

UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia



“Comportamiento productivo, características morfométricas e indicadores de mineralización ósea a nivel de la tibia en pollos de carne de 21 días de edad, alimentados con 5 diferentes fuentes comerciales de fosfatos inorgánicos”

Tesis para optar por el Título Profesional de:

Médico Veterinario Zootecnista

Clara Milagros Murga Tovar

Bachiller en Medicina Veterinaria y Zootecnia

Lima – Perú

2019

A Dios por la oportunidad de vivir, a mi madre por motivarme siempre a ser una mejor versión de mi misma, a mis hermanos por su apoyo incondicional todos los días de mi vida, a Claire por ser el regalo más lindo que me ha dado la vida, a César por ser mi compañero fiel de vida, y a todas las personas que de alguna forma contribuyeron con la realización de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesor de tesis el Mv. Luis Alfredo Nakandakari Arashiro, quien con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación, hizo posible la óptima realización del presente proyecto.

Agradezco también a la empresa QUIMPAC S.A por todas las facilidades brindadas para la realización de este proyecto.

ABSTRACT

The aim of the study was compare the productive behavior, morphometric characteristics and bone mineralization indicators at the level of the tibia in meat chickens at 21 days of age, fed with 5 different commercial sources of inorganic phosphates (T2 = P, 18.5%; T3 = P, 21.5%; T4=P, 21%; T5 = P, 22.3%; T6 = P, 22.7%). Were used 300 BB chickens of 1-day-old, distributed under a completely randomized design with 6 treatments, 10 repetitions per treatment and 5 birds per repetition. The normality and homogeneity of variance of the parametric variables was evaluated. After fulfilling the assumptions, the analysis of single-way variance (ANOVA) was determined. For non-parametric measurements, the Kruskal Wallis test was used. No statistical difference was found for the variables corresponding to the productive behavior among the 5 sources evaluated, as well as the morphometric characteristic results at the right tibia level did not show statistical difference for the variables weight and volume, but for the length variables where the T3 obtained the highest value (65.3mm) and in diaphysis diameter the T6 (6.0mm) obtained a higher value. In the case of the mineralization variables of the right tibia, there was a statistical difference for the variables density and robustness obtaining the T5 (1229.5mg / cm³) and T3 (4.0mm) the highest values for each variable respectively. Finally, the data on the percentage of ash, calcium and phosphorus at the level of the left tibia did not show statistical difference for the percentage of ash, but for the percentage of calcium (Ca) and phosphorus (P), highlighting the T6 with 20.2% of calcium, in the case of P the T1 obtained the highest value with 9.88% and the T6 9.2%. It is concluded that the source of inorganic phosphate does not have a direct effect on the productive parameters when the level of available P is at a level of 0.45% of the total diet, likewise it was observed that the dicalcium phosphate had a higher percentage of P at the level of the tibia compared to the other sources.

Key words: Inorganic phosphates, phosphorus, broilers, tibia.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue comparar el comportamiento productivo, características morfológicas e indicadores de mineralización ósea a nivel de la tibia en pollos de carne a los 21 días de edad, alimentados con 5 diferentes fuentes comerciales de fosfatos inorgánicos (T2=P, 18.5%; T3 = P, 21.5%; T4 = P, 21%; T5 = P, 22.3%; T6 = P, 22.7%). Se emplearon 300 pollos BB machos de 1 día de edad, distribuidos bajo un diseño completamente aleatorizado con 6 tratamientos, 10 repeticiones por tratamiento y 5 aves por repetición. Se evaluó la normalidad y homogeneidad de varianza de las variables continuas. Luego de cumplir los supuestos, se determinó el análisis de varianza de una sola vía. Para la evaluación de las variables discretas se empleó la prueba de Kruskal Wallis. No se encontró diferencia en el comportamiento productivo entre los tratamientos evaluados. En cuanto a los resultados de característica morfológicas, a nivel de tibia derecha se halló diferencia ($p<0.05$) para las variables de longitud (T3 obtuvo el mayor valor - 65.3mm) y diámetro de diáfisis (T6 obtuvo el mayor valor - 6.0mm). Para mineralización ósea, en la tibia derecha se encontró diferencia ($p<0.05$) para las variables densidad (T5 alcanzó 1229.5mg/cm³) y robusticidad (T3 alcanzó 4.0 mm). A nivel de tibia izquierda se encontró diferencia ($p<0.05$) para el porcentaje de calcio (T6 obtuvo mayor valor - 20.2%) y fósforo (T1 obtuvo mayor valor - 9.8%). Se concluye que la fuente de fosfato inorgánico no tiene un efecto directo sobre los parámetros productivos cuando el nivel de P disponible se encuentra en un nivel de 0.45% del total de la dieta, así mismo se pudo observar que el fosfato dicálcico presentó mayor porcentaje de fósforo a nivel de la tibia en comparación a las otras fuentes.

Palabras clave: Fosfatos inorgánicos, fósforo, pollos de carne, tibia.

INTRODUCCIÓN

En el año 2018, el consumo de carne de pollo tuvo un crecimiento del 5.4% con respecto al año anterior, alcanzando un consumo per cápita de 45 Kg por habitante a nivel nacional. Esto demuestra el constante crecimiento que tiene del consumo de esta carne, lo cual se reafirma con la data del primer trimestre del 2019 donde se observa un incremento del 4.5% con respecto a la del 2018 (MINAGRI, 2019; Contreras, Gutierrez, Osorio, 2018). La alta demanda por la carne pollo, se debe a su bajo costo de producción y su alta eficiencia en convertir el alimento en proteína animal (eficiencia alimenticia), en comparación con otros tipos de carne (res, cerdo, pavo, etc.), lo cual ha sido posible alcanzar gracias a los avances en genética, manejo y medioambiente, permitiendo lograr mayores pesos a menor edad (3 kg en 42 días) (Cobb, 2014).

Sin embargo, una mejor eficiencia alimenticia y ganancia de peso, ha causado que el ave sea más susceptible a problemas metabólicos y desórdenes a nivel del sistema músculo-esquelético. Este último punto origina más del 30% del total de pérdidas económicas en la producción de pollos de carne, además de atentar contra el bienestar animal. Los problemas a nivel del sistema esquelético radican en la menor densidad ósea y contenido mineral sobre todo a nivel de los miembros posteriores, los cuales se encargan de soportar todo el peso del ave, provocando que sean más susceptibles a sufrir diferentes tipos de trastornos y/o patologías a este nivel durante su crecimiento. Debido a ello es necesario evaluar continuamente la nutrición de las aves con énfasis en la formulación de raciones a fin de poder cubrir las exigencias nutricionales del ave el cual cambia cada 4 a 5 años por las mejoras genéticas (Uculmana, 2015).

A la hora de formular raciones para pollos de carne, es importante cubrir los niveles de calcio (Ca), fósforo (P) y vitamina D₃, ya que estos nutrientes son responsables de mantener la salud e integridad ósea, además de cumplir con otras funciones biológicas. Por ello se debe de conocer su disponibilidad en el organismo, la cual depende de la absorción a nivel intestinal, filtración y reabsorción a nivel renal, tasas de transferencia de sangre a hueso y pérdidas endógenas (Rodehutsord, 2011). Los procesos antes mencionados están modulados principalmente por la hormona paratiroidea (PTH) y la forma hormonal de la vitamina D₃ (1,25 dihidroxicolecalciferol ó calcitriol) (Proszkowiec y Angel, 2013).

El metabolismo de ambos minerales se da en función a la relación idónea que debe existir entre ellos, es así como la deficiencia de Ca, limita la utilización de P y aumenta su excreción, además de inhabilitar la mineralización ósea. Por el contrario, el exceso da lugar a la formación de complejos insolubles en el lumen intestinal, los cuales perjudican la absorción de los demás

nutrientes. El control del metabolismo de P difiere del Ca, con menos control en el intestino y mayor control a nivel renal (Proszkowiec y Angel, 2013).

El P, después de la energía y la proteína es considerado uno de los nutrientes más importantes y costosos en las dietas para pollos de carne. La alimentación de pollos de engorde es a base de ingredientes vegetales que contienen de 60 a 80% de P en forma de fitatos (Inositol hexafosfato), compuesto que se une al P, Ca y otros minerales a nivel intestinal. Por ello la absorción del P fítico es casi nula por parte de las aves puesto que no producen la enzima fitasa endógena en cantidades apreciables para poder liberar el P fítico (Godoy y Chicco, 2008; Lambert *et al.*, 2014). Por tal motivo, es importante la adición de una fuente de P como suplemento nutricional con el cual se pueda cubrir el requerimiento de dicho mineral y así evitar los problemas que comprometen la salud y producción de las aves (Patiño *et al.*, 2012; Peceros *et al.*, 2016; Rousseau *et al.*, 2016).

Por lo mencionado, el nutricionista y/o formulador de raciones se ve obligado adicionar una fuente de P como suplemento nutricional en forma de fosfato orgánico o inorgánico para poder cubrir el requerimiento mínimo de este mineral en el alimento (0.38 – 0.45% de P no fítico según la edad del ave). El porcentaje de este elemento no metal es variable en cada una de las fuentes de fosfato, sobre todo en fosfatos inorgánicos en comparación con las fuentes orgánicas. Además se debe de considerar que los fosfatos orgánicos tienen una alta disponibilidad en el organismo, debido a que no se encuentran unidos al ácido fítico y como ejemplo se tiene a las moliendas de los componentes óseos de diversas especies. Sin embargo su uso es limitado debido a consideraciones éticas y de riesgo de transmisión de enfermedades como *Salmonella spp*, *Clostridium spp*, entre otros. Por otro lado, los fosfatos inorgánicos que provienen de minas de rocas fosfóricas, son la principal fuente de este mineral en la alimentación de pollos de carne, no obstante, hay mucha variabilidad en el nivel de P entre los diferentes tipos de fosfatos inorgánicos comerciales, lo que se debe a la naturaleza inicial de la materia prima (roca fosfórica) y/o al proceso de fabricación, el que puede afectar su disponibilidad por parte del ave (Carvalho *et al.*, 2006; Rousseau *et al.*, 2016).

Las fuentes inorgánicas de P comúnmente usadas en los piensos avícolas son: fosfatos monocalcicos (MCP), fosfatos monodicalcicos (MDCP) y fosfato dicálcico (DCP). El proceso de obtención del DCP radica en digerir la roca fosfórica con un ácido fuerte (HCl o H₂SO₄) dando lugar al fosfato cálcico, al cual se hará precipitar con una fuente de Ca (CaCO₃) a altas temperaturas. Dicho proceso dará lugar a una sal cálcica y un fosfato dicálcico dihidratado cuyo porcentaje de P varía entre 17 y 18%. En general los procesos que utilizan HCl requieren de temperaturas inferiores a los que emplea el H₂SO₄. Los DCP pueden a su vez reaccionar con el ácido fosfórico sobrante del proceso anterior y derivar según las condiciones del mismo a MCP

o MDCP más puros, los cuales pueden llegar a contener hasta más de 20% de P (FEDNA, 2016).

En este contexto es importante realizar un monitoreo de la biodisponibilidad de la fuente de fosfato inorgánico seleccionado, para lo cual se puede comprobar de forma indirecta por medio de los parámetros productivos (ganancia de peso, conversión de alimento, etc.), valores relacionados al desarrollo óseo a nivel de la tibia (el hueso más largo y pesado en el ave), así como también con los niveles de mineralización de dicho hueso. (FEDNA, 2016; Lima, 2016; Aguilar *et al.*, 2018). Todo este proceso se realiza ya que una deficiencia de P tendría una acción negativa sobre la performance productiva. Esto lleva a que muchos nutricionistas agreguen este ingrediente con un margen de seguridad, aumentando así el contenido de este mineral en las excretas y con ello sus efectos negativos en lagos, arroyos, humedales, los cuales pueden causar la eutrofización de aguas superficiales a nivel mundial. Además, se conoce que aproximadamente un 10% de la producción mundial de P se destina a la producción de fosfatos, y desde 1989 se sabe que es un recurso no renovable y cada vez más escaso. Debido a ello, la oferta de estas fuentes ha disminuido y por ello su costo se ha elevado (Godoy y Chicco, 2008).

Con base a lo antes mencionado el presente estudio utilizó la base de datos obtenida del proyecto: “comportamiento productivo, características morfométricas e indicadores de mineralización ósea a nivel de tibia en pollos de carne a los 21 días de edad, alimentados con 5 diferentes fuentes comerciales de fosfatos inorgánicos”, para comparar las fuentes y ver si existe diferencia significativa en los resultados de las variables evaluadas entre las cinco diferentes fuentes de fosfatos inorgánicos que se encuentran comercialmente en nuestro país para pollos de carne de 1 a 21 días de edad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación y duración del estudio

El proyecto “Comportamiento productivo, características morfométricas e indicadores de mineralización ósea a nivel de la tibia en pollos de carne de 21 días de edad, alimentados con 5 diferentes fuentes comerciales de fosfatos inorgánicos”, del cual se ha utilizado la base de datos, se realizó en el Estación Experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootécnica de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (FAVEZ – UPCH), ubicado en el distrito de Lurín. Tuvo una duración de 21 días y fue desarrollado entre los meses de agosto y setiembre del año 2018. En esas fechas se tuvo una temperatura promedio de 19°C - 20°C. La eutanasia de los animales se realizó en el mismo centro experimental, mientras que el procesamiento de las muestras se llevó a cabo en la sala de práctica 2 de la FAVEZ – UPCH y el análisis de ceniza, calcio y fósforo se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Animales experimentales

El proyecto empleó 300 pollos BB machos de un día de edad de la línea Cobb 500, provenientes de un mismo lote de reproductoras y fueron vacunados vía aspersión y subcutánea en planta de incubación contra las siguientes enfermedades Marek, Gumboro, Newcastle, Bronquitis y Laringotraqueitis.

Alojamiento de las aves

Las aves se alojaron en jaulas metálicas de malla galvanizada (baterías) de cinco pisos y dos divisiones por piso, con comederos lineales ubicados en la parte externa de cada corral y bebederos tipo tongo ubicados en el interior de cada corral. La temperatura se manejó por medio de campanas calefactoras, se midió por medio de un termohigrómetro digital ambiental y se mantuvo entre los rangos de (32 – 21 C) dependiendo de la edad biológica y asegurando el confort del animal. Así mismo la ventilación se manejó por medio de cortinas, teniendo como base las recomendaciones de crianza de la línea genética (Cobb, 2014).

Programa de alimentación

Las dietas para el presente estudio fueron formuladas siguiendo las recomendaciones de las Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos (Rostagno, 2017). Se formuló una dieta control para pollos broilers de 1 a 21 días de edad con un nivel de 2900 Kcal de energía metabolizable, 20 % de proteína cruda, 0.9 % de calcio y 0.45 % de fósforo disponible, teniendo como fuente de fósforo inorgánico al fosfato monosódico (P = 25 %). La inclusión de las otras fuentes de fósforo se realizó con base a la recomendación de cada proveedor (hoja técnica del producto). Además, se añadió cascarilla de arroz como material inerte para llegar al 100% del total de la dieta (tratamiento). (Anexo1)

El experimento no considero la adición de enzimas como fitasa, proteasa, carbohidrasas en el alimento, porque estos aditivos enzimáticos mejoran la digestibilidad de los insumos que conforman la dieta y pueden enmascarar el efecto de la fuente de fosfato sobre el rendimiento productivo de las aves. El balance electrolítico de los diferentes tratamientos (T1 al T6) se encontró en un rango entre 248 a 285 meq/Kg de alimento, por tal motivo no se redujo la cantidad de sal, ni el bicarbonato en la dieta con fosfato monosódico.

El agua de bebida fue clorada (3 ppm de cloro) y se administró de forma *ad libitum*. Por otro lado, cabe mencionar que no se presentó ningún cuadro tóxico (micotoxinas), ni de enfermedad durante el desarrollo de la crianza, por tal razón no se presentó mortandad alguna durante el transcurso del estudio.

Tratamientos experimentales

Cada fuente de fósforo inorgánico (n = 5) fue un tratamiento más un control (fosfato monosódico), en total se evaluaron 6 tratamientos con 10 repeticiones cada una. Por cada tratamiento se alojaron 50 aves y por cada repetición 5 aves que formaron una unidad experimental alojadas en un corral de 0.5 x 0.7 m. La densidad de crianza empleada en el estudio fue menor a 30 kg de peso vivo por m². La distribución de las aves en los tratamientos y repeticiones fue al azar. (Anexo2)

Tratamientos:

T1: Fosfato Monosódico - Grado alimenticio	(MNaP)	(25.0 % P – 0 % Ca)
T2: Fosfato Dicálcico	(DCP)	(18.5 % P – 26 % Ca)
T3: Fosfato Monodicálcico	(MDCP1)	(21.5 % P – 26 % Ca)
T4: Fosfato Monodicálcico	(MDCP2)	(21.0 % P – 15 % Ca)
T5: Fosfato Monocálcico	(MCP1)	(22.3 % P – 14 % Ca)
T6: Fosfato Monocálcico	(MCP2)	(22.7 % P – 15 % Ca)

Mediciones realizadas

Parámetros productivos:

Ganancia de peso total

Para la obtención de la ganancia de peso total se pesaron a las aves (todas las aves que conforman una repetición) al inicio y al final de cada semana, por tres semanas seguidas. Para ello se empleó una balanza digital con capacidad de 5 kg de peso. El pesaje de las aves se hizo a primera hora del día (7 am), y antes de repartir el alimento.

La ganancia de peso total se obtuvo restando el peso final total de la última semana con el peso total inicial de todas las aves de cada repetición.

$$- \text{ Ganancia de peso total} = \text{peso final} - \text{peso inicial}$$

Consumo de alimento total

Para determinar el consumo de alimento se pesó el alimento suministrado a cada repetición al inicio del día y el alimento sobrante del día anterior, restando ambos datos se obtuvo el consumo de alimento total por repetición

$$- \text{ Consumo de alimento total} = \text{alimento suministrado} - \text{alimento sobrante}$$

Índice de conversión de alimento

El índice de conversión alimenticia se obtuvo con la división de los datos de consumo de alimento total con ganancia de peso total

$$- \text{ Índice de conversión de alimento} = \text{consumo de alimento total} / \text{ganancia de peso total.}$$

Procedimientos para la obtención de huesos

La eutanasia de las aves se realizó por medio de la aplicación de pentobarbital sódico, a nivel de la unión atlanto – occipital a razón de 130 mg/ave, correspondiente a 3 veces la dosis requerida como anestésico, por medio de una jeringa de 3ml con una aguja de calibre 21G.(DGXI de la Comisión Europea, 1986) Una vez lograda y verificada la muerte del ave, se procedió a retirar ambas piernas (derecha e izquierda) de cada ave que integraba una repetición. Luego se identificaron y aislaron ambas tibias, para posteriormente ser colocadas en una malla mosquitera. Luego se introdujeron en agua hirviendo por un tiempo promedio de 15 minutos para retirar los tejidos cartilagosos y blandos de modo manual. Esto permitió retirar la grasa contenida en los huesos. A continuación, se procedió a limpiar con papel toalla y colocar los huesos en un recipiente de plástico. Una semana después se hicieron las mediciones respectivas. Con ayuda de una balanza gramera digital con 0.000g de capacidad de medida, un vernier digital, una probeta graduada y una regla se procedió a tomar los datos de morfometría de tibia (peso, largo, volumen y diámetro).

Con los datos obtenidos se procedió a calcular lo siguiente:

- Densidad ósea = peso del hueso / volumen del hueso.
- Índice de robusticidad = largo del hueso / peso del hueso elevado a la potencia 1/3.
- Índice de Seedor = peso del hueso /largo del hueso.
- Índice de Quetelet =peso del hueso/ longitud del hueso al cuadrado de este.

Posterior a ello, las tibias izquierdas fueron rotuladas y colocadas en una bolsa con cierre hermetico para su posterior análisis de ceniza, calcio y fósforo en el laboratorio por medio de un espectrofotómetro de absorción atomica.

Análisis estadístico

Se empleo un diseño completamente al azar (DCA) con 6 tratamientos, 10 repeticiones y 5 aves por repetición. Los datos obtenidos se analizaron con el programa estadístico Minitab (2017) ®. Para el caso de las mediciones paramétricas se evaluó la normalidad y homogeneidad de varianza, luego de cumplir los supuestos, se determinó el análisis de varianza de una sola vía (ANOVA). Para las mediciones no paramétricas se empleó la prueba de Kruskal Wallis. La diferencia entre medias se determinó por la prueba de Tukey considerando una significancia del 5%.

RESULTADOS

Los resultados del estudio muestran que no existió diferencia en el comportamiento productivo por efecto de los tratamientos. Sin embargo, para la ganancia de peso y conversión de alimento, parámetros de importancia al evaluar el desempeño productivo de las aves, se observó una tendencia a que los tratamientos T2 y T3 alcancen mejores resultados al obtener una ganancia de peso de 884.90 g/ave y 877.50 g/ave respectivamente, y valores más bajos en conversión de alimento, siendo estos 1.49 y 1.50 respectivamente. El detalle de los resultados para estas variables se presenta en el cuadro 1.

Los resultados de las mediciones de las características morfométricas a nivel de la tibia derecha no mostraron diferencia para las variables de peso y volumen entre los tratamientos evaluados, pero sí en las variables largo ($P<0.05$) y diámetro de diáfisis ($P<0.05$). A la evaluación del largo de tibia, el T1 obtuvo el valor más elevado (66.5 mm) y los tratamientos 2 y 4 mostraron los menores valores (63.9 y 64.3 mm). Por otro lado, El T3 presentó el mayor valor a la evaluación del diámetro de diáfisis en la tibia (6.2 mm) en comparación con los tratamientos 1, 2 y 4 quienes dieron como resultado menores valores (5.79 y 5.96 mm). El detalle se presenta en el cuadro 2.

La evaluación de la mineralización de tibia derecha, si bien no se encontró diferencia para el índice de Seedor, ni para la resistencia de tibia, si se logra observar diferencia para las variables de densidad ($p<0.05$) e índice de robusticidad ($p<0.05$). La densidad de la tibia encontró el valor más elevado para el T4 (1275.2mg/cm³) en comparación los otros tratamientos, y que el T1 mostró el mayor valor a la evaluación del índice de robusticidad (4.11 mm) en comparación a los otros tratamientos evaluados. El detalle de estos resultados se presenta en el cuadro 3.

Los resultados del porcentaje de ceniza, calcio y fósforo de la tibia izquierda de pollos de carne de 21 días de edad se muestran en detalle en el cuadro 4. No se encontró diferencia ($p<0.05$) en el porcentaje de ceniza pero si en los porcentajes de calcio y fósforo, siendo los grupos T3 (24.2%) y T2 (10.2%) los que obtuvieron los valores más elevados.

Cuadro 1. Parámetros productivos en pollos de carne a los 21 días de edad alimentados con diferentes fuentes de fósforo inorgánico.

Variable	TRATAMIENTO*						Promedio general
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	
	MNaP	DCP	MDCP1	MDCP2	MCP1	MCP2	
Peso inicial, g/ave ¹	46.1	46.9	45.6	46.7	46.6	45.8	46.3
Peso final, g/ave	886.6	931.8	923.1	883.7	886.6	893.1	900.8
Ganancia de peso total, g/ave	840.5	884.9	877.5	837.0	840.0	847.3	854.5
Consumo total de alimento, g/ave	1299.3	1327.3	1307.0	1333.5	1323.4	1328.0	1319.7
Índice de conversión de alimento g/g	1.6	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5

*T1= P, 25%; T2 = P, 18.5; T3 = P, 21.5; T4 = P, 21; T5 = P, 22.3; T6 = P, 22.7

¹ Valores son promedios de 10 repeticiones de 5 aves cada una (50 aves por tratamiento).

Cuadro 2. Características morfométricas de tibia derecha en pollos de carne de 21 días de edad alimentados con diferentes fuentes de fósforo inorgánico

Variable	TRATAMIENTO*						Promedio general
	T 1 MNaP	T 2 DCP	T 3 MDCP1	T 4 MDCP2	T 5 MCP1	T 6 MCP2	
Peso, mg ¹	4216.8	4190.9	4323.0	4388.8	4380.8	4449.7	4325.0
Largo, mm	66.5 ^a	63.9 ^b	65.3 ^{ab}	64.3 ^b	65.1 ^{ab}	65.0 ^{ab}	65.0
Diámetro de diáfisis, mm	5.7 ^b	5.9 ^b	6.2 ^a	5.9 ^b	5.9 ^{ab}	6.0 ^{ab}	6.0
Volumen, cm ³	3.5	3.5	3.7	3.4	3.5	3.7	3.5
Índice de forma, mm	11.4 ^a	10.7 ^b	10.4 ^b	10.8 ^b	10.8 ^b	10.7 ^b	10.8

* T1= P, 25; T2 = P, 18.5; T3 = P, 21.5; T4 = P, 21; T5 = P, 22.3; T6 = P, 22.7

¹ valores son promedios de 10 repeticiones de 5 aves cada una (50 aves por tratamiento).

^{ab}valores con letras diferentes difieren significativamente ($p < 0.05$).

Cuadro 3. Indicadores de mineralización de tibia derecha en pollos de carne de 21 días de edad alimentos con diferentes fuentes de fósforo

Variable	TRATAMIENTO*						Promedio general
	T 1 MNaP	T 2 DCP	T 3 MDCP1	T 4 MDCP2	T 5 MCP1	T 6 MCP2	
Densidad, mg/cm ³ ⁽¹⁾	1176.1 ^b	1195.7 ^{ab}	1164.1 ^b	1275.2 ^a	1229.5 ^{ab}	1194.4 ^{ab}	1205.8
Índice de Seedor, mg/mm	63.4	65.4	66.1	68.1	67.1	68.4	66.4
Índice de Quetelet, g/mm ²	0.9 ^b	1.0 ^{ab}	1.0 ^{ab}	1.0 ^a	1.0 ^{ab}	1.0 ^a	1.0
Índice de Robusticidad, mm	4.1 ^a	3.9 ^b	4.0 ^{ab}	3.9 ^b	3.9 ^b	3.9 ^b	3.9
Resistencia de tibia, Kg/cm ²	32.3	34.0	35.2	35.0	35.9	37.1	34.9

*T1= P, 25; T2 = P, 18.5; T3 = P, 21.5; T4 = P, 21; T5 = P, 22.3; T6 = P, 22.7

⁽¹⁾ Valores son promedios de 10 repeticiones de 5 aves cada una (50 aves por tratamiento).

^{ab}Valores con letras diferentes difieren significativamente ($p < 0.05$).

Cuadro 4. Porcentaje de ceniza, calcio y fósforo en la tibia izquierda en pollos de carne de 21 días de edad alimentados con diferentes fuentes de fósforo

Variable	TRATAMIENTO*						Promedio general
	T 1 MNaP	T 2 DCP	T 3 MDCP1	T 4 MDCP2	T 5 MCP1	T 6 MCP2	
Ceniza (%) ¹	51.7	52.3	51.4	51.4	51.9	51.9	51.8
Calcio (%)	18.5 ^{ab}	22.3 ^a	24.2 ^a	22.7 ^a	15.8 ^b	20.2 ^{ab}	20.6
Fósforo (%)	9.8 ^{ab}	10.2 ^a	9.4 ^{ab}	8.1 ^c	9.4 ^{ab}	9.2 ^{ab}	9.3

*T1= P, 25; T2 = P, 18.5; T3 = P, 21.5; T4 = P, 21; T5 = P, 22.3; T6 = P, 22.7

⁽¹⁾ Valores son promedios de 10 repeticiones de 5 aves cada una (50 aves por tratamiento).

^{ab}Valores con letras diferentes difieren significativamente ($p < 0.05$).

DISCUSIÓN

Los resultados generados en el presente estudio brindaran una buena alternativa de fuente de fosfato comercial para toda racion formulada en las granjas avícolas, permitiendo asi el correcto crecimiento y desarrollo del esqueleto en los pollos de carne y con ello garantizar su óptima productividad. De las variables evaluadas; los valores obtenidos a la evaluación del rendimiento zootécnico, no hubo diferencia estadística entre los tratamientos evaluados. Los resultados del estudio guardan relación con lo reportado por Hamdi, Sola, Franco, Aligue, Pérez, (2017), quienes compararon el efecto de diferentes fuentes de fosfatos inorgánicos (DCP vs MCP) y lo encontrado por Lima, Mendoca, Alvarez, Garzillo, Guion, Leal (1997), quienes evaluaron siete diferentes fuentes de DCP vs un MNaP. En ambos estudios no se encontró diferencia estadística al evaluar el comportamiento productivo en pollos de carne a los 21 días de edad.

Los datos obtenidos de cada característica productiva son menores con respecto a los datos que menciona la línea genética (Cobb, 2014). Debido al menor nivel energético de la dieta, con lo cual el ave consumió más alimento en comparación al estándar de la línea. Según Cobb, los parámetros productivos a los 21 días de edad deberían ser: Peso, 971g; consumo total de alimento, 1228 g; conversión acumulada de alimento, 1.36 g/g, lo cual demuestra una diferencia de +7.3%, -7.4% y -13% con respecto a los resultados obtenido en el presente estudio (Cobb, 2014).

La energía del alimento juega un rol importante en el consumo de alimento, entendienddo que las aves consumen alimento hasta saciar su requerimiento de energía, aves alimentas con dietas con menor aporte de energía consumen más alimentos en comparación con las aves que consumen alimento con mayor aporte de energía (Leeson & Summer, 2001).

Por otro lado, los resultados de las mediciones de características morfométricas a nivel de la tibia derecha no mostrarón diferencia estadística en las variables de peso y volumen entre los tratamientos evaluados, pero sí se encontró diferencia estadística en las variables largo ($P < 0.05$) y diámetro de diáfisis ($P < 0.05$). Los resultados en el estudio guardan relación con el obtenido por Hamdi *et al.* (2017) con respecto a la variable peso de tibia en pollos de carne a los 21 días de edad, en donde no encontraron inferencia estadística con relación a la fuente de P en el alimento. En un estudio realizado por Mabelebele, Norris D, Siwendu, Ambi, Alabi, Mbajjorgu (2017) donde evaluaron los parámetros morfométricos a nivel de femur y tibia en pollos indigenos (Venda Chicken) y pollos de carne (Ross 308), encontraron por medio de un estudio de regresión polinomial que más del 90% entre largo y peso de tibia guarda relación al peso de

carcasa, con lo cual se puede decir que el largo y peso de tibia tiene una relación con la ganancia de peso en el pollo de carne. Sin embargo, en el presente estudio no se determinó dicha relación.

En el caso de los resultados para las variables evaluadas para determinar la mineralización de tibia derecha coinciden con el estudio realizado por Lima *et al.* (1997), en donde los investigadores no reportaron diferencia estadística a la variable resistencia de tibia con relación a las fuentes de fosfatos suplementados en la dieta, lo cual concuerdan con nuestro resultado. Cabe señalar que el índice de Seedor tiene relación con la densidad del hueso, a mayor este índice, mayor será la densidad del hueso. En cambio, el índice de robusticidad nos indica que a menor este índice, el hueso es más fuerte (Mabelebele *et al.*, 2017). Sin embargo, Aguilar, Zea, Vílches (2018), menciona que la densidad es el valor más importante a la evaluación indirecta de la mineralización ósea.

En un estudio realizado por Gillis, Edwards, Young (1962) y citado por (Hamdi *et al.*, 2017), encontraron una mayor disponibilidad del P en la fuente de MCP en comparación con el DCP, los autores mencionan que la diferencia en disponibilidad del P se debe al grado de hidratación de la fuente de fosfato, siendo más disponibles las fuentes hidratadas en comparación con las fuentes anhídridas (sin agua).

A pesar de que los huesos pueden mostrar diferentes respuestas según el tipo de fosfato, este valor no se puede emplear directamente como medida de disponibilidad del P, porque a pesar de encontrar una correlación significativa entre el contenido de cenizas en huesos y P retenido, esta correlación es baja ($r = 0.7$) y no dan suficiente sustento para poder recalcular la disponibilidad de P a partir de los datos obtenidos de los huesos (Rodehutschord, 2011). No obstante lo que puede ayudar es el contenido de P en los huesos individuales, el cual si puede ser representativo del contenido de P corporal. Por esta razón, se puede mencionar el estudio realizado por Shastak, Witzing, Rodehutschord (2012), quienes mencionan que incrementos en el P de la tibia en 1 mg corresponde con aumentos del P corporal en 17.7 mg, pero para ello se debe emplear dietas con un contenido bajo de P (P no fítico de 0.35). Por lo antes mencionado, los cambios en el contenido de P de la tibia pueden ser adecuados para predecir cambios en la retención de P corporal a la hora de evaluar las diferentes fuentes de fosfato que existen en el mercado.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se llevo a cabo el presente estudio, se concluye que:

- Las fuentes de fosfatos inorgánicos no tuvieron un efecto directo sobre los parámetros productivos cuando el nivel de P disponible se encontraba en un nivel de 0.45 % del total de la dieta.
- El DCP presentó un mayor porcentaje de P a nivel de la tibia en comparación con las otras fuentes evaluadas.

LITERATURA CITADA

- Aguilar J, Zea O, Vílchez C. 2018. Rendimiento productivo e integridad ósea de pollos de carne en respuesta a suplementación dietaria con cuatro fuentes de fitasa comercial. Rev Inv Vet Perú 29(1):169-179.
- Carvalho de Oliveira R, da Fontoura L, Abreu E, Oliveira B, Russo S, Beletti M. 2006. Bone histomorphometry of broilers submitted to different phosphorus sources in growing and finisher rations. Pesq Agropec Bras 41(10):1517-1523.
- Cobb - Vantress. 2014. Manual de crianza Cobb 500. Disponible en: <http://www.cobb-vantress.com/es/products/cobb-500>
- Contreras Simon, Gutierrez Nadia, Osorio Luis. 2018. Producción y comercialización de Productos Avícolas. Boletín Estadístico Mensual Del Ministerio de Agricultura y Riego, 4, 7-8.
- [FEDNA]. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 2016. Fuentes de Fósforo. España. Recuperado de http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/fuentes-de-f%C3%B3sforo
- Gillis MB, Edwards HM, Young RJ Jr, 1962. Studies on the availability of calcium orthophosphates to chickens and turkeys. J Nutr 78: 155-161
- Godoy. S y Chicco.C. 2008. Fuentes de Fósforo Alternativas en la Nutrición de Aves. X Congreso Internacional de Avicultura. Maracaibo- Venezuela.
- Hamdi M, Solà – Oriol D, Franco – Roselló R, Aligué – Alemany R, Pérez J. 2017. Comparison of how different feed phosphates affect performance, bone mineralization and phosphorus retention in broilers. Spanish journal of Agricultural Research 15(3) e0605.
- Lambert W, van Krimpen M, Star L. 2014. Phosphorus requirement in laying hens. Schothorst Feed Reserch. Report N° 1326-2.

- Leeson S. y Summers J.D. (2001). Nutrition of the chicken. 4ta Ed. University Books. Ontario – Canada.
- Lima. Cristiane. 2006. Fósforo disponible para frangos de corte em fosfatos para alimentação animal. Universidade de São Paulo. Pirassununga- Brasil.
- Lima F.R, Mendoca J.R, Alvarez J.C, Garzillo J.M.F, Guion E, Leal P.M. 1997. Biological evaluation of commercial dicalcium phosphates as source of available phosphorus for broiler chicks. *Poult Sci* 76:1707-1713.
- Mabelebele M, Norris D, Siwendu N.A, NG` Ambi J.W, Alabi O.J, Mbajiorgu C.A. 2017. Bone morphometric parameters of tibia and femur of indigenous and broiler chicken reared intensively. *Appl Ecol Environ Res* 15(4):1387-1398.
- Minitab® 17. 2016. Introducción a Minitab 17. USA. Minitab Inc. 86p.
- [MINAGRI] Ministerio de Agricultura y Riego. Boletín Estadístico Mensual de la Producción y comercialización de Productos Avícolas. 2019. Disponible en: <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=noticias/boletin-estadistico-mensual-de-la-produccion-y-comercializacion-avicola>.
- Patiño R, Barragan W, Vergara O, Maza L. 2012. Mecanismos reguladores de la absorción de fósforo. *Rev Colombiana Cienc Anim* 42(2):473-497.
- Peceros G, Zea O, Vílchez C. 2016. Efecto de dietas suplementadas con fitasa y 25-hidroxicolecalciferol sobre el comportamiento productivo, mineralización e integridad de las tibias en pollos de carne. *Rev Inv Vet Perú* 27(3): 495-504.
- Proszkowiec – Weglarz M, Angel R. 2013. Calcium and phosphorus metabolism in broilers: Effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility. *J Appl Poult Res* 22:609-627.
- Rodehutschord M. 2011. Avances en la valoración de fósforo en aves. XXVII Curso de especialización FEDNA. Madrid.

- Monika Proszkowiec-Weglarz y Roselina Angel (2013). Calcium and phosphorus metabolism in broilers: Effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility. *J. Appl. Poult. Res.* 22:609–627
- Rostagno, H. (2017). Tablas brasileñas para aves y cerdos. Disponible en: <https://eliasnutri.files.wordpress.com/2012/04/tablas-brasilec3b1as-aves-y-cerdos-cuarta-edicion-2017-1.pdf>
- Rousseau. X, Valable. A, Létourneau. M, et al. 2016. Adaptive response of broilers to dietary phosphorus and calcium restrictions. *Poultry Science*, Vol 95, p. 2849–2860.
- Shastak Y, Witzing M, Rodehutsord M. 2012. Whole body phosphorus to tibia phosphorus ratio in broilers. *Arch.Geflugelk* 76(4):217-222.
- Uculmana. Cristian. 2015, Efecto de la Relación Calcio: Fosforo disponible sobre el crecimiento alometrico, mofometria, integridad y mineralizacion ósea en pollos de engorde. Universidad Agraria La Molina. Lima -Perú.

ANEXO

Anexo 1.. Composición de las dietas experimentales

INSUMO	TRATAMIENTO					
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6
Maíz molido 7% PC	47.50	47.50	47.50	47.50	47.50	47.50
Torta de soya 46% PC	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
Soya integral 35% PC	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
Aceite vegetal	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Fosfato inorgánico	1.47	1.77	1.53	1.57	1.47	1.45
Carbonato de calcio 38%	2.02	0.81	0.98	1.41	1.48	1.45
Sal industrial	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
Óxido de cromo	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
DL- Metionina 99%	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
Bicarbonato de sodio	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Secuestrante micotoxinas	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Colina 60%	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Premix vitamina – mineral	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Promotor natural	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Fungicida	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
HCl – Lisina 78%	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Antioxidante	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Cascarilla	0.22	1.12	1.19	0.72	0.75	0.80
TOTAL	100	100	100	100	100	100

Anexo 2. Valor nutricional calculado de los tratamientos

VALOR NUTRICIONAL	TRATAMIENTO					
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6
Humedad, %	13.23	13.17	12.87	12.95	13.21	13.22
Proteína, %	23.73	25.02	24.72	23.74	23.57	23.92
Grasa, %	6.69	6.75	6.46	6.61	6.64	6.53
Fibra, %	2.57	2.74	2.93	2.78	2.89	3.06
Cenizas, %	6.59	6.28	6.25	6.24	6.30	5.99
ELN, %	47.19	46.04	46.77	47.68	47.39	47.28
Calcio, %	0.99	0.95	1.01	1.01	0.93	0.99
Fósforo, %	0.76	0.73	0.76	0.76	0.76	0.76
BE, meq*	285	248	248	248	248	248

*BE: Balance electrolítico