

Universidad Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
Evaluación dietética de un aceite en polvo enriquecido y cromo
orgánico en el desempeño productivo y características de la canal en
pollos de engorde

Estudiante

Lennerth Francisco Loayza Galarza

Johan Ramiro Pérez Vilañez

Asesores

Patricio E. Paz, Ph.D.

Rogel Castillo, M.Sc.

Honduras, julio 2025

Autoridades

KEITH L. ANDREWS

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA ODILA TREJO RAMOS

Directora del Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

JULIO NAVARRO

Secretario General

Contenido

| | |
|--|----|
| Índice de Cuadros | 4 |
| Índice de Anexo..... | 5 |
| Resumen | 6 |
| Abstract..... | 7 |
| Introducción | 8 |
| Materiales y Métodos | 10 |
| Ubicación del Estudio..... | 10 |
| Animales y Condiciones de Manejo | 10 |
| Dietas Experimentales | 10 |
| Tratamientos..... | 11 |
| Tratamiento 1 | 11 |
| Tratamiento 2 | 11 |
| Tratamiento 3 | 11 |
| Tratamiento 4 | 11 |
| Parámetros Productivos..... | 13 |
| Peso de Canal y Órganos Digestivos | 13 |
| Diseño Experimental y Análisis Estadístico | 14 |
| Resultados y Discusión | 15 |
| Conclusiones | 24 |
| Recomendaciones..... | 25 |
| Referencias..... | 26 |

Índice de Cuadros

| | |
|--|----|
| Cuadro 1 Ingredientes de dieta de inicio para pollos de engorde Ross® 308 (0 – 7 días) | 11 |
| Cuadro 2 Ingredientes de dieta de crecimiento para pollos de engorde Ross® 308 (7 – 14 días) | 12 |
| Cuadro 3 Ingredientes de dieta final para pollos de engorde Ross® 308 (14- 32 días) | 12 |
| Cuadro 4 Efecto de la suplementación dietética de aceite en polvo enriquecido con sustratos gluconeogénicos y una fuente de cromo orgánico en el desempeño productivo en pollos de engorde durante la fase de inicio (0 – 7 días) | 15 |
| Cuadro 5 Efecto de la suplementación dietética de aceite en polvo enriquecido con sustratos gluconeogénicos y una fuente de cromo orgánico en el desempeño productivo en pollos de engorde durante la fase de crecimiento (0 – 14 días)..... | 16 |
| Cuadro 6 Efecto de la suplementación dietética de aceite en polvo enriquecido con sustratos gluconeogénicos y una fuente de cromo orgánico en el desempeño productivo en pollos de engorde durante la fase de finalización (0-32 días) | 20 |
| Cuadro 7 Efecto de la suplementación dietética de aceite en polvo enriquecido con sustratos gluconeogénicos y una fuente de cromo orgánico en características de la canal en pollos de engorde | 22 |

Índice de Anexo

| | |
|--|----|
| Anexo A Composición de la premezcla de vitaminas y minerales | 31 |
|--|----|

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar cromo orgánico (CO) y aceite en polvo enriquecido (APESG) con sustratos gluconeogénicos en parámetros productivos y las características de la canal en pollos de engorde. Se criaron 500 aves hasta los 32 días, con 20 corrales (25 aves/corral) distribuidas en cuatro tratamientos experimentales: T1: dieta basal, T2: T1 + CO 50 g/t, T3: T1 + 2% APESG, T4: T1 + 50 g/t of CO + 2% APESG. Se evaluó peso vivo/ave y consumo de alimento/ave cada semana. Conversión alimenticia se calculó por corral (corregida por mortalidad). Se procesaron dos aves/corral para el rendimiento en canal a los 32 días. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANDEVA) con un valor $P \leq 0.05$ y se hizo una separación de medias Tukey con JMP Pro18. Durante las etapas de inicio, crecimiento y finalización, hubo diferencias significativas entre los tratamientos. A los 32 días, T2 tuvo la mayor ganancia (2.1 ± 0.038 kg; $P \leq 0.05$) en comparación con T4 (1.92 ± 0.073 kg). Sin embargo, el T2 fue similar al T1 (1.98 ± 0.092 kg) y al T3 (1.98 ± 0.058 kg). El ICA y el consumo de alimento a los 32 días no fueron afectados por ningún tratamiento ($P > 0.05$). En procesamiento, no hubo diferencias ($P > 0.05$) en las variables evaluadas. En general, los resultados muestran que la suplementación con cromo orgánico a 50 g/t y APESG al 2% tuvo efectos deseables en los parámetros de producción durante las etapas evaluadas para pollos de engorde de 32 días.

Palabras clave: Aceite en polvo enriquecido, cromo, pollos de engorde.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effects of organic chromium (OC), and oil powder enriched (OPE) with gluconeogenic substrates on productive performance and carcass characteristics in broiler chickens. A total of 500 birds were raised in 32 days, distributed in 20 pens (25 birds/pen) and distributed in four experimental treatments: T1 (basal diet), T2: T1 + 50 g/t of OC, T3: T1 + 2% EPO, and T4: T1 + 50 g/t of OC + 2% OPE. Weekly measurements were taken for body weight/bird and feed consumption/bird. Feed conversion was calculated per pen, adjusted for mortality. Two birds/pen were harvested to determine carcass yield at 32 days. Data were analyzed using an analysis of variance (ANOVA) with JMP 18 Pro, and significant differences were assessed using Tukey's HSD, with a $P \leq 0.05$. Differences among treatments were observed during the starter, grower, and finisher phases. At 32 days, treatment T2 showed the highest weight gain (2.1 ± 0.038 kg; $P \leq 0.05$) compared to T4 (1.92 ± 0.073 kg). However, T2 was similar to T1 (1.98 ± 0.092 kg) and T3 (1.98 ± 0.058 kg). The FCR and feed consumption at 32 days were not affected by any treatment ($P > 0.05$). For processing, no differences ($P > 0.05$) were found in the evaluated variables. Overall, the results indicate that supplementation with 50 g/t of OC and 2% of OPE had desirable effects on production parameters during the evaluated stages for broiler chickens at 32 days.

Keywords: Broilers, enriched oil powder, organic chromium.

Introducción

Producir proteína animal de excelente calidad para una población con crecimiento exponencial, hoy en día representa un enorme desafío para el sector agrícola. Castro et al. (2023) ha pronosticado que en los próximos 30 años la población global alcanzará a más de 9.2 billones de habitantes; consecuentemente, la demanda de consumo de alimento aumentará entre 35% y 56% entre el 2010 y 2050 (van Dijk et al., 2021). Por esta razón, es vital mejorar la eficiencia en los sistemas de producción de proteína animal de manera sostenible.

En los últimos años a través del mejoramiento genético, nutrición, programas de vacunación, bioseguridad y el control de enfermedades, la industria avícola ha logrado posicionarse como la carne más consumida a nivel mundial debido a la abundancia de nutrientes que provee a los seres humanos, fácil acceso y bajo costo. De este modo, la industria avícola es clave en la seguridad alimentaria y en la nutrición (Siegel, 2014).

Por otra parte, Latinoamérica juega un papel crucial en la producción mundial de carne de pollo y participa dentro de las exportaciones a nivel global. Fernández (2023), resalta un hecho histórico para América Latina, en el 2022 la producción de carne de pollo alcanzó un hito aproximadamente de 28.8 millones de toneladas, representando cerca del 30% en la producción global. Además, durante el 2022, se exportó cerca de 5.3 millones de toneladas, lo que representa cerca del 40% del comercio internacional de esta proteína, según datos reportados por la Asociación de Exportadores de Carne de Chile en el 2023.

Debido al incremento en la demanda de una proteína de calidad, la industria avícola se ve obligada a buscar alternativas que hagan más eficiente la producción de pollos de engorde (Alshelmani et al., 2021). El maíz y la soya son dos de los principales ingredientes más utilizados en las dietas para pollos de engorde (Stefanello et al., 2016); sin embargo, el costo de estas materias primas obliga a los avicultores a buscar aditivos que mejoren el aprovechamiento de estos alimentos por parte del animal.

Recientemente se ha demostrado un considerable interés en la investigación sobre la utilización de cromo en la avicultura. El efecto beneficioso del cromo está bien documentado, el cromo potencia la acción de la insulina en las aves regulando la producción de energía, la deposición del tejido muscular, el metabolismo de las grasas y la utilización del colesterol (Mertz, 1969). Si debido a un bajo nivel de insulina, las células del cuerpo no pueden utilizar la glucosa, se convierte en grasa y se almacena en las células grasas. Además, si los aminoácidos no pueden entrar a la célula, no se puede dar la formación muscular (Mehri, 2020).

El cromo es un oligoelemento esencial en la dieta de los animales, ya que juega un papel importante en el metabolismo de los nutrientes como proteínas, carbohidratos, grasas y aminoácidos. Estudios realizados por Farag et al. (2017) demuestran que la suplementación de cromo en pollos de engorde a niveles de 20 mg/kg tiene efectos deseables en el consumo de alimento y reducción en el índice de conversión alimenticia. Por otra parte, Hossain et al. (1998), demostraron en un estudio realizado en codornices japonesas con suplementación de picolinato de cromo a 400 µg Cr/kg mejoró algunos parámetros productivos como el índice de conversión alimenticia.

Por otro lado, debido al costo de las materias primas a nivel mundial, dentro de ellas el aceite, se ha buscado alternativas para disminuir el costo de fabricación de las dietas. El uso de aceite en polvo enriquecidos con sustratos gluconeogénicos se ha investigado en los últimos años como fuente de energía en los piensos avícolas. Los sustratos gluconeogénicos tienen la capacidad de elevar las kilocalorías de los aceites, disminuyendo el nivel de inclusión en las dietas, mejorando el costo de fabricación.

Es por esto que el objetivo de esta investigación es evaluar el uso de un aceite en polvo enriquecido con sustratos gluconeogénicos, una fuente de cromo orgánico y su combinación sobre los parámetros productivos y características de la canal en pollos de engorde.

Materiales y Métodos

Ubicación del Estudio

La investigación se desarrolló en el Centro de Investigación y Enseñanza Avícola de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicado en el Valle del Yegüare a 30 km de la carretera de Tegucigalpa-Danlí. El Centro de Investigación y Enseñanza Avícola se encuentra a 800 msnm, con una precipitación media anual de 1,100 mm y una temperatura media de 26 °C.

Animales y Condiciones de Manejo

Para el experimento se adquirieron 500 pollos de engorde mixtos de la línea genética Ross® 308, de un día de edad que se pesaron inicialmente y luego se distribuyeron aleatoriamente en cuatro tratamientos experimentales, con cinco repeticiones por tratamiento, 25 pollos por repetición por un periodo de 32 días. El galpón experimental se limpió a fondo mediante fregado, desempolvado y lavado con agua. Tras la limpieza se desinfectó rigurosamente toda la instalación de pollos de engorde.

Los comederos y los bebederos se lavaron y desinfectaron de la misma manera. Los pollitos se colocaron en diferentes corrales según el tratamiento y sus repeticiones al azar con las mismas condiciones de manejo. Las aves se alojaron en un sistema de cama de piso y se utilizó viruta de madera como fuente de material de cama. La temperatura del galpón se ajustó a 32 °C durante la primera semana de vida del ave, y luego, se redujo en 2 °C cada semana hasta alcanzar la temperatura ideal de acuerdo con la edad del ave.

Dietas Experimentales

Los pollos se alimentaron bajo cuatro dietas teniendo en cuenta los requerimientos nutricionales de la línea genética en estudio (Cuadro 1, 2, 3). Estas se dividieron en tres fases: la primera fase consistió en la alimentación inicial de pollos de engorde (0 – 7 días), la segunda fase consistió en la alimentación de crecimiento de pollos de engorde (7 – 14 días) y la tercera fase consistió en la alimentación de finalización de pollos de engorde (14 – 32 días). Se utilizó la suplementación de propionato de cromo (cromo orgánico) a razón de 50 g/t de alimento y 2% de aceite en polvo

enriquecido con sustratos gluconeogénicos. Se suministró agua y alimento *ad libitum* en comederos tipo tolva y bebederos tipo niple.

Tratamientos

Tratamiento 1

Dieta control formulada de acuerdo con los requerimientos nutricionales de la línea genética Ross 308 AP® usada en este estudio

Tratamiento 2

Dieta control + 50 g/t de cromo orgánico (CO)

Tratamiento 3

Dieta control + 2% de aceite en polvo enriquecido con sustratos gluconeogénicos (APESG)

Tratamiento 4

Dieta control + 50 g/t de cromo orgánico (CO) + 2% de aceite en polvo enriquecido con sustratos gluconeogénicos (APESG)

Cuadro 1

Ingredientes de dieta de inicio para pollos de engorde Ross® 308 (0 – 7 días)

| Ingredientes (%) | Control | Control + CO 50 g/t | Control + 2% APESG | Control + 50 g/t CO + 2% APESG |
|---|---------|---------------------|--------------------|--------------------------------|
| Harina de maíz | 54.49 | 54.48 | 54.45 | 54.45 |
| Aceite de palma africana | 2 | 2 | 0 | 0 |
| APESG ¹ | 0 | 0 | 2 | 2 |
| Cromo orgánico | 0 | 0.005 | 0 | 0.005 |
| Harina de soya | 39 | 39 | 39 | 39 |
| Carbonato de calcio | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 |
| Biofos | 1.77 | 1.77 | 1.77 | 1.77 |
| Salinomicina | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| Prebiótico | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| L - Lisina | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| L - Treonina | 0.15 | 0.15 | 0.19 | 0.19 |
| DL - Metionina | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| Sal común | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| Premezcla de vitaminas y minerales ² | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| <i>Aportes Nutricionales</i> | | | | |
| Energía metabolizable(kcal/kg) | 2975 | 2975 | 2975 | 2975 |
| Proteína | 23 | 23 | 23 | 23 |
| Calcio | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 |
| P disponible | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| Lisina | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 |

| Ingredientes (%) | Control | Control + CO 50 g/t | Control + 2% APESG | Control + 50 g/t CO + 2% APESG |
|---------------------|---------|---------------------|--------------------|--------------------------------|
| Metionina + Cistina | 1.11 | 1.11 | 1.11 | 1.11 |
| Treonina | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 |
| Triptófano | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 |

Nota. La composición de la premezcla de vitaminas y minerales se encuentra en el Anexo A. CO = Cromo Orgánico; ¹APESG = Aceite en Polvo

Enriquecido con Sustratos Gluconeogénicos.

Cuadro 2

Ingredientes de dieta de crecimiento para pollos de engorde Ross® 308 (7 – 14 días)

| Ingredientes (%) | Control | Control + CO 50 g/t | Control + 2% APESG | Control + 50 g/t CO + 2% APESG |
|---|---------|---------------------|--------------------|--------------------------------|
| Harina de maíz | 58.36 | 58.35 | 59.28 | 59.28 |
| Aceite de palma africana | 2.5 | 2.5 | 0 | 0 |
| APESG ¹ | 0 | 0 | 2 | 2 |
| Cromo orgánico | 0 | 0.005 | 0 | 0.005 |
| Harina de soya | 35.5 | 35.5 | 35 | 35 |
| Carbonato de calcio | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.92 |
| Biofos | 1.41 | 1.41 | 1.41 | 1.41 |
| Salinomicina | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| Prebiótico | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| L – Lisina | 0.16 | 0.16 | 0.17 | 0.17 |
| L – Treonina | 0.07 | 0.07 | 0.14 | 0.14 |
| DL – Metionina | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 |
| Sal común | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| Premezcla de vitaminas y minerales ² | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| <i>Aportes nutricionales</i> | | | | |
| Energía metabolizable(kcal/Kg) | 3050 | 3050 | 3050 | 3050 |
| Proteína | 21.50 | 21.50 | 21.50 | 21.50 |
| Calcio | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| P disponible | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 |
| Lisina | 1.31 | 1.31 | 1.31 | 1.31 |
| Metionina + Cistina | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Treonina | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 |
| Triptófano | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 |

Nota. La composición de la premezcla de vitaminas y minerales se encuentra en el Anexo A. CO = Cromo Orgánico; ¹APESG = Aceite en Polvo

Enriquecido con Sustratos Gluconeogénicos.

Cuadro 3

Ingredientes de dieta final para pollos de engorde Ross® 308 (14- 32 días)

| Ingredientes (%) | Control | Control + CO 50 g/t | Control + 2% APESG | Control + 50 g/t CO + 2% APESG |
|--------------------------|---------|---------------------|--------------------|--------------------------------|
| Harina de maíz | 64.62 | 64.615 | 64.62 | 64.615 |
| Aceite de palma africana | 2 | 2 | 0 | 0 |
| APESG ¹ | 0 | 0 | 2 | 2 |
| Cromo orgánico | 0 | 0.005 | 0 | 0.005 |
| Harina de soya | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Carbonato de calcio | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.84 |
| Biofos | 1.15 | 1.15 | 1.15 | 1.15 |

| Ingredientes (%) | Control | Control + CO 50 g/t | Control + 2% APESG | Control + 50 g/t CO + 2% APESG |
|---|---------|---------------------|--------------------|--------------------------------|
| Salinomicina | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| Prebiótico | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| L – Lisina | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| L – Treonina | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 |
| DL – Metionina | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 |
| Sal común | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| Premezcla de vitaminas y minerales ² | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| <i>Aportes nutricionales</i> | | | | |
| Energía metabolizable(kcal/Kg) | 3100 | 3100 | 3100 | 3100 |
| Proteína | 19.50 | 19.50 | 19.50 | 19.50 |
| Calcio | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.65 |
| P disponible | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 0.36 |
| Lisina | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| Metionina + Cistina | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 |
| Treonina | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| Triptófano | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 |

Nota. La composición de la premezcla de vitaminas y minerales se encuentra en el Anexo A. CO = Cromo Orgánico; ¹APESG = Aceite en Polvo

Enriquecido con Sustratos Gluconeogénicos.

Parámetros Productivos

Dentro de cada fase del experimento (inicio, crecimiento y finalización), se evaluaron los parámetros productivos de los pollos de engorde, incluyendo peso vivo semanal, consumo de alimento, índice de conversión alimenticia y ganancia de peso. El peso inicial y final de las aves en cada etapa se registró de forma individual utilizando una balanza industrial Mettler Toledo® IND226 con precisión de ± 1.00 g. El consumo acumulado de alimento (CA) se obtuvo aplicando el método de oferta y rechazo. La conversión alimenticia se calculó dividiendo la cantidad total de alimento consumido entre la ganancia total de peso vivo por ave.

Peso de Canal y Órganos Digestivos

A los 32 días de edad se seleccionaron dos aves por corral, las cuales se sacrificaron mediante el método de desangrado por la vena yugular, de acuerdo, con los estándares de Nielsen et al. (2019) y del National Chicken Council (2022), después de que fueron sometidas a un ayuno de seis horas previo a la faena. Para determinar el peso de la canal, pechuga, y grasa abdominal, se realizó el pesaje de los pollos de engorde previo al sacrificio en una balanza digital de precisión VTBAL 400 ± 0.1 g.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar para la distribución de tratamientos y los datos se analizaron por medio de la prueba de Shapiro-Wilk para determinar normalidad y se empleó un análisis de varianza (ANDEVA) seguido por una separación de medias con la prueba de Tukey – Kramer HSD. Se usó el programa estadístico JMP® Pro-18 y el valor de probabilidad se estableció en $P \leq 0.05$.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 4 se observan las variables de peso vivo, consumo de alimento e índice de conversión alimenticia durante la fase de inicio del ave. El consumo de alimento y el índice de conversión alimenticia durante la primera semana no se vieron influenciados ($P > 0.05$) por ninguno de los tratamientos experimentales. Sin embargo, el T2 (Control + CO 50 g/t) tuvo un impacto positivo sobre el peso vivo ($P \leq 0.05$), sin una diferencia apreciable con el T3 (Control + 2% APESG).

Cuadro 4

Efecto de la suplementación dietética de aceite en polvo enriquecido con sustratos gluconeogénicos y una fuente de cromo orgánico en el desempeño productivo en pollos de engorde durante la fase de inicio (0 – 7 días)

| Parámetros | Tratamientos | | | | EE ± | Valor P |
|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|--------|---------|
| | Control | Control + CO 50 g/t | Control + 2% APESG | Control + 2% APESG + CO 50 g/t | | |
| Peso Vivo (ave/kg) | 0.160 ^b | 0.190 ^a | 0.182 ^{ab} | 0.158 ^b | 0.0019 | 0.0032 |
| CA (kg) | 0.14 | 0.14 | 0.139 | 0.133 | 0.0036 | 0.9361 |
| ICA | 0.871 | 0.735 | 0.763 | 0.844 | 0.0151 | 0.1209 |

Nota. Letras diferentes en una fila indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). CA = Consumo de Alimento; ICA = Índice de Conversión Alimenticia; CO = Cromo Orgánico; APESG: Aceite en Polvo Enriquecido con Sustratos Gluconeogénicos.

La suplementación de cromo ha sido de interés para diversos sistemas de producción ganadera. En cerdos, los hallazgos sobre los efectos del cromo en parámetros productivos han sido notables (Güémez Gaxiola et al., 2011), como el aumento en las camadas, pesos más uniformes, y una canal más magra (He et al., 2023). En pavos, la suplementación con cromo en forma de cloruro de cromo (CrCl_3) aumenta el crecimiento y la eficiencia alimentaria (Spears et al., 2024). En pollos de engorde, algunos investigadores como Feng, Wuren, et al. (2021) han demostrado que la inclusión de piconilato de cromo (CrPic) en el alimento tiene un efecto positivo en el crecimiento de las aves.

Feng, Wuren, et al. (2021) revelaron que un aumento de cromo suplementario (200 a 1,200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de CrPic) aumentó el peso corporal en pollos de engorde Ross® 308. Esto coincide con los resultados obtenidos en este estudio, donde el tratamiento con inclusión de cromo orgánico a razón de 50 g/t de alimento (T2) muestra los mejores valores frente al tratamiento control. En otra

investigación realizada por van Hoeck et al. (2020), se demuestra una mejora significativa del rendimiento de los pollos de engorde con la suplementación dietética de 400 mg/kg de cromo incrementando un mayor peso corporal, ya que, el propionato de cromo tiene un efecto lineal sobre el peso corporal después de los 21 días de edad, efecto que se prolonga hasta el final del ciclo de producción. Sin embargo, en esta investigación se evidencia un efecto significativo en el peso vivo desde la primera semana de vida del ave, siendo ésta la más importante, ya que es donde el pollo puede expresar el máximo potencial genético.

El cromo tiene una función importante en la estimulación de la secreción de enzimas digestivas, lo que aumenta la absorción y utilización de los nutrientes presentes en la dieta. Algunos investigadores sugieren que la suplementación de cromo bajo diferentes niveles de inclusión puede mejorar el consumo de alimento y la eficiencia debido a la potenciación de la acción de la insulina, que cambia las respuestas metabólicas generales más hacia el lado anabólico (Feng, Lin, et al., 2021). Feng, Lin, et al. (2021), reportó que el cromo puede presentar efectos adversos o ningún efecto en el consumo de alimento, debido a que la acción del cromo se considera más eficiente bajo condiciones de estrés. Por lo tanto, el consumo del alimento y el índice de conversión alimenticia no mostraron diferencias significativas bajo las condiciones ambientales favorables en que se encontraron las aves de este estudio durante la primera semana de vida.

Cuadro 5

Efecto de la suplementación dietética de aceite en polvo enriquecido con sustratos gluconeogénicos y una fuente de cromo orgánico en el desempeño productivo en pollos de engorde durante la fase de crecimiento (0 – 14 días)

| Parámetros | Tratamientos | | | | EE ± | Valor P |
|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|--------|---------|
| | Control | Control + CO 50 g/t | Control + 2% APESG | Control + 2% APESG + CO 50 g/t | | |
| Peso Vivo (ave/kg) | 0.312 ^b | 0.370 ^a | 0.365 ^{ab} | 0.305 ^b | 0.0048 | 0.0001 |
| CA (kg) | 0.360 | 0.380 | 0.398 | 0.353 | 0.0065 | 0.1515 |
| ICA | 1.153 ^b | 1.026 ^a | 1.090 ^{ab} | 1.154 ^b | 0.0129 | 0.0013 |

Nota. Letras diferentes en una fila indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). CA = Consumo de Alimento; ICA = Índice de Conversión

Alimenticia; CO = Cromo Orgánico; APESG: Aceite en Polvo Enriquecido con Sustratos Gluconeogénicos.

El cromo se considera una mineral traza esencial para pollos de engorde, ya que influye en los parámetros productivos y en el rendimiento en canal. Algunos investigadores como Zha et al. (2009), sugieren que el CrPic entre 200 µg/kg y 1,200 µg/kg puede incrementar el peso corporal, consumo de alimento y el índice de conversión alimenticia. El cromo desempeña un papel fundamental en el metabolismo de los carbohidratos y lípidos, ya que participa eficazmente en la mejora de la tolerancia a la glucosa y mejora la resistencia a la insulina (Das et al., 2022). La glucosa como fuente de energía desencadena la secreción de insulina secretada por el páncreas. En la bicapa lipídica se encuentran los receptores de la insulina que juegan un papel importante para la canalización de la energía, estos receptores tienen dos subunidades: una subunidad alfa (porción extracelular) y una subunidad beta (porción intracelular).

La insulina, llega a los tejidos sensibles, se une al receptor de insulina por la porción extracelular, llegan señales a la subunidad beta, y automáticamente se activa la desfosforilación de una enzima llamada tirosina quinasa y otras enzimas (Krentz, 2012). Al ocurrir la unión de la insulina con su receptor, el cromo entra a la célula por medio de una proteína llamada apocromodulina, pasa a su forma activa (halocromodulina) y promueve la llegada de las vesículas que contienen la proteína transportadora de glucosa en el citoplasma de la célula, hasta la membrana celular y así la entrada de glucosa y aminoácidos (Anel y Patricia, 2004). La insulina promueve la formación de proteínas en los tejidos sensibles a ella principalmente el hígado, músculo, por la entrada no solo de glucosa a la célula sino de aminoácidos que son los precursores de las proteínas (Brooks et al., 2016).

En el Cuadro 5 se observa un incremento en peso vivo en el tratamiento con inclusión de 50 g/t de CO, ya que, como se expuso anteriormente el cromo es facilitador del ingreso de glucosa a la célula, y en presencia de energía se libera la insulina a nivel del páncreas. Sin embargo, en el Cuadro 5 se observa que el tratamiento con inclusión de 2% de aceite en polvo enriquecido con sustratos gluconeogénicos también muestra un incremento significativo frente al tratamiento control. Estos resultados, concuerdan con lo expuesto por Ibarra Silva (2023) donde se observan mejoras en índices

productivos y buena viabilidad económica cuando se incluye en la dieta sustratos gluconeogénicos y aceite de palma africana en una proporción de 25:75, respectivamente.

Los sustratos gluconeogénicos es uno de los productos más innovadores en los últimos 15 años, siendo un producto distinto ya que es un componente que no genera calor, cuando un ingrediente alimenticio no genera calor, hace que el animal no pierda energía, por lo cual, lo conserva y hace más eficiente la alimentación (Defaz, 2022). Además, son productos hechos a base de propilenglicol, glicerol, piruvatos, entre otros. Esto hace que el intestino lo absorba y pase directo al hígado y se transforma en azúcar (glucosa) y se va al nivel celular entrando a un ciclo bioquímico que es el Ciclo De Krebs y glucolisis, donde se genera la energía (ATP) y el animal va produciendo energía, haciendo que el animal gane mayor peso (Rodríguez, 2023). Cabe mencionar que estos sustratos nos permiten bajar el costo de la dieta, reduciendo un porcentaje del aceite líquido comercial y sustituirlo por esto que nos va a generar más energía (Chavez, 2023).

Bowen y Waldroup (1969), encontraron que un aumento del 5% de propilenglicol como fuente de energía en pollos de engorde provoca una disminución de la ganancia de peso, aumento de pH en el íleon y diarreas. Una posible explicación del incremento del pH en el intestino y las diarreas se debe a que el propilenglicol puede causar un incremento de la fermentación bacteriana, lo que resulta en generación de gases que pueden alterar el pH.

En un estudio realizado en pollos de engorde criados hasta los 48 días no se observaron diferencias significativas en los parámetros productivos cuando se adicionó propilenglicol y propionato de calcio desde 25, 50, 75, 100% en sustitución del aceite vegetal (Ocampo Sánchez, 2020). Al igual que el impacto que puede generar el cromo, el efecto que generan los sustratos gluconeogénicos depende en gran medida de la fuente y la dosis que se utilice en las aves.

Otros investigadores como Zheng et al. (2016), han demostrado que la adición de 400 o 2,000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de propionato de cromo, cloruro de cromo o picolinato de cromo en dietas para pollos de engorde Cobb500™ no tiene ningún efecto en el desempeño productivo. Por otro lado, Naghieh et al.

(2010) reportaron en otra investigación que una dieta con la adición de 600 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de cromo en la forma de CrNic, CrMet, Cr-levadura, no se observaron diferencias significativas en la ganancia de peso y el índice de conversión alimenticia. Safwat et al. (2020), reportaron en otra investigación que la suplementación de CrMet y Cr-levadura bajo condiciones normales en pollos Arbor Acres® no mostraron diferencias significativas en los parámetros productivos. En condiciones de estrés térmico, se reportaron efectos positivos en el rendimiento de los pollos de engorde cuando se suministra cromo en forma de CrPic e histidinato de cromo, y los resultados muestran características superiores con histidinato de cromo (N. Sahin et al., 2017). Las diferencias sobre las mejoras del cromo en pollos de engorde se pueden atribuir a variaciones entre las fuentes del cromo usado en las dietas.

Referente a la variable de índice de conversión alimenticia, el tratamiento con inclusión de 50 g/t CO muestra un valor menor frente al tratamiento control. Sin embargo, frente al tratamiento con inclusión de 2% de APESG comparte características similares. Uyanik et al. (2002), reportó que la inclusión de cromo a razón de 20 mg/L reduce un 18.57% en consumo de alimento y mejora el índice de conversión alimenticia en un 16.77%. Sin embargo, niveles entre 40 y 80 mg/kg no muestran un impacto significativo ni en el consumo de alimento ni en la índice conversión alimenticia. Estos resultados discrepan ligeramente de lo encontrado en este experimento, ya que sin lugar a duda una inclusión de cromo orgánico a razón de 50 g/t no muestra un efecto significativo en la variable de consumo de alimento, pero si muestra diferencias en la variable de índice de conversión alimenticia. Otros estudios realizados por Anandhi et al. (2006) y El-Kholy et al. (2017) donde se evaluó la suplementación de cromo orgánico entre 250, 500 y 750 $\mu\text{g}/\text{kg}$ en pollos de engorde no mostraron diferencias significativas a lo largo de todo el experimento en las variables de peso vivo, consumo de alimento e índice de conversión alimenticia. De nuevo, los resultados contradictorios a lo largo de las diferentes investigaciones posiblemente se debe a factores como la forma y la fuente del cromo, la dosis suministrada en la dieta, la línea genética, la edad de los animales, entre otros factores.

Cuadro 6

Efecto de la suplementación dietética de aceite en polvo enriquecido con sustratos gluconeogénicos y una fuente de cromo orgánico en el desempeño productivo en pollos de engorde durante la fase de finalización (0-32 días)

| Parámetros | Tratamientos | | | | EE± | Valor P |
|---------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------|---------|
| | Control | Control + CO 50 g/t | Control + 2% APESG | Control + CO 50 g/t + 2% APESG | | |
| Semana 3 | | | | | | |
| Peso vivo/ ave (kg) | 0.656 ^b | 0.750 ^a | 0.735 ^{ab} | 0.657 ^b | 0.0118 | 0.0062 |
| CA (kg) | 0.786 ^c | 0.899 ^{ab} | 0.885 ^{ab} | 0.806 ^{bc} | 0.0118 | 0.0017 |
| ICA | 1.364 ^b | 1.312 ^a | 1.350 ^{ab} | 1.491 ^b | 0.0307 | 0.0305 |
| Semana 4 | | | | | | |
| Peso vivo/ ave (kg) | 1.239 ^b | 1.329 ^a | 1.278 ^{ab} | 1.203 ^b | 0.0158 | 0.0014 |
| CA (kg) | 1.863 | 1.831 | 1.871 | 1.869 | 0.0159 | 0.7068 |
| ICA | 1.507 ^b | 1.379 ^a | 1.466 ^{ab} | 1.555 ^b | 0.027 | 0.0453 |
| Semana 5 | | | | | | |
| Peso vivo/ ave (kg) | 1.988 ^{ab} | 2.077 ^a | 1.986 ^{ab} | 1.923 ^b | 0.0173 | 0.0225 |
| CA (kg) | 3.337 | 3.186 | 3.319 | 3.331 | 0.0346 | 0.4793 |
| ICA | 1.685 | 1.535 | 1.674 | 1.733 | 0.0272 | 0.1602 |

Nota. Letras diferentes en la fila indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). CA = Consumo de Alimento; ICA = Índice de Conversión

Alimenticia; CO = Cromo Orgánico; APESG = Aceite en Polvo Enriquecido con Sustratos Gluconeogénicos.

En el Cuadro 6 se detallan los efectos de inclusión de cromo orgánico, aceite en polvo con sustratos gluconeogénicos y su combinación con respecto a los parámetros productivos. El peso vivo, consumo de alimento y el índice de conversión alimenticia durante semana 3 se vieron afectados por todos los tratamientos ($P \leq 0.05$). Por otra parte, dentro de la misma fase, en la semana 4 se observaron diferencias ($P \leq 0.05$) en las variables de peso vivo e índice de conversión alimenticia. Además, en la semana 5 la variable de peso vivo también se vio afectada por los tratamientos experimentales ($P \leq 0.05$).

Recalcando los resultados novedosos del cromo en la industria avícola, se considera que es uno de los minerales esenciales en la avicultura. Valera et al. (2019) exponen que las investigaciones en los últimos años se han enfocado principalmente en la suplementación del picolinato de cromo y/o levadura de cromo, estos dos compuestos orgánicos más allá de los experimentos sobre el aumento del contenido de proteína en la carne mejoran indiscutiblemente el consumo de alimento y la

conversión alimenticia. Un estudio desarrollado en la fase de finalización en pollos de engorde realizado por Jackson et al. (2008), usando 400 µg/kg de cromo orgánico afectó significativamente el índice de conversión alimenticia.

Por otro lado, a medida crece el pollo de engorde el incremento de la temperatura aumenta, lo que impacta en el índice de conversión alimenticia. Sin embargo, Lester (2018), demostró que la inclusión de cromo a razón de 200 µg/kg reduce el índice de conversión alimenticia en la fase de finalización en comparación con el tratamiento control. Estos resultados concuerdan con lo encontrado en este estudio ya que se puede observar una disminución del índice de conversión alimenticia durante las semana 3 y 4 en la fase de finalización cuando se compara frente al tratamiento control y la combinación de ambos aditivos.

En una investigación realizada por Rajkumar et al. (2018), se demostró que la suplementación de minerales traza como el cromo y el zinc, incrementó el peso vivo ($P \leq 0.05$) a los 21 días de edad (fase de crecimiento) en comparación con la dieta control. Sin embargo, no se observaron diferencias a los 42 días de edad (fase de finalización). Las mejoras referentes a los parámetros productivos con la suplementación de minerales trazan se puede atribuir al aprovechamiento de los nutrientes por parte del ave y la propiedad activadora de enzimas como cofactor de varias enzimas (Edwards y Baker, 2000; Schmittgen y Livak, 2008). Por otro lado, los impactos positivos observados en la variable de peso vivo se deben principalmente a que estos minerales disminuyen sustancialmente el estrés en los animales, permitiendo la mejor utilización de los nutrientes para crecimiento muscular (Lyons y Jacques, 2003). Se considera que los minerales en su forma orgánica tienen una mejor absorción en el intestino delgado.

A medida que el pollo de engorde aumenta el peso corporal, hay mayor producción de calor metabólico (Nascimento et al., 2017). Estudios han demostrado que la suplementación dietética con cromo mejora las funciones fisiológicas como la preservación celular y una mejor respuesta

inmunitaria (Ghazi et al., 2012). En los últimos años se han investigado numerosas soluciones como la suplementación de vitaminas y minerales en las dietas de pollos de engorde (Brossi et al., 2009).

Referente a la variable de consumo de alimento, autores como Suksombat y Kanchanatawee (2005) han demostrado que no hay diferencias significativas en el consumo de alimento. Además Suksombat y Kanchanatawee (2005), reportaron que una inclusión de 200 o 400 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de cromo en dietas de pollos de engorde en forma de CrPic no afectó el consumo de alimento. Estos resultados coinciden con lo encontrado en este estudio ya que a partir del día 28 hasta el día 35 de edad, no se observan diferencias significativas cuando se compara entre los tratamientos experimentales. Sin embargo, Lu et al. (2019), sugieren que la suplementación con cromo bajo diferentes niveles de inclusión en pollos de engorde mejora el consumo de alimento debido a la potenciación de la acción de la insulina, dirigiendo la respuesta metabólica hacia el lado anabólico. Diversos estudios realizados por Haq et al. (2016) y Vincent (2000), llegaron a la misma conclusión, los efectos del cromo dependen de diferentes factores relacionados con su disponibilidad y absorción en el organismo.

Cuadro 7

Efecto de la suplementación dietética de aceite en polvo enriquecido con sustratos gluconeogénicos y una fuente de cromo orgánico en características de la canal en pollos de engorde

| Parámetros | Tratamientos | | | | EE \pm | Valor P |
|--------------------------|--------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------------|----------|---------|
| | Control | Control + CO 50 g/t | Control + 2% APESG | Control + CO 50 g/t + 2% APESG | | |
| Peso en canal (g) | 1585 | 1667 | 1529 | 1491 | 0.0567 | 0.3601 |
| Rendimiento en canal (%) | 72.1 | 71.2 | 69.8 | 71.7 | 0.0144 | 0.7289 |
| Grasa abdominal (g) | 13.89 | 16.9 | 13.69 | 12.92 | 1.1583 | 0.1485 |

Nota. Letras diferentes en la fila indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). CO = Cromo Orgánico; APESG = Aceite en Polvo Enriquecido con Sustratos Gluconeogénicos.

En el Cuadro 7 se observan las variables de peso en canal, rendimiento en canal y grasa abdominal, donde no se muestran diferencias ($P > 0.05$) entre los tratamientos experimentales. La suplementación dietética con 200, 400, 800 y 1,200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de cromo en forma de CrPic aumentó significativamente las características de la canal en pollos de engorde (K. Sahin et al., 2002). Resultados

similares se encontraron en estudio donde se evaluó la suplementación dietética en codornices alimentadas con 400 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de cromo en forma de CrPic, donde se muestra un aumento significativo del rendimiento en canal (N. Sahin et al., 2005). Huang et al. (2016), reportaron que la suplementación de cromo aumentó el rendimiento en canal y disminuyó el porcentaje de grasa abdominal de los pollos de engorde expuestos a estrés calórico. Esto puede deberse a que debido al aprovechamiento de la glucosa por parte de la célula y no queda glucosa en sangre para la formación de lípidos en pollos de engorde. Se ha demostrado que el propionato de cromo tiene un efecto significativo sobre la calidad de la canal incrementando el nivel de proteína y reduciendo el nivel de grasa abdominal (Toghyani et al., 2012). Los resultados obtenidos por Arif et al. (2019) coinciden con lo obtenido en esta investigación ya que no se observan diferencias significativas en las características de la canal de aves suplementadas con propionato de cromo. Contrario a los resultados obtenidos a este estudio, Ebrahimzadeh et al. (2012) establecieron que la suplementación con cromo – metionina aumentó el rendimiento en canal en pollos de engorde durante el periodo de estrés por calor.

Conclusiones

Durante la fase de inicio, crecimiento y finalización la suplementación dietética con cromo orgánico a razón de 50 g/t de alimento tuvo efectos deseables sobre la variable de peso vivo, índice de conversión alimenticia frente al tratamiento control. No obstante, el uso de aceite en polvo enriquecido con sustratos gluconeogénicos en la dieta también resultó ser una alternativa viable, ya que mostró resultados similares al tratamiento control y ofrece la ventaja de generar un ahorro económico en la formulación dietética.

La inclusión de 50 g/t de alimento y 2% de aceite en polvo enriquecido con sustratos gluconeogénicos no afectó los parámetros de canal al final del ciclo de producción.

Recomendaciones

Se sugiere evaluar otra fuente de cromo orgánico con diferente nivel de inclusión en las dietas en pollos de engorde en las diferentes fases de producción.

Evaluar una mayor inclusión de aceite en polvo enriquecido con sustratos gluconeogénicos.

Referencias

- Anandhi, M., Mathivanan, R., Viswanathan, K. y Mohan, B. (2006). Dietary Inclusion of Organic Chromium on Production and Carcass Characteristics of Broilers. *International Journal of Poultry Science*, 5(9), 880–884. <https://doi.org/10.3923/ijps.2006.880.884>
- Anel, G. G. y Patricia, M. G. (2004). Papel del cromo y del cinc en el metabolismo de la insulina. *Revista Médica Del IMSS*, 42. <https://www.medigraphic.com/pdfs/imss/im-2004/im0441.pdf>
- Arif, M., Hussain, I., Mahmood, M. A., Abd El-Hack, M. E [Mohamed E.], Swelum, A. A., Alagawany, M., Mahmoud, A. H., Ebaid, H. y Komany, A. (2019). Effect of Varying Levels of Chromium Propionate on Growth Performance and Blood Biochemistry of Broilers. *Animals : An Open Access Journal from MDPI*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/ani9110935>
- Bowen, T. E. y Waldroup, P. W. (1969). The influence of propylene glycol on pH of the gastrointestinal tract and the incidence of leg abnormalities in broiler chicks. *Poultry Science*, 48(2), 608–613. <https://doi.org/10.3382/ps.0480608>
- Brooks, M. A., Grimes, J. L., Lloyd, K. E., Krafka, K., Lamprey, A. y Spears, J. W. (2016). Chromium propionate in broilers: Effect on insulin sensitivity. *Poultry Science*, 95(5), 1096–1104. <https://doi.org/10.3382/ps/pew018>
- Brossi, C., Contreras-Castillo, C. J., Amazonas, E. d. A. y Menten, J. F. M. (2009). Estresse térmico durante o pré-abate em frangos de corte. *Ciência Rural*, 39(4), 1284–1293. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000039>
- Castro, F., Chai, L., Arango, J., Owens, C. M., Smith, P. A., Reichelt, S., DuBois, C. y Menconi, A. (2023). Poultry industry paradigms: connecting the dots. *Journal of Applied Poultry Research*, 32(1), 100310. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2022.100310>
- Chavez, E. (2023). *Efecto de la suplementación con sustrato gluconeogénico sobre parámetros productivos y calidad del huevo en gallinas de postura* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú. <https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/3372/Edin%20Jhonel%20Chavez%20Flores.pdf>
- Das, P., Bariya, A. R., Gamit, V. V., Bey, B. y Desai, S. T. (2022). Role of chromium in nutrition for livestock and poultry: Understanding its importance: A review. *The Pharma Innovation*, 11. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue12S/PartH/S-11-11-379-149.pdf>
- Defaz, J. (2022). *Efecto de la utilización de sustratos glucogénicos, sobre los parámetros productivos de gallinas ponedoras comerciales* [Tesis de pregrado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. <https://dspace.espech.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/e837796b-6c17-456e-bd36-f5c833d06d11/content>
- Ebrahimzadeh, S. K., Farhoomand, P. y Noori, K. (2012). Immune Response of Broiler Chickens Fed Diets Supplemented with Different Level of Chromium Methionine under Heat Stress Conditions. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(2), 256–260. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.11217>

- El-Kholy, M. S., El-Hindawy, M. M., Alagawany, M., Abd El-Hack, M. E [Mohamed Ezzat] y El-Sayed, S. A. E.-G. A. E.-H. (2017). Dietary Supplementation of Chromium Can Alleviate Negative Impacts of Heat Stress on Performance, Carcass Yield, and Some Blood Hematology and Chemistry Indices of Growing Japanese Quail. *Biological Trace Element Research*, 179(1), 148–157. <https://doi.org/10.1007/s12011-017-0936-z>
- Farag, M. R., Alagawany, M., Abd El-Hac, M. E., Arif, M., Ayasan, T., Dhama, K., Patra, A. y Karthik, K. (2017). Role of Chromium in Poultry Nutrition and Health: Beneficial Applications and Toxic Effects. *International Journal of Pharmacology*, 13(7), 907–915. <https://doi.org/10.3923/ijp.2017.907.915>
- Feng, C., Lin, H., Li, J. y Xie, B. (2021). Effects of dietary inorganic chromium supplementation on broiler growth performance: A meta-analysis. *PeerJ*, 9. <https://doi.org/10.7717/peerj.11097>
- Feng, C., Wuren, Q., Zhang, X., Sun, X. y Na, Q. (2021). Effects of dietary chromium picolinate supplementation on broiler growth performance: A meta-analysis. *PloS One*, 16(4), e0249527. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249527>
- Fernández, J. (2023). *Día Latinoamericano del Pollo: Crecimiento histórico de la avicultura en la región*. Exportadores de Carne de Chile. <https://www.chilecarne.cl/dia-latinoamericano-del-pollo-crecimiento-historico-de-la-avicultura-en-la-region/>
- Ghazi, S., Habibian, M., Moeini, M. M. y Abdolmohammadi, A. R. (2012). Effects of different levels of organic and inorganic chromium on growth performance and immunocompetence of broilers under heat stress. *Biological Trace Element Research*, 146(3), 309–317. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9260-1>
- Güémez Gaxiola, H. R., Romo Rubio, J. A., Romo Valdez, J. M. y Ramos (2011). Efecto de la adición de cromo a la dieta en el desempeño productivo y características de la canal del cerdo en crecimiento-finalización. *Revista Electrónica De Veterinaria*, 12(3), 1–11. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63616934002>
- Haq, Z., Jain, R. K., Khan, N., Dar, M. Y., Ali, S., Gupta, M. y Varun, T. K. (2016). Recent advances in role of chromium and its antioxidant combinations in poultry nutrition: A review. *Veterinary World*, 9(12), 1392–1399. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.1392-1399>
- He, T., Wei, C., Lin, X [Xiuwei], Wang, B. y Yin, G. (2023). Meta-Analysis of the Effects of Organic Chromium Supplementation on the Growth Performance and Carcass Quality of Weaned and Growing-Finishing Pigs. *Animals : An Open Access Journal from MDPI*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/ani13122014>
- Hossain, S. M., Barreto, S. L. y Silva, C. G. (1998). Growth performance and carcass composition of broilers fed supplemental chromium from chromium yeast. *Animal Feed Science and Technology*, 71(3-4), 217–228. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00160-0](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00160-0)
- Ibarra Silva, F. D. (2023). *Evaluación de un sustrato gluconeogénico sobre los índices productivos y perfil lipídico en pollos de engorde* [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/510a0b99-cd6e-4d4a-a221-f0cc7579f310>
- Jackson, A. R., Powell, S., Johnston, S., Shelton, J. L., Bidner, T. D., Valdez, F. R. y Southern, L. L. (2008). The Effect of Chromium Propionate on Growth Performance and Carcass Traits in Broilers.

- Journal of Applied Poultry Research*, 17(4), 476–481. <https://doi.org/10.3382/japr.2008-00031>
- Krentz, A. J. (Ed.). (2012). *Churchill's Pocketbook of Diabetes* (2^a ed.). Elsevier Health Sciences. <https://www.sciencedirect.com/book/9780443100819/churchills-pocketbook-of-diabetes-second-edition>
- Lester, T. E., III. (2018). *Evaluation of chromium propionate and a butyric acid-zinc complex on broiler growth performance, corticosterone level and yield* [Tesis de posgrado]. Texas A&M University, College Station, Texas, USA. <https://oaktrust.library.tamu.edu/server/api/core/bitstreams/8a0433d5-6484-46d1-9dc8-89ce6f8a45b0/content>
- Lu, L., Zhao, L. L., Dong, S. Y., Liao, X. D., Dong, X. Y., Zhang, L. Y. y Luo, X. G. (2019). Dietary supplementation of organic or inorganic chromium modulates the immune responses of broilers vaccinated with Avian Influenza virus vaccine. *Animal : An International Journal of Animal Bioscience*, 13(5), 983–991. <https://doi.org/10.1017/s1751731118002379>
- Lyons, T. P. y Jacques, K. A. (2003). *Nutritional biotechnology in the feed and food industries: Proceedings of Alltech's nineteenth Annual Symposium, May 11-14, 2003*. University Press. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20063209141>
- Mehri, A. (2020). Trace Elements in Human Nutrition (II) - An Update. *International Journal of Preventive Medicine*, 11, 2. https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_48_19
- Mertz, W. (1969). Chromium occurrence and function in biological systems. *Physiological Reviews*, 49(2), 163–239. <https://doi.org/10.1152/physrev.1969.49.2.163>
- Naghieh, A., Toghyani, M [Majid], Ali Gheisa, A., Eghbal Sae, S. y Miranzadeh, H. (2010). Effect of Different Sources of Supplemental Chromium on Performance and Immune Responses of Broiler Chicks. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9(2), 354–358. <https://doi.org/10.3923/javaa.2010.354.358>
- Nascimento, S. T., Maia, A. S. C., Gebremedhin, K. G. y Nascimento, C. C. N. (2017). Metabolic heat production and evaporation of poultry. *Poultry Science*, 96(8), 2691–2698. <https://doi.org/10.3382/ps/pex094>
- Ocampo Sánchez, J. G. (2020). Adición de una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio en dietas de pollo de engorda: efecto sobre los parámetros productivos y la pigmentación cutánea. *Avicultura Mx*. <https://www.avicultura.mx/destacado/adicion-de-una-mezcla-de-propilenglicol-y-propionato-de-calcio-en-dietas-de-pollo-de-engorda-efecto-sobre-los-parametros-productivos-y-la-pigmentacion-cutanea>
- Rajkumar, U., Vinoth, A., Reddy, E. P. K., Shanmugam, M. y Rao, S. V. R. (2018). Effect of Supplemental Trace Minerals on Hsp-70 mRNA Expression in Commercial Broiler Chicken. *Animal Biotechnology*, 29(1), 20–25. <https://doi.org/10.1080/10495398.2017.1287712>
- Rodríguez, C. (2023). *Suministro de precursores gluconeogénicos en la alimentación de pollos de carne, durante el crecimiento y engorde* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/13711>

- Safwat, A. M., Elnaggar, A. S., Elghalid, O. A. y El-Tahawy, W. S. (2020). Effects of different sources and levels of dietary chromium supplementation on performance of broiler chicks. *Animal Science Journal = Nihon Chikusan Gakkaiho*, 91(1), e13448. <https://doi.org/10.1111/asj.13448>
- Sahin, K [Kazim], Sahin, N [Nurhan], Onderci, M., Gursu, F. y Cikim, G. (2002). Optimal dietary concentration of chromium for alleviating the effect of heat stress on growth, carcass qualities, and some serum metabolites of broiler chickens. *Biological Trace Element Research*, 89(1), 53–64. <https://doi.org/10.1385/BTER:89:1:53>
- Sahin, N [N.], Hayirli, A., Orhan, C., Tuzcu, M., Akdemir, F., Komorowski, J. R. y Sahin, K [K.] (2017). Effects of the supplemental chromium form on performance and oxidative stress in broilers exposed to heat stress. *Poultry Science*, 96(12), 4317–4324. <https://doi.org/10.3382/ps/pex249>
- Siegel, P. B. (2014). Evolution of the modern broiler and feed efficiency. *Annual Review of Animal Biosciences*, 2, 375–385. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022513-114132>
- Spears, J. W., Lloyd, K. E., Krafka, K., Hyda, J. y Grimes, J. L. (2024). Chromium propionate in turkeys: Effects on insulin sensitivity. *Poultry Science*, 103(1), 103215. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103215>
- Stefanello, C., Vieira, S. L., Carvalho, P. S., Sorbara, J. O. B. y Cowieson, A. J. (2016). Energy and nutrient utilization of broiler chickens fed corn-soybean meal and corn-based diets supplemented with xylanase. *Poultry Science*, 95(8), 1881–1887. <https://doi.org/10.3382/ps/pew070>
- Suksombat, W. y Kanchanatawee, S. (2005). Effects of Various Sources and Levels of Chromium on Performance of Broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 18(11), 1628–1633. <https://doi.org/10.5713/ajas.2005.1628>
- Toghyani, M [Mehdi], Toghyani, M [Majid], Shivazad, M., Gheisari, A. y Bahadoran, R. (2012). Chromium supplementation can alleviate the negative effects of heat stress on growth performance, carcass traits, and meat lipid oxidation of broiler chicks without any adverse impacts on blood constituents. *Biological Trace Element Research*, 146(2), 171–180. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9234-3>
- Uyanik, F., Atasever, A., Ozdamar, S. y Aydin, F. (2002). Effects of dietary chromium chloride supplementation on performance, some serum parameters, and immune response in broilers. *Biological Trace Element Research*, 90(1-3), 99–115. <https://doi.org/10.1385/BTER:90:1-3:99>
- Valera, M., Gutiérrez, O. y Elías, A. (2019). Productos orgánicos basados en cromo para la producción avícola. Principales avances en los últimos años. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2079-34802019000300219&script=sci_arttext&tlng=es
- van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L. y Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010-2050. *Nature Food*, 2(7), 494–501. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>
- van Hoeck, V., Sonawane, M., Gonzalez Sanchez, A. L., van Dosselaer, I., Buyens, C. y Morisset, D. (2020). Chromium propionate improves performance and carcass traits in broilers. *Animal Nutrition (Zhongguo Xu Mu Shou Yi Xue Hui)*, 6(4), 480–487. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.03.005>

- Vincent, J. B. (2000). Quest for the molecular mechanism of chromium action and its relationship to diabetes. *Nutrition Reviews*, 58(3 Pt 1), 67–72. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2000.tb01841.x>
- Zha, L.-Y., Zeng, J.-W., Chu, X.-W., Mao, L.-M. y Luo, H.-J. (2009). Efficacy of trivalent chromium on growth performance, carcass characteristics and tissue chromium in heat-stressed broiler chicks. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(10), 1782–1786. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3656>
- Zheng, C., Huang, Y., Xiao, F., Lin, X [Xi] y Lloyd, K. (2016). Effects of Supplemental Chromium Source and Concentration on Growth, Carcass Characteristics, and Serum Lipid Parameters of Broilers Reared Under Normal Conditions. *Biological Trace Element Research*, 169(2), 352–358. <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0419-z>

Anexo

Anexo A

Composición de la premezcla de vitaminas y minerales

| Nutriente | Cantidad por Kg (UI/mg) |
|--|-------------------------|
| Vitamina A | 525,000.00 UI/kg |
| Vitamina E | 3,200.00 UI/kg |
| Vitamina D3 | 150,000.00 UI/kg |
| Vitamina B1 | 170,00 mg/kg |
| Vitamina B2 | 375,00 mg/kg |
| Vitamina B6 | 225,00 mg/kg |
| Biotina | 6,00 mg/kg |
| Acido Pantoténico | 625,00 mg/kg |
| Vitamina K3 | 170.00 UI/kg |
| Vitamina B12 | 1.00 mg/kg |
| Niacina | 4,250.00 mg/kg |
| Ácido Fólico | 50.00 mg/kg |
| Vitamina C | 4,250.00 mg/kg |
| Cloruro de Colina | 4,250.00 mg/kg |
| Manganeso | 2,500.00 mg/kg |
| Hierro | 425.00 mg/kg |
| Zinc | 2,500.00 mg/kg |
| Cobre | 5,700.00 mg/kg |
| Yodo | 105,00 mg/kg |
| Selenio | 20,00 mg/kg |
| Metionina | 96,250.00 mg/kg |
| Lisina | 79,750.00 mg/kg |
| Treonina | 39,000.00 mg/kg |
| Fosfato monocalcico | 92,100.00 mg/kg |
| Enterosorbente | 64,600.00 mg/kg |
| Antioxidante (Butil Hidroxi Tolueno-BHT) | 5,400 mg/kg |
| Enzima | 32 kFTU |
| Excipientes C.S.P | 1.00 kg |