Finalizador	Machos y Hembras

Realizado por: Autor

Tabla 4: Tabla de variables y niveles de tratamiento

Variable dependiente	Variable independiente	Niveles de la variable independiente
Ganancia de peso (kg)	Ractopamina (gr)	200 gr
		225 gr
		250 gr

Realizado por: Autor

Utilizar ANOVA para comparar las medias de GDP entre los diferentes niveles de ractopamina. Realizar pruebas de significancia estadística para identificar diferencias significativas mediante el estadístico de prueba vs valor crítico y el p-value.

H0: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

H0: No hay diferencias significativas en la ganancia de peso entre los tres lotes de cerdos que recibieron diferentes dosis de ractopamina.

Ha: Al menos una μ_i es diferente

Ha: Al menos uno de los lotes de cerdos que recibieron diferentes dosis de ractopamina (200g, 225g y 250g) muestra una ganancia de peso significativamente diferente.

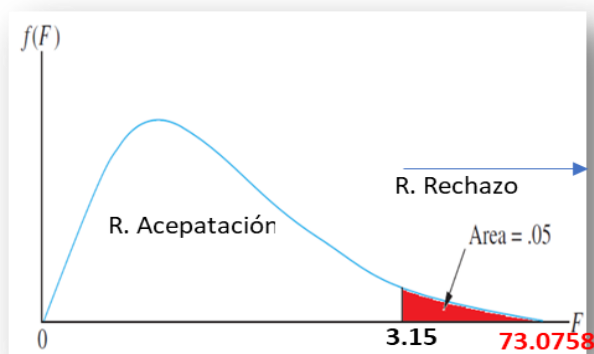
Niveles de ractopamina	Cerdos (bloque)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
200	10	9	9	8	9	9	10	11	12	11	10	9	9	9	9	11
250	14	17	15	15	15	15	14	15	15	16	16	17	16	17	14	13
225	7	13	14	13	14	14	14	13	14	13	12	11	12	11	11	13
Suma(x _{ij})=	31	39	38	36	38	38	38	39	41	40	38	37	37	37	34	37

	Cerdos (bloque)															
Niveles de ractopamina	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Suma(x _{ij})= Promedio	
200	14	12	11	11	9	9	9	9	10	12	11	10	11	12	305 10.1667	
250	15	16	15	16	15	14	11	10	15	15	15	19	20	19	459 15.3	
225	13	13	13	14	13	14	15	16	14	13	15	17	15	17	401 13.3667	
Suma(x _{ij})=	42	41	39	41	37	37	35	35	39	40	41	46	46	48		

Ilustración 6: Sumatoria de bloques**Fuente:** Autor**Tabla 5:** ANOVA

Tabla ANOVA				
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Tratamientos	403,289	2	201,644	73,0758
Bloques	121,389	29	4,186	1,5169
Error	160,044	58	2,759	
Total	684,722	89		

(Valor crítico) $F_{\alpha, k-1, (k-1)(r-1)} =$	3,155931971
p-valor=	0,000

Fuente: Autor**Ilustración 7:** Área de aceptación y rechazo**Fuente:** Autor

Existe suficiente evidencia estadística significativa para rechazar la hipótesis nula debido a que nuestro estadístico de prueba de 73.07 es mayor a nuestro valor crítico de 3.1559 y de la misma manera nuestro p-value es menor al valor de significancia de 0.05, es decir existe diferencias significativas entre los pesos obtenidos con los diferentes niveles de ractopamina, por consiguiente, se tendrá que realizar una comparación de medias con el método de fisher y determinar los niveles significantes.

$$LSD = t_{\frac{\alpha}{2}, (k-1)(r-1)} \sqrt{\frac{2CM_E}{n_i}}$$

Tabla 6: Datos para LSD de Fisher y grados de libertad

(k-1)(r-1) =		58
	CM _E =	2,7594
	n _i =	30
t _{α/2, (k-1)(r-1)} =		2,001717

Fuente: Autor

$$LSD = (0.05, 58) * \sqrt{\frac{2 * 2.7594}{30}}$$

$$LSD = (2.0017) * \sqrt{\frac{2 * 2.7594}{30}}$$

$$LSD = 0.86$$

Tabla 7: Diferencia poblacional

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Comparación	Interpretación	Diferencia de medias
μ ₁ - μ ₃	3.200	3.2>0.86	La media de 200 y 225 g de ractopamina son significativas	μ ₁ ≠μ ₃
μ ₁ - μ ₂	5.133	5.13>0.86	La media de 200 y 250 g de ractopamina son significativas	μ ₁ ≠μ ₂
μ ₂ - μ ₃	1.933	1.93>0.86	La media de 250 y 225 g de ractopamina son significativas	μ ₂ ≠μ ₃

Fuente: Autor

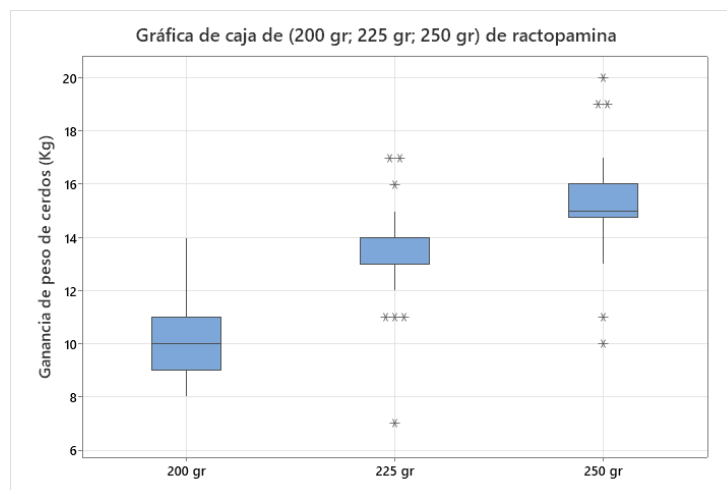


Ilustración 8: Gráfica de caja de bigotes de ganancia de peso de cerdos

Fuente: Autor

En la tabla de comparaciones múltiples y la gráfica de interacción de tratamientos observamos que la dosis de 250g de ractopamina resultó en una mayor ganancia de peso en su lote en comparación con los lotes con dosis de 225g y 200g. Esto indica que la dosis de 250g es la opción más efectiva en términos de ganancia de peso.

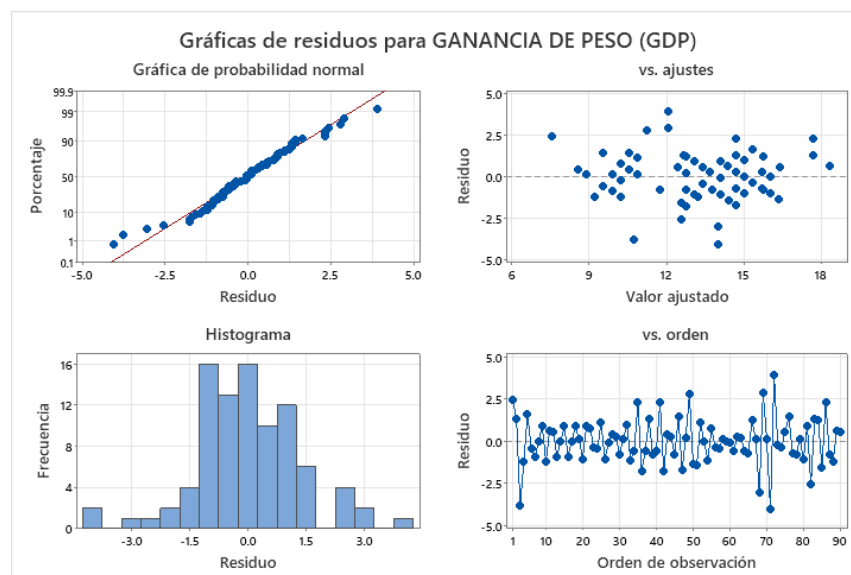


Ilustración ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-3: Gráfica de residuos

Fuente: Autor

Normalidad: En base a la gráfica de probabilidad normal de residuales, se puede evidenciar que los residuales se acumulan alrededor de la media o tendencial central, por tanto, se puede evidenciar que cumple con el supuesto de normalidad de residuales.

Homogeneidad de varianza: En base a la gráfica de residuales vs valores ajustados, no se observan patrón alguno, por tanto, se evidencia el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianza.

Independencia: En base a la gráfica de residuales vs el orden de la corrida, se evidencia de manera gráfica la aleatorización de los residuales a largo de la línea de tiempo, por tanto, se cumple el supuesto de independencia.

Cálculo de stock de seguridad

Entonces la fórmula principal para calcularlo es la siguiente:

Tabla 8: Demanda semanal de Afrecho

SEMANA 05	SEMANA 06	SEMANA 07	SEMANA 08
213.18	69.85	286.66	69.85

Realizado por: Autor

$$SS = (PME - PE) * DM$$

Demanda media (DM)

Plazo máximo de entrega (PME)

Plazo de entrega normal (PE)

$$DM = 213.18 + 69.85 + 286.66 + 69.85$$

$$DM(\text{Semanal}) = 159.9$$

$$PE = 2.1$$

$$PME = 4.3$$

$$SS = (4.3 - 2.1) * 159.9$$

$$SS = 343$$

El stock de seguridad semanal para el afrecho será de 343 kg.

Punto óptimo de pedido

En caso de aplicar el inventario de seguridad, el punto de pedido (POP) será, el stock de seguridad (SS) más la demanda media (D) por el lead time (LT), y su fórmula viene dada por:

$$POP = SS + (DM * LT)$$

$$POP = 343 + (159.9 * (4.3 - 2.1))$$

$$POP = 685$$

El punto óptimo de pedido semanal para el afrecho será de 685 kg.

Sistema informático para la planificación y control de producción

MANUAL DEL SISTEMA INFORMATICO PARA EL REGISTRO Y CONTROL DE LA PRODUCCION

1. Selección del Año

Permite al usuario elegir el año y semana laboral o ingresar los datos manualmente.

SEMANAS LABORALES		DIA Y FECHA							
SEMANA 05	2024	→	L-29	M-30	M-31	J-1	V-2	S-3	D-4
SEMANA 06	2024	→	L-5	M-6	M-7	J-8	V-9	S-10	D-11
SEMANA 07	2024	→	L-12	M-13	M-14	J-15	V-16	S-17	D-18
SEMANA 08	2024	→	L-19	M-20	M-21	J-22	V-23	S-24	D-25

Ilustración 9: Ventana 1

Fuente: Autor

2. Selección de operación

Permite al usuario dirigirse hacia las siguientes ventanas:

- Ingreso o salida de productos.
- Inventario general de materias primas.
- Método de proyección de demanda.
- Plan maestro de producción.
- Plan agregado de producción.

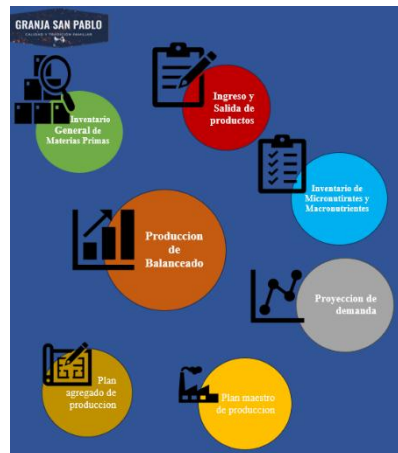


Ilustración 10: Ventana 2

Fuente: Autor

3. Inventario general de materia prima

Proporciona una visión general de la base de datos, presentando una tabla automatizada como referencia visual y en la cual se elegirá por una lista desplegable la información del código de producto deseado

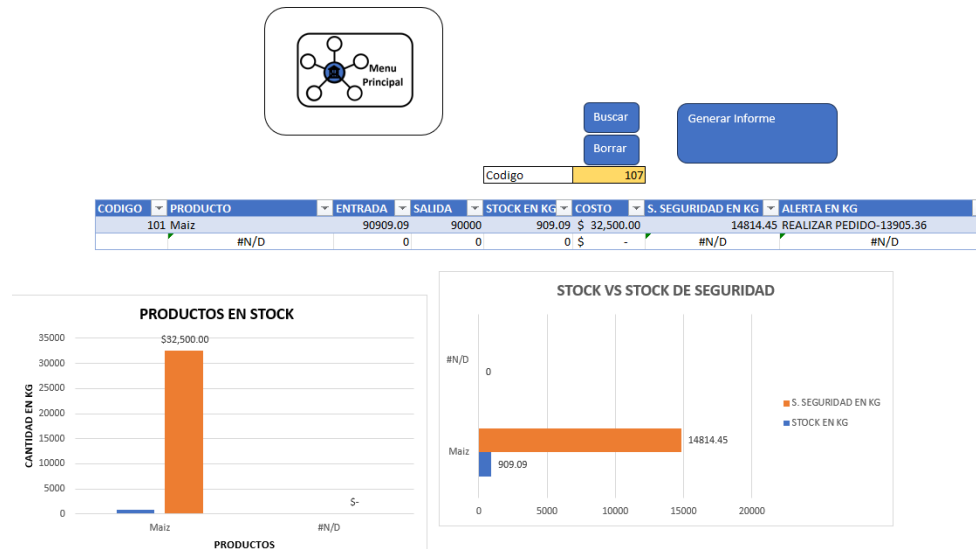


Ilustración 11: Ventana 3

Fuente: Autor

4. Ingreso y salida de productos

Presenta una interfaz de ingreso de datos de los productos, el cual se puede seleccionar en una lista desplegable y se tendrá que llenar la descripción del producto, la cantidad en kg, el valor en dólares americanos, y la fecha.

The interface is titled 'Ingreso y Salida de productos' and includes a 'Menu Principal' icon. It features input fields for 'Codigo' (101), 'Valor' (\$ 5,000.00), 'Descripcion' (maiz), and 'Fecha' (08/05/2024). There is also a 'Cantidad' input field with the value 90000. Below these fields are three buttons: 'Borrar', 'Ingresar a inventario', and 'Eliminar de inventario'. To the right, there are two buttons: 'Ir a entrada de inventario' and 'Ir a salida de inventario'.

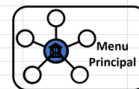
Ilustración 12: Ventana 4

Fuente: Autor

5. Inventario de macronutrientes y micronutrientes

Genera datos de consumo de micronutrientes y macronutrientes en kg de 4 semanas y la fabricación semanal de balanceado en toneladas.

		SEMANA 05	SEMANA 06	SEMANA 07	SEMANA 08
Consumo Semanal De Macronutrientes					
Alfalfa		213.18	69.85	286.66	69.85
Maíz		6300.04	7449.33	6940.86	6992.63
Polvillo		897.45	933.74	1033.53	968.67
Soja		2509.76	3184.93	2829.67	2971.11
Aceite de palma		152.40	192.40	172.36	217.27
Aceite de soja		45.82	54.44	64.42	68.05
Ácido		3.15	3.75	3.45	3.75
Antihongos		11.00	12.50	12.50	12.50
Atrapador de toxinas		14.75	14.50	15.00	14.50
Bicarbonato		8.00	11.00	9.00	10.00
Carbonato cálcico		73.99	78.40	80.43	92.47
Clortetraciclina		5.00	7.00	5.00	4.00
Colina		5.41	6.13	6.01	6.61
Collitina		0.50	1.00	0.50	0.50
Fitase		1.75	2.25	2.00	2.25
Florfenicol		0.00	0.00	0.00	0.00



Total De Toneladas Semanales									
SEMANA 05	11	Ton	2	0.5	1	2	3	2	0.5
SEMANA 06	12.5	Ton	1	0.5	2	2	4	3	0
SEMANA 07	12.5	Ton	2	0.5	1	3	2	3	1
SEMANA 08	12.5	Ton	1	1.5	1	4	3	2	0

Ilustración 13: Ventana 5

Fuente: Autor

6. Proyección de demanda

Indica que pronóstico es el más óptimo según la demanda ingresada.

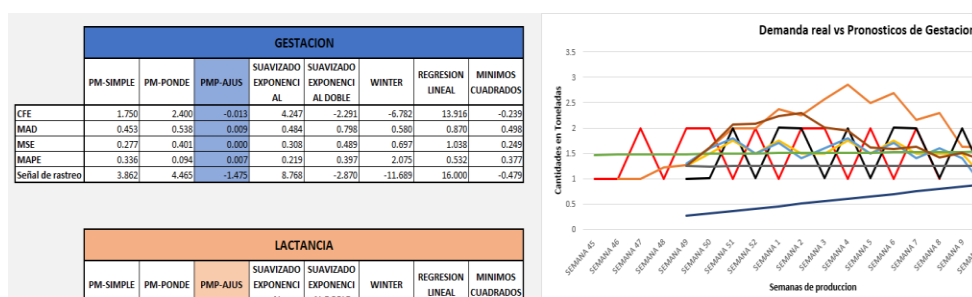


Ilustración 14: Ventana 6

Fuente: Autor

7. Plan Maestro de Producción

Indica la producción que necesaria según el tipo de balanceado, con la información generada por este apartado el usuario tiene la facilidad de realizar una proyección de producción por 4 semanas en el cual se obtiene: Inventario Final y Plan Maestro de Producción

8. Plan agregado de producción

Indica los resultados óptimos según la demanda y se obtienen los costos de producción en 4 semanas y un total de 24 semanas.

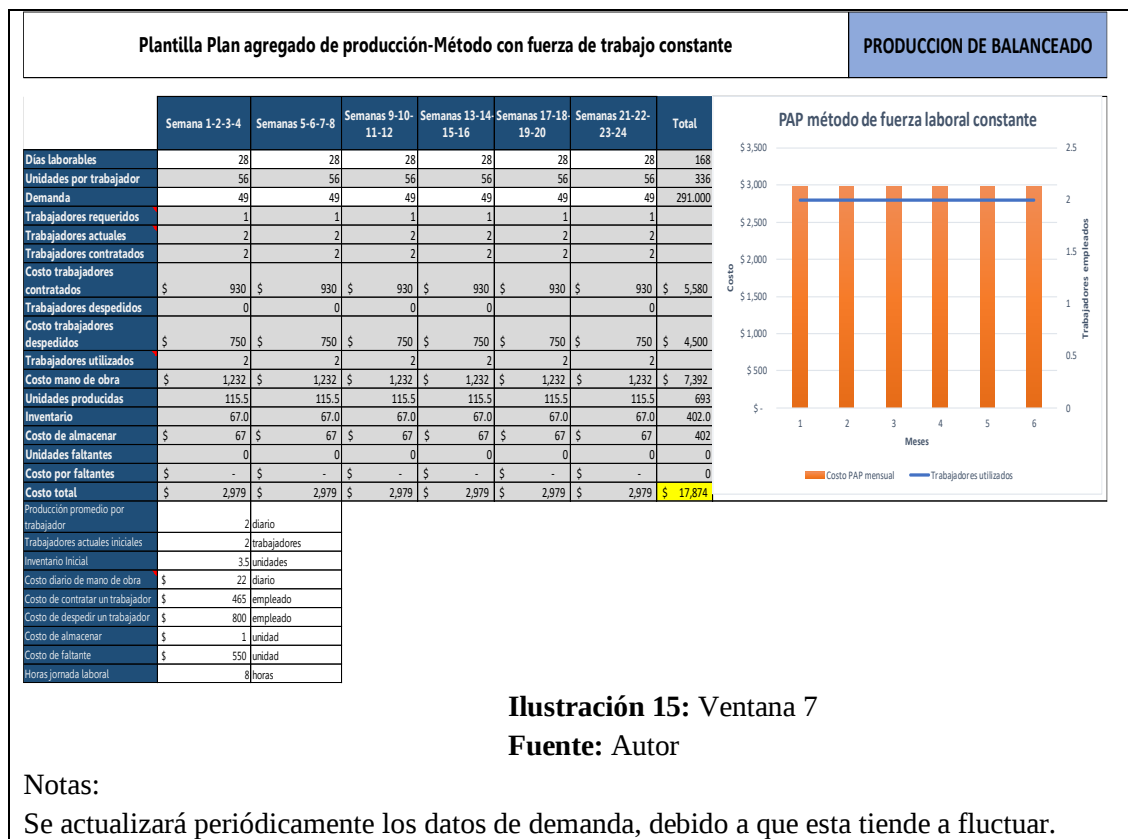


Ilustración 15: Ventana 7

Fuente: Autor

Notas:

Se actualizará periódicamente los datos de demanda, debido a que esta tiende a fluctuar.

Resultados y discusión

Análisis comparativo entre índice de conversión alimenticia (ICA) e índice de ganancia diaria de peso (GDP) y el diseño de bloques completamente al azar (DBCA)

Tabla 9: Resultados obtenidos

Corral	Dosis de ractopamina	ICA	Interpretación ICA	GDP (kg/día)	Interpretación GDP	Ganancia de peso en kg de 16 días	Diferencia muestral	Interpretación LSD
Corral 9	250	2.30	Mejor eficiencia	0.94	Mejor tasa de crecimiento	15.3	$\mu_1 - \mu_2 = 5.13$	Significancia mayor
Corral 11	225	2.56	Eficiencia ligeramente menor	0.82	Buen rendimiento	13.36	$\mu_1 - \mu_3 = 3.20$	Significancia media

Corral 10	200	3.38	Eficiencia significativamente menor	0.63	Crecimiento más lento	10.16	$\mu_2 - \mu_3 = 1.93$	Significancia baja
-----------	-----	------	-------------------------------------	------	-----------------------	-------	------------------------	--------------------

*Realizado por: Autor**Punto de Pedido y Stock de seguridad***Tabla 10:** Stock de seguridad

Stock de Seguridad de Productos			
Código	Producto	Stock de Seguridad	POP
100	Afrecho	343	685
101	Maíz	14814	29629
102	Polvillo	2054	4107
103	Soja	6158	12317
104	Aceite de palma	393	787
105	Aceite de soja	33	66
106	Acido	2	4
107	Antihongos	7	14
108	Atrapador de toxinas	8	17
109	Bicarbonato	5	11
110	Carbonato calcitico	46	93
111	Clortetraciclina	3	6
112	Colina	3	7
113	Colistina	0	1
114	Fitase	1	2
115	Florfenicol	0	0
116	Fosfato monocalcico	66	132
117	Lisina	24	47
118	Melaza	15	29
119	Metionina	8	16
120	Palmiste	0	0
121	Premezcla de cerdos	21	42
122	Promotor de crecimiento	8	15
123	Ractopamina	1	3
124	Ralco	44	88
125	Regano	1	3
126	Sal comun	85	171
127	Sal mineral	16	32
128	Sulfato de cobre	7	13

129	Tiamulina	1	2
130	Treonina	20	41
131	Vitamina	6	12

Realizado por: Autor

Se observa un cuadro donde se encuentran las cantidades en kg de stock de seguridad de los macros y micronutrientes con su respectivo código de identificación para la fabricación de balanceado, este stock de seguridad fue calculado y planificado para solventar la demanda de las siguientes 4 semanas de producción, es decir se actualizará de manera automática en la macro implementada.

Proyección de demanda

Tabla 11: Cuadro comparativo entre los 2 métodos de proyección con errores de pronósticos más bajos

	GESTACION		LACTANCIA		INICIAL	
	PMP-AJUS	PM-SIMPLE	PMP-AJUS	PM-SIMPLE	PMP-AJUS	SUAVIZADO EXPONENCIAL
CFE	-0.013	0.453	0.000	1.500	0.001	0.250
MAD	0.009	0.277	0.004	0.184	0.007	0.359
MSE	0.000	0.336	0.000	0.113	0.000	0.184
MAPE	0.007	3.862	0.007	0.356	0.005	0.195
Señal de rastreo	-1.475	0.000	-0.028	8.136	0.147	0.697

Realizado por: Autor

En esta tabla comparativa se observa que el mejor método de pronóstico en el balanceado de tipo gestación y lactancia es el Promedio móvil ponderado ajustado vs el Promedio móvil simple, en el inicial se observa así mismo el mejor método que es el Promedio móvil ponderado ajustado vs el método de Suavizado exponencial.

Tabla 12: Cuadro comparativo entre los 2 métodos de proyección con errores de pronósticos más bajos

	CRECIMIENTO		ENGORDE	
	PMP-AJUS	WINTER	PMP-AJUS	SUAVIZADO EXPONENCIAL
CFE	-0.014	2.810	0.005	-2.496
MAD	0.009	0.423	0.011	0.656
MSE	0.000	0.366	0.000	0.609
MAPE	0.004	3.524	0.006	0.372

Señal de rastreo	-1.556	6.638	0.447	-3.803
------------------	--------	-------	-------	--------

Realizado por: Autor

En esta tabla comparativa se observa que el mejor método de pronóstico en el balanceado de tipo crecimiento es el Promedio móvil ponderado ajustado vs Winter, en el de tipo engorde se observa así mismo el mejor método que es el Promedio móvil ponderado ajustado vs el método de Suavizado exponencial.

Plan maestro de producción (PMP)

Se determinó el plan maestro de producción de para las siguientes 4 semanas de cada tipo de balanceado en toneladas, estos valores se actualizarán automáticamente.

Tabla 13: Cuadro de plan maestro de producción de las próximo 4 semanas de los diferentes tipos de balanceados producidos.

	SEMANA 9	SEMANA 10	SEMANA 11	SEMANA 12
PMP GESTACION	1.50	1.50	1.50	1.50
PMP LACTANCIA	1.00	1.00	1.00	1.00
PMP INICIAL	1.00	1.00	1.00	1.00
PMP CRECIMIENTO	2.00	2.00	2.00	2.00
PMP ENGORDE	2.50	2.50	2.50	2.50
PMP FINALIZADOR	2.50	2.50	2.50	2.50
PMP GANADO LECHERO	0.00	0.50	0.50	0.50

Realizado por: Autor

Plan agregado de producción de fuerza laboral constante

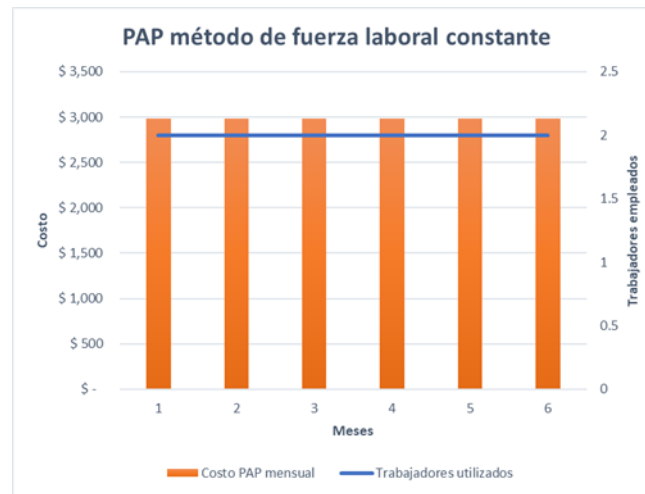


Ilustración 16: fuerza laboral constante

Fuente: Autor

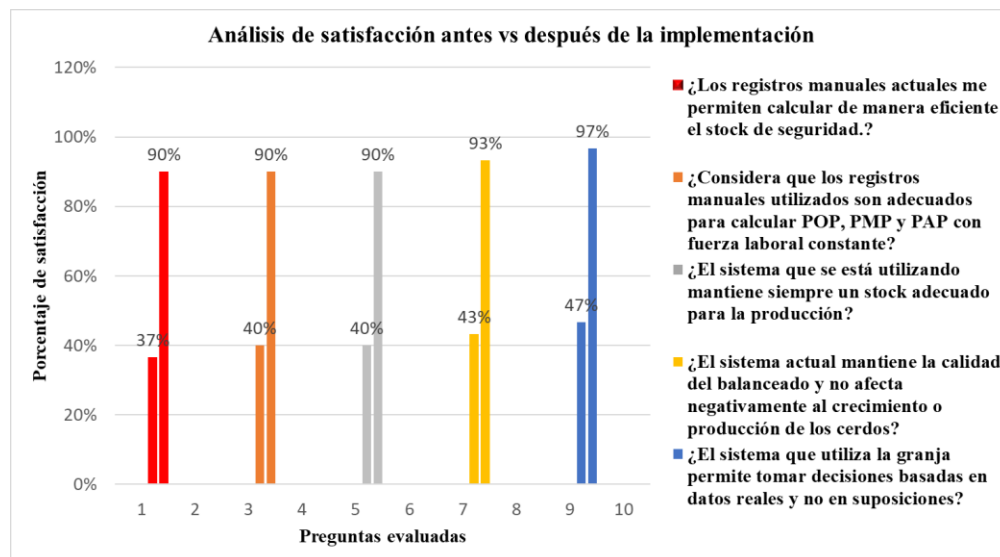


Ilustración 17: Análisis de satisfacción VS. Después de la implementación

Fuente: Autor

Conclusiones

Los resultados del diseño experimental indican que el uso óptimo de 250 gramos de ractopamina en el balanceado finalizador garantiza un índice de Conversión Alimenticia (ICA) de 2.30 y una Ganancia Diaria de Peso (GDP) de 0.94 kg/día, los cuales son los mejores valores obtenidos,

observamos que con dosis menores se obtiene resultados significativamente menores, la gestión adecuada del inventario, respaldada por el sistema informático, es esencial para asegurar la disponibilidad constante de los ingredientes necesarios.

Mantener un punto óptimo de pedido y stock de seguridad adecuado de macronutrientes y micronutrientes como la ractopamina es vital para optimizar el rendimiento de producción y garantizar la consistencia en la eficiencia alimenticia y el crecimiento de los cerdos. La macro en El uso del método de proyección del promedio móvil ponderado ajustado ha sido validado como una herramienta precisa para la planificación de la producción por encima de otros métodos. Sin embargo, su eficacia depende también de la gestión adecuada de los inventarios.

El análisis del Plan Maestro de Producción (PMP) basado en el método de proyección del promedio móvil ponderado ajustado ha demostrado ser altamente efectivo para prever la demanda semanal con precisión. Este método ha proporcionado proyecciones de producción que se ajustan a la demanda real, lo que facilita una planificación de producción precisa y eficiente.

La implementación de un plan agregado de producción con una fuerza laboral constante complementa estos esfuerzos. Mantener una fuerza laboral estable permite a la empresa manejar la producción de manera consistente y eficiente, incluso cuando la demanda fluctúa. Este enfoque minimiza los costos asociados con la contratación y despido de empleados y ayuda a mantener un nivel constante de productividad. Combinado con un método de proyección preciso y una gestión eficaz del inventario, un plan agregado con fuerza laboral constante asegura que la producción pueda ajustarse de manera flexible a las necesidades del mercado sin comprometer la eficiencia operativa.

La combinación del método de proyección del promedio móvil ponderado ajustado, una gestión adecuada de los inventarios de macronutrientes y micronutrientes, y un plan agregado de producción con una fuerza laboral constante, proporciona un enfoque integral para optimizar la producción. Esta estrategia asegura que la empresa pueda satisfacer la demanda de manera eficiente, mantener costos operativos bajos y maximizar el crecimiento de los cerdos, logrando así los mejores resultados posibles.

Referencias

1. AGUILA, Raúl. Análisis y Opinión. [En línea], 2021. [Consulta: 20 de noviembre del 2023]. Disponible en: <https://www.porcicultura.com/destacado/suite-calculo-de-la-rentabilidad-de-recomendaciones-para-mejorar-la-eficiencia-parte-5-deficiente-gdp>.
2. ALARCON, Oscar & NAVARRO, Elisa. Principios de la gestión de la producción una revisión teórica y aplicada de los conceptos. [En línea]. ISBN: 978-958-782-466-7. Bogota-Colombia: Ediciones USTA, 2021. pp. 66. [Consulta: 28 de noviembre del 2023]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/43107/Obracompleta.Coleccionmodular.2021Gelvesoscar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
3. AUROFARMA. Bienestar y Salud Animal. [En línea], 2023. [Consulta: 16 de noviembre del 2023]. Disponible en: <https://www.aurofarma.com/images/AURORAC.pdf>.
4. ÁGUILA, Juan; et al. "Effect of birth weight, litter size and nipple position on growth of pigs during lactation and fattening". Revista mexicana de ciencias pecuarias. [En línea], 2017. (México), no. 1, pp. 1-22. [Consulta: 30 de diciembre del 2023]. ISSN 2448-6698. Disponible en: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4317>
5. CALEB, Finch. ERP VS MRP: Diferencias y características claves. [En línea], 2021. [Consulta: 23 de diciembre del 2023]. Disponible en: <https://www.qad.com/blog/2021/06/erp-vs-mrp-key-differences-and-features>.
6. CARDONA, José; et al. "Gestión de inventario y almacenamiento de materias primas en el sector de alimentos concentrados". Revista EIA. [En línea], 2018, no 30, pp. 200-203. [Consulta: 28 de noviembre del 2023]. ISSN: 1794-1237. Disponible en <https://doi.org/10.24050/reia.v15i30.1066>
7. CIFUENTES, Jhon. La administración de la demanda y los modelos de pronóstico. [En línea] San Jose-Costa Rica: Universidad de San Marcos, 2021. pp.11-25. [Consulta: 20 de diciembre del 2023]. Disponible en: <https://repositorio.usam.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/11506/1946/LEC%20PROD%200002%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
8. CONDO, Luis; & PAZMIÑO, José. Diseño experimental en el desarrollo del conocimiento científico de las ciencias agropecuarias. [En línea]. ISBN 978-9942-21-569-7. Riobamba-Ecuador: Instituto de Investigaciones, 2015. pp.27. [Consulta: 11 de diciembre del 2023].

- Disponible en: <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2019-09-17-214206-dise%C3%B1o%20experimental%20en%20el%20desarrollo%20del%20conocimiento%20cient%C3%ADfico%20de%20las%20ciencias%20agropecuarias-comprimido.pdf>
9. CUBAS, Sharon. Propuesta de un sistema de planificación y control de la producción para la empresa Fabrication Technology Company S.A.C. para mejorar el nivel de servicio. (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea]. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Chiclayo-Perú. Chiclayo. 2018, pp. 21-22. [Consulta: 28 de diciembre del 2023]. Disponible en: https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1371/1/TL_VeraCubasSharon.pdf
 10. CHACHAPOYA, Diego. Producción de alimentos balanceados en una planta procesadora en el canton Cevallos. (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2014. pp. 30. [Consulta: 20 de diciembre del 2023]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8927>
 11. FLAGASA. Productos. [En línea]. 2022. [Consulta: 10 enero del 2024]. <https://flagasa.com.mx/product-details.php?id=10#:~:text=Finalizador%20de%20cerdos%2C%20alimento%20balanceado%20adicionado%20con%20clorhidrato,a%2015%25.%20Suministre%20como%20%C3%BAlica%20fuente%20de%20alimentaci%C3%B3n..>
 12. GARCÍA, Roberto Armando. "Modelo matemático para la gestión óptima de un inventario". Revista de Investigación en Modelos Matemáticos aplicados a la Gestión y la Economía. [En línea], 2017. (Buenos Aires-Argentina). p.1-2. [Consulta: 30 de diciembre del 2023]. ISSN 2362 3225. Disponible en: <https://www.economicas.uba.ar/wp-content/uploads/2016/04/Garc%C3%ADa-R.-Modelo-matem%C3%A1tico-para-la-gesti%C3%B3n-%C3%B3ptima-de-un-inventario.pdf>
 13. GONZÁLEZ, Porfirio Gutiérrez; et al. Elementos de Diseño de Experimentos. [En línea]. ISBN 978-607-7772-02-6. Jalisco-México: Astra Ediciones, 2009: pp. 17-24. [Consulta: 30 de diciembre del 2023]. Disponible en: https://www.seraace.com/files/elementos_enero_2010.pdf
 14. KRAJEWSKI, Lee; et al. Administración de de operaciones procesos y cadenas de valor. [En línea]. ISBN 978-970-26-1217-9. Naucalpan de Juárez-México : Pearson Educación de México, 2008. pp. 468-640. [Consulta: 30 de diciembre del 2023]. Disponible en:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/911669/Administracion_De_Operaciones_-LEE_J._K.pdf

15. KUUSE, Madis. Qué es el stock de seguridad y cómo calcularlo?. [En línea]. 2023. [Consulta: 30 de diciembre del 2023]. Disponible en: <https://manufacturing-software-blog.mrpeasy.com/es/stock-de-seguridad/>.
16. LAPISA. Nutrición Animal. lapisa.com. lapisa.com. [En línea], 2015. [Consulta: 11 de diciembre del 2023]. Disponible en: <https://lapisa.com/productos/nutricion/porcinos#/>
17. MAG. Primer sub-consejo consultivo porcícola del 2022 analiza el balance oferta – demanda del sector. [En línea], 2022. [Consulta: 22 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/primer-sub-consejo-consultivo-porcicola-del-2022-analiza-el-balance-oferta-demanda-del-sector/>
18. MAGUREGUI, Ekaitz. Promotores del crecimiento: Ractopamina. [En línea], 2020. [Consulta: 01 de noviembre del 2023]. Disponible en: https://www.engormix.com/avicultura/fitobioticos-avicultura/promotores-crecimiento-ractopamina_a44752/
19. MARIEZCURRENA BERSAIN, María Antonia; et al. "Características químicas y sensoriales de la carne de cerdo, en función del consumo de dietas con ractopamina y diferentes concentraciones de lisina". Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.[En línea], 2012. (Morelos-México), pp. 428. [Consulta: 01 de noviembre del 2023]. ISSN 2448-6698. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11242012000400002&script=sci_abstract&tlng=es
20. ROJAS, Miguel. Mínimos Cuadrados. [En línea], 2023. [Consulta: 07 de diciembre del 2023]. Disponible en: <https://miprofe.com/minimos-cuadrados/>.
21. MOLINOS CHAMPIOS. Finalizador Fase 1. [En línea], 2023. [Consulta: 07 de diciembre del 2023]. Disponible en: <https://www.molinoschampion.com/porcicultura/finalizador-1-y-2/>.
22. MONTENEGRO, Roberto. Diseño e implementación de un sistema de inventarios aplicando simulación montecarlo en una empresa de servicios petroleros. (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea], Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2011. pp.14-15. [Consulta: 15 de diciembre del 2023]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7871/3/CD-3478.pdf>

23. MONTGOMERY, Douglas. Design and Analysis of Experiments. [En línea]. ISBN 978-1118-14692-7. Arizona-Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc, 2013. pp. 65-75. [Consulta: 20 enero 2024]. Disponible en:
https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=Py7bDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Design+and+Analysis+of+Experiments.+montgomery&ots=X8r-s_QU-3&sig=p3ok3bznpdZYvvLCkvGC5gVzJY#v=onepage&q=Design%20and%20Analysis%20of%20Experiments.%20montgomery&f=false
24. MONTGOMERY, Douglas; & RUNGER, George. Applied Statistics and Probability for Engineers. [En línea]. ISBN 0-471-20454-4. Arizona-Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc, 2003. pp. 562-568. [Consulta: 20 enero 2024]. Disponible en:
https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/196559/mod_resource/content/1/Douglas%20C.%20Montgomery%20Applied%20Statistics%20and%20Probability%20for%20Engineers%203ed.pdf
25. MURRAY, Adriana. Nutrición y alimentación: eficiencia de conversión. [En línea]. 2018. [Consulta: 07 de diciembre del 2023]. Disponible en:
https://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/inta_porcos_capviii.pdf
26. MySQL. Servicios. [En línea], 2023. [Consulta: 15 de diciembre del 2023]. Disponible en:
<https://www.mysql.com/>.
27. MORALES Natalia; & SEQUEIRA Nicole Sequeira. Escala de likert una herramienta económica. [En línea], 2016. [Consulta: 15 de diciembre del 2023]. Disponible en:
https://www.academia.edu/30246173/ESCALA_DE_LIKERT_UNA_HERRAMIENTA_ECONOMICA_Contentido
28. PAMEL, Wendy. Estandarización de procesos en la línea de producción de balanceado de pollos en la empresa molinos anita para incrementar la productividad. (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea]. Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 35-40. [Consulta: 15 de diciembre del 2023]. Disponible en:
<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/5001/1/UNACH-EC-ING-IND-2018-0007.pdf>
29. PÉREZ, Gardey. Porcino. [En línea]. 2023. [Consulta: 11 de noviembre del 2023]. Disponible en: <https://definicion.de/porcino/>.

30. PÉREZ, Manuel. Manual de porcicultura. [En línea]. ISBN 978-9968-877-24-4. San Jose-Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2007. pp. 57. [Consulta: 20 noviembre del 2023]. Disponible en: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L01-9306.pdf>
31. PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. El tutorial dePython. [En línea]. 2023. [Consulta: 21 de diciembre del 2023]. Disponible en: <https://docs.python.org/es/3/tutorial/>.
32. RECIO-AVILÉS, Raúl & ALIAGA-Reynaldo, José. "Uso del diseño completamente aleatorio para determinar la edad de comienzo de los mejores resultados en los lanzadores del martillo". Revista de la Facultad de Cultura Física de la Universidad de Granma. [En línea], 2016, no 41, pp.146-150. [Consulta: 28 de noviembre del 2023]. ISSN: 1817-9088. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6210845>
33. REKALDE, Itziar; et al. "La Observación Como Estrategia De Investigación Para Construir Contextos De Aprendizaje Y Fomentar Procesos Participativos". Redalyc. [En línea]. 2014, (Madrid-España). pp. 207-215. [Consulta: 05 diciembre del 2023]. ISSN 1139-613X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/706/70629509009.pdf>
34. ROMERO, Jorge & GÓMEZ, Carlos. Evaluación de dos programas de alimentación en cerdos de engorde desde la etapa de inicio hasta cosecha. [En línea]. 2017. Consulta: 21 de diciembre del 2023]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/39446382-4ea0-406a-aeaa-7a6d706155ed/content>
35. SOFTONIC INTERNATIONAL. Información. [En línea]. 2023. [Consulta: 30 de noviembre del 2023]. Disponible en: <https://microsoft-excel.softonic.com/>.
36. TICPORTAL. ERP para producción. [En línea]. 2023. [Consulta: 30 de noviembre del 2023]. Disponible en: <https://www.ticportal.es/temas/enterprise-resource-planning/funciones-erp/sistema-produccion>.

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).