

Evaluación de la fosforita del yacimiento Trinidad de Guedes (FTG) como fuente potencial de fósforo para gallinas ponedoras

A. Acosta, Esmeralda Lon-Wo, Mayra Cárdenas y Mabel Almeida

Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, La Habana

Correo electrónico: aacosta@ica.co.cu

Con el objetivo de evaluar el yacimiento Trinidad de Guedes (FTG) como fuente potencial de fósforo para la producción de huevos en gallinas ponedoras y sustituir la fuente de importación fosfato dicálcico (FDC) se realizaron tres experimentos: 1) determinación de la composición química del fosfato, 2) evaluación de la solubilidad de fósforo y 3) estudios del comportamiento productivo y del metabolismo mineral. La caracterización química comprendió las determinaciones de P, Ca, Na, Fe, Al y F en diez muestras tecnológicas del fosfato. La evaluación de la solubilidad se realizó por técnicas *in vitro*: solubilidad en ácido cítrico 2 % y solubilidad en líquido ruminal. Para los estudios del comportamiento productivo y metabolismo se utilizaron 288 gallinas ponedoras de 24-66 semanas de edad. Los tratamientos consistieron en la sustitución total del fosfato dicálcico importado (FDC) por el FTG a través de niveles de sustitución de: 0, 50, 75 y 100 %. La composición química del FTG resultó muy similar al FDC, con valores aceptables de F (1.34 %) y niveles permisibles de Fe (1080 mg/kg) y Al (1.32 %). La solubilidad resultó similar entre ambas fuentes de fósforo (98.11 y 98.86 %) y la técnica del ácido cítrico fue la más precisa. El comportamiento productivo no mostró diferencias al incluir 100% de la fuente en estudio, pero se obtuvo mejor proporción integral de huevos rotos (0.19 %), cascados (0.4 %) y blandos (0.06 %). Igualmente, el metabolismo mineral indicó buena relación Ca:P, ya que no se alteraron los indicadores del metabolismo del fósforo. Se concluye que es factible la sustitución total de la fuente de fósforo importada por el FTG y se recomienda su utilización por ser un producto nacional.

Palabras clave: *fuentes de fósforo, gallinas ponedoras, metabolismo mineral, comportamiento productivo*

El fósforo (P) constituye el componente mineral más costoso en la nutrición avícola, donde representa del 2 al 2.5 % del costo total de la ración. Su importancia está muy bien fundamentada por las funciones que desempeña en el organismo animal (Lehninger 1994). Sin embargo, en las aves, su presencia en los granos y cereales en forma de fitato (70 %) obliga a la suplementación con fuentes inorgánicas. Estas, además de encarecer el costo contribuyen a la contaminación ambiental. Para resolver este problema, a nivel internacional son numerosos los estudios que sugieren diversas alternativas. Entre estas se destacan la acidificación de las dietas (Chapman 1988 y Vargas *et al.* 2002), la adición de enzimas fitasas (Zyla *et al.* 2000) y el uso de fuentes minerales nacionales (Camps 1985 y Sullivan *et al.* 1994).

En Cuba se han estudiado algunas fuentes minerales nacionales de menor costo. Camps y Tapia (1985) evaluaron la fosforita de Loma de Candela y la roca fosfórica. Sin embargo, la presencia de minerales potencialmente tóxicos (F, Pb), de elementos contaminantes e impurezas limitó la utilización de estas fuentes para la alimentación de las aves (Camps 1985). No obstante, la Empresa Geominera continuó el trabajo de mejoramiento de estos yacimientos. Actualmente, la sucursal de Occidente desarrolla una fuente de fósforo a partir de la fosforita del Yacimiento Trinidad de Guedes, en el municipio Unión de Reyes, provincia Matanzas. Esta posee bajos niveles de flúor y aceptables valores de P (21-23%). El yacimiento se encuentra georeferenciado y la prospección geológica para los niveles actuales de extracción (10000 t/año) sugiere volúmenes suficientes para 50 años de explotación. El costo de producción es de aproximadamente 49.60 USD/t y solo se emplea como materia prima de la

empresa Rayonitro para la producción de fertilizantes (EGO 2008).

Por lo expuesto acerca del fósforo y de su impacto en la alimentación de las aves, y al considerar el bajo costo de este producto, sus bajos niveles de elementos tóxicos y su disponibilidad de explotación, la fosforita del yacimiento Trinidad de Guedes (FTG) pudiera ser una fuente potencial de fósforo para la alimentación de las aves.

Este estudio se realizó para evaluar una muestra tecnológica de la fosforita procedente del yacimiento Trinidad de Guedes (FTG) como fuente de fósforo potencial para la producción de huevos en gallinas ponedoras y sustituir la fuente de importación fosfato dicálcico (FDC).

Materiales y Métodos

Se determinó la composición química de la fosforita Trinidad de Guedes, se evaluó su solubilidad por dos técnicas *in vitro* y se estudió el comportamiento productivo y el metabolismo mineral en gallinas ponedoras.

Experimento 1. Caracterización química del FTG. Para determinar la composición química del FTG se tomaron diez muestras tecnológicas de diferentes lotes de beneficio del fosfato y se les determinó: fósforo, sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca), fluor (F), óxido de aluminio (Al_2O_3) y el hierro metálico (Fe). Los datos se analizaron según estadística descriptiva, para ello se empleó el sistema de cómputo de datos IFOSTAT (2001).

Experimento 2. Evaluación de la solubilidad del fósforo por técnicas in vitro (solubilidad con ácido cítrico al 2%). Se realizó conforme al método propuesto por Sindirações (2005) y Sakomura y Rostagno (2007).

Se tomaron 8 muestras de 1 g de cada fosfato (FTG y FDC) y se transfirieron a un balón de 250 mL. Posteriormente, se adicionaron 100 mL de una solución de ácido cítrico al 2 % y se agitó por 30 min. Después se completó el volumen, se homogenizó y se filtró la solución. Posteriormente, se determinó el P en una muestra del filtrado. De forma paralela se preparó un blanco. El procedimiento para la determinación de P se realizó por espectrometría, según la técnica descrita por AOAC (2000).

Solubilidad en fluido ruminal. Se siguió el procedimiento planteado por Rostagno *et al.* (1993) y Sakomura y Rostagno (2007). Se recolectó el líquido ruminal de dos toros adultos fistulados en el rumen. Estos animales recibieron una dieta básica de forraje de King grass. El líquido ruminal se filtró y se distribuyó en tubos plásticos (25 mL por tubo, juntamente con 25 mL de solución tampón pH 6.9). A cada tubo (8 para cada fosfato) se adicionó 200 mg de las fuentes de fósforo en estudio (FTG y FDC). Se incubaron a 40 °C durante 24 h. Posteriormente, se centrifugó a 2 500 rpm y nuevamente se filtró para determinar el P por espectrofotometría (AOAC 2000). Paralelamente se analizaron las muestras en blanco que contenían solo el líquido ruminal, con el objetivo de determinar las cantidades de P soluble. En ambas técnicas, los valores de P soluble se estimaron mediante la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de P soluble} = \frac{\text{P en el filtrado de la muestra testigo} - \text{P en el filtrado de la muestra blanco}}{\text{P adicionado}}$$

Los datos se analizaron de acuerdo con estadística descriptiva. La comparación entre medias se realizó según Duncan (1955). Se empleó el sistema de cómputo de datos IFOSTAT (2001).

Experimento 3. Evaluación del comportamiento productivo y del metabolismo mineral. Se utilizaron 288 gallinas ponedoras White Leghorn de la línea L₃₃ durante 42 semanas de puesta (24 a 66 semanas de edad). Se alojaron en jaulas metálicas, a razón de 2 aves/batería y se sometieron a similares condiciones de manejo y alimentación con suministro de agua a voluntad y de pienso controlado (110 g/ave/d). La tabla 1 muestra la composición y aporte de nutrientes (bh) de las dietas empleadas.

Los tratamientos consistieron en un testigo referencial, con 0 % de FTG ó 100 % de fosfato dicálcico (FDC) y niveles de sustitución de 50, 75 y 100 % de FTG, respectivamente para determinar su nivel de inclusión. Los indicadores productivos calculados fueron: peso del huevo en diferentes semanas (29, 34, 49 y 54), intensidad de puesta, conversión masal, conversión alimentaria por decena de huevos, mortalidad y producción de huevos por ave alojada.

Evaluación de los indicadores de calidad externa del huevo. Como indicadores de calidad externa del huevo se controló la resistencia a la ruptura (kg F/cm²)

Tabla 1. Composición y aporte de las dietas empleadas

| Materias Primas, % | Fosfato Trinidad de Guedes, % | | | |
|---|-------------------------------|-------|-------|-------|
| | 0 | 50 | 75 | 100 |
| Harina de maíz | 57.82 | 57.58 | 58.62 | 58.43 |
| Harina de soya | 29.2 | 29.74 | 28.72 | 28.74 |
| Aceite vegetal | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| FTG | 0.0 | 0.52 | 0.94 | 1.70 |
| FDC | 1.58 | 0.79 | 0.39 | 0.00 |
| Carbonato de calcio | 8.21 | 8.18 | 8.18 | 7.94 |
| Sal común | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| Premezcla vitaminas (1) - minerales (2) | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Metionina | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| BHT | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| Zeolita | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Colina | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| Análisis calculado, % | | | | |
| EM MJ/kg | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 11.4 |
| PB | 16.5 | 16.5 | 16.5 | 16.6 |
| Ca | 3.56 | 3.55 | 3.55 | 3.55 |
| Pd | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 |
| Met + Cist | 0.64 | 0.65 | 0.64 | 0.64 |
| Triptófano | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 |
| Na | 0.15 | 0.16 | 0.17 | 0.19 |
| F, ppm | - | 70.0 | 127.0 | 228.0 |

(1) Suplemento vitamínico (kg de dieta): vitamina A, 12000 UI; vitamina D₃, 2500 UI; vitamina E, 5 mg; vitamina K₃, 4.6 mg; tiamina, 1.5 mg; riboflavina, 5 mg; piridoxina, 4 mg; vitamina B₁₂, 12.4 µg; ácido nicotínico, 20 mg; pantotenato de Ca, 10 mg; ácido fólico, 0.500 mg; biotina, 200 mg.

(2) Suplemento mineral: manganeso, 100 mg; hierro, 100 mg; cobre, 20 mg; zinc, 100 mg; iodo, 2.5 mg; selenio, 0.12 mg

y el grosor de la cáscara (mm). Se emplearon 30 huevos de cada tratamiento en diferentes semanas de experimentación. Para determinar la resistencia de la cáscara se utilizó un equipo FHK y para el grosor, un cutímetro de similar marca, con precisión de 0.01 mm. La metodología empleada fue según lo descrito por Camps (1983). Para determinar el grosor, las mediciones se realizaron en tres puntos diferentes del huevo (centro y ambos polos). Para reducir la variabilidad de la medida se trabajó con la media de los tres. Además, se clasificaron los huevos en rotos, cascados y blandos para determinar el porcentaje de huevos no comercializables.

Evaluación del metabolismo mineral. Al final de cada estudio, 8 aves de cada tratamiento se sacrificaron por un corte en la arteria carótida y la vena yugular. Se tomaron muestras de sangre para determinar fósforo, calcio sérico y fosfatasa alcalina (FA). Las técnicas utilizadas fueron: AOAC (2000) para P y Ca sérico, y un kit comercial para la FA (CENTIS DIAGNÓSTICO, código: 1001131, 2001). Estos indicadores se determinaron en un espectrofotómetro marca WPA Light Wave, modelo S2000 UV/Vis.

Para las determinaciones del contenido de cenizas, Ca y P en huesos, se extrajo la tibia izquierda a las aves,

según el procedimiento descrito por Woyengo *et al.* (2008). La grasa adherida a la tibia se eliminó al sumergirla en éter de petróleo durante 8 h. El hueso seco y libre de grasa se incineró en una mufla a 550 ° C durante 24 h. El material incinerado se pesó y se molió para determinar las cenizas. Para el Ca y el P, se tomó 1 g de la muestra seca e incinerada. Estos minerales se extrajeron con una solución de HCl 1.8 N y HNO₃ 0.3 N y se digirieron a temperatura de 100-120 °C. La solución se filtró a través de papel Whatman 4 en un matraz volumétrico, con la utilización de una solución de HNO₃ 1.5 N y HCl 0.5 N.

Diseño experimental y análisis estadístico. Los tratamientos experimentales se distribuyeron de forma aleatoria según diseño de clasificación simple. Se utilizaron 12 repeticiones de seis gallinas cada una. Dos de estas repeticiones (12 aves / tratamiento) se tomaron para los estudios del metabolismo mineral.

Para procesar los datos se realizó análisis de varianza. En los casos necesarios se docimaron las diferencias entre medias según Duncan (1955). Se aplicaron transformaciones a las variables intensidad de puesta (arcoseno $\sqrt{\%}$) y número huevos por ave ($\sqrt{\chi}$) por no seguir una distribución normal. Posteriormente se realizaron los estudios de supuestos de ANOVA. La mortalidad, huevos rotos, cascados y blandos se analizó mediante la comparación de proporciones por Chi cuadrado (χ^2). Se aplicó el sistema de cómputo de datos INFOSAT (2001).

Resultados y Discusión

La composición química del FTG se muestra en la tabla 2. Este presentó 1.34 ± 0,05 % de flúor, 66.7 % menos que lo informado para la roca fosfórica (RF) y

Tabla 2. Composición química del FTG

| Elemento químico | Media | DE |
|---|--------|-------|
| P, % | 18.00 | 0.58 |
| Ca, % | 28.40 | 2.62 |
| F, % | 1.34 | 0.05 |
| Na, % | 2.20 | 0.43 |
| K, % | 0.34 | 0.32 |
| Al (Al ₂ O ₃), % | 1.32 | 0.30 |
| Fe, mg/kg | 1080.0 | 140.0 |

superior (86 %) con respecto al resto de los fosfatos comerciales (tabla 3). Esto es de suma importancia, pues el F es un elemento tóxico que, por su gradiente acumulativo en el organismo, limita la utilización de estos productos como fuente de fósforo (Camps 1985 y Camps y Tapia 1985). Las diferencias en el contenido de F con la RF pueden deberse al proceso de beneficio parcial que recibe este producto. En este caso, es por el calor (100 °C) al que se somete la fosforita para disminuir el exceso de humedad (Basson 1998).

En las restantes fuentes, por ejemplo, en el fosfato tricálcico defluorinado (FTD), los valores de F fueron mucho más bajos, porque además de calor se realizó un proceso de lixiviación que incluye la incorporación de ácido sulfúrico. Este reacciona con el F para formar fluoruro de hidrógeno.

Aunque pudiera parecer elevado el contenido de F en esta fuente por la cantidad en que se incluirá en las dietas (1.7 %) nunca sobrepasará el máximo recomendado por el NRC (250 ppm de F/kg de alimento). Además, específicamente en las gallinas ponedoras, el valor tóxico de flúor está por encima de 800 ppm, cuando se incorpora como parte de los fosfatos inorgánicos (Said *et al.* 1979 y Savón *et al.* 1986). Según Lazarov *et al.* (1975), esto se debe a que en los fosfatos inorgánicos están presentes sales de Mg, Ca y Al que reaccionan con el F y disminuyen su solubilidad. De ahí que, tanto en pollos como en gallinas ponedoras, es mínimo el riesgo de intoxicación por F, pues en este producto la concentración de estas sales es importante.

Igualmente, García (1983) y Gutiérrez (1987) demostraron que la solubilidad del F en esta fuente es baja. Según estos autores, más del 60 % del F de esta fosforita se excreta por las heces y la orina. Sus resultados indican que el F se encuentra en forma de CaF₂ y no como NaF, el cual precipita mejor en el intestino. Esto es muy positivo, pues según el NRC (1994) el F en la forma FCa₂ se tolera sin riesgo de toxicidad hasta 1300 ppm en las aves adultas y hasta 1000 ppm en las jóvenes. Sin embargo, en esos trabajos no se realizó la determinación de estas sales, lo que sería de mucha utilidad, pues aclararía esta incógnita y sustentaría los resultados biológicos encontrados en este estudio.

Tabla 3. Comparación entre diferentes fuentes de fósforo empleadas en la alimentación de las aves. Composición química

| Tipo de fuente | P, % | Ca, % | F, % | Na, % | Al (Al ₂ O ₃), % | Fe, mg/kg |
|------------------|-------|-------|-------|---------|---|-----------|
| FMC ² | 21-22 | 16-18 | <0.15 | 0.06 | 0.67 | 1432 |
| FDC ² | 18.5 | 20-26 | <0.14 | 0.1 | 0.41 | 4023 |
| FTD ² | 18 | 34 | <0.18 | 4.5-5.0 | 0.53 | 913 |
| FTG ³ | 18 | 28.40 | 1.34 | 2.20 | 1.32 | 1080 |
| RF ¹ | 13-17 | 32-46 | 1-3 | - | 1.5 | 6090 |

¹Camps (1985)

²NRC (1994), Sullivan *et al.* (1994), Rostagno (2005)

³Valores determinados

El contenido de P (18.0 %) fue similar al del FTD y FDC, ligeramente superior al de la RF sin procesar (+ 1.6 %), y algo más bajo que el del FMC (- 4 %). Similar comportamiento mostró el Ca (28.40 %) con valores comparables al del FTD y el FDC y ligeramente superior al del FMC (+ 35%) e inferior en 12,5 % al de la RF. Estos resultados se encuentran en el rango informado para el Ca (22-28%) por González (1989) y Camus (1995) y resultan superiores a lo obtenido para fosfato dicálcico (21.01 % Ca) por Rama Rao y Ramasubba Reddy (2001).

Otro elemento que merece atención es el Na. Este, si bien mostró valores inferiores a los del FTD, fueron muy superiores al resto de las otras fuentes. Esta alta concentración de Na lo convierte en una fuente con potencialidades para mantener buen balance electrolítico, mucho más en los sistemas de alimentación actuales, donde la utilización de dietas puramente vegetales incrementa la concentración de iones acidogénicos (Cl^- y SO_4^{2-}). La literatura informa que la mayor concentración de iones básicos en la dieta favorece la calidad de la cáscara y reduce la incidencia de discodroplasia tibial (Austic 1984 y Austic y Keshavarz 1988). El resto de los minerales potencialmente tóxicos, como Fe y Al, se mantuvieron en los rangos permisibles por el NRC (1994). En el Al, las concentraciones tóxicas son de 2200 ppm en aves jóvenes y 3000 ppm en las adultas. Sus principales efectos tóxicos son retardo en el crecimiento y disminución en la producción de huevos. Para el Fe las concentraciones tóxicas son 4500 ppm.

La tabla 4 muestra los valores medios y la variación de la solubilidad del fósforo en ácido cítrico al 2 % y líquido ruminal, para el FTG y el FDC. La mayor solubilidad se obtuvo con la técnica del ácido cítrico con ambas fuentes. Los bajos coeficientes de variación (CV) (3.42 y 2.40 %) obtenidos con esta técnica muestran mayor precisión en los resultados, a diferencia de la técnica con líquido ruminal. En esta, los CV (25.50 y 37.39%) indican la necesidad de aumentar el tamaño de muestra para reducir la variabilidad.

Tabla 4. Solubilidad del P en líquido ruminal y ácido cítrico al 2% del FTG y el FDC. Estadística descriptiva

| Estadísticos | FTG | | FDC | |
|------------------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| | Líquido ruminal | Ácido cítrico | Líquido ruminal | Ácido cítrico |
| Media, % | 11.67 | 98.83 | 13.58 | 98.11 |
| Coefficiente de Variación, % | 25.50 | 3.42 | 37.39 | 2.40 |

Estos resultados coinciden con los encontrados por Rostagno *et al.* (1993) y Sakomura y Rostagno (2007), quienes plantean que la técnica del líquido ruminal es más susceptible a la variabilidad por el tipo de manejo y alimentación de los animales a los que se les colecta el líquido. Según ellos, la dieta es decisiva en el tipo y

concentración de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), los cuales influirán en los valores de solubilidad.

Esto parece estar relacionado con la capacidad que tiene el fósforo de desdoblarse en iones ortofosfatos ante la presencia de ácidos fuertes. Según Vargas *et al.* (2002), Sindirações (2005) y Sakomura y Rostagno (2007) hay alta correlación entre la constante de disociación (Pka) del ácido, el nivel de desfosforilación y la solubilidad del fósforo. Por lo tanto, fue lógica la menor respuesta de solubilidad con la técnica del líquido ruminal, pues como se conoce, los AGCC (acético Pka= 4.75, propiónico Pka= 4.87 y butírico Pka= 4.81) poseen menor constante de disociación que el ácido cítrico (Pka= 3.13) (Cummings *et al.* 1987, Cherrington *et al.* 1991, Thompson y Hinton 1996 y Ricke 2003).

Al comparar la solubilidad de ambas fuentes, por una u otra técnica, no hubo diferencias entre fuentes. Estos resultados no coinciden con los señalados por Sakomura y Rostagno (2007), quienes al estudiar la solubilidad de diferentes fosfatos de roca encontraron diferencias con el FDC. Estos autores atribuyen la menor solubilidad de los fosfatos de roca a la presencia de minerales contaminantes y a la interacción entre ellos con los iones ortofosfatos, lo que dificulta su disociación en medio ácido. Sin embargo, en este estudio, el FTG mostró valores de solubilidad similares a los del FDC. Esto pudiera deberse al proceso de beneficio, ya que este producto al ser tratado con calor, una mayor concentración se encuentra en forma de CaHPO_4 , que es muy soluble en condiciones ácidas.

En la tabla 5 se presenta el comportamiento productivo según el nivel de inclusión del FTG. Este no mostró diferencias para los indicadores huevos/ave, intensidad de puesta y conversión alimentaria. No obstante, se evidenció incremento en la ganancia en peso y el peso vivo final al sustituir totalmente la fuente de fósforo de importación. Estos efectos coinciden con lo informado por Camps (1985) en dietas de pollos de ceba, con valores de hasta 276 ppm de F y con lo obtenido por Gutiérrez *et al.* (1993 y 1994) con 80 y 100 ppm, respectivamente.

Al analizar la composición calculada de las dietas (tabla 1), las cantidades en que se incorporó el fosfato significaron aportes de 70, 127 y 228 ppm de F/kg de alimento, cifras que están cercanas a los valores en los que Camps (1985) y Gutiérrez *et al.* (1993) encontraron los efectos positivos. Esto permite explicar las mejoras en el peso vivo, pues según Merkeley (1976), ya con 10 ppm de F se evidencia ligero efecto como promotor de crecimiento y mayor fortaleza en los enlaces óseos en las aves. Vale aclarar que no se presentaron anomalías propias de intoxicación crónica de F, pues aunque los valores que se consumieron fueron bajos y la solubilidad del F parece ser también muy baja, siempre se presupone la posible acumulación en los tejidos, más en esta categoría por ser de ciclo productivo largo.

Tabla 5. Efecto del nivel de sustitución del FTG en el comportamiento productivo de gallinas ponedoras White Leghorns (24 – 66 semanas)

| Medidas | FTG % | | | | EE ± |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|
| | 0 | 50 | 75 | 100 | |
| Peso inicial, g/ave | 1373.0 | 1387.0 | 1390.0 | 1392.0 | 18.86 |
| Peso final, g/ave | 1523.0 ^a | 1527.0 ^a | 1530.0 ^a | 1613.0 ^b | 20.74* |
| Ganancia en peso, g/ave | 140.0 ^a | 148.0 ^a | 168.0 ^a | 232.0 ^b | 22.35* |
| Huevo/ave, u ⁽¹⁾ | 15.86 (251.80) | 15.86 (251.80) | 15.87 (252.10) | 15.89 (252.6) | 0.12 |
| Intensidad puesta, % ⁽²⁾ | 1.16 (83.87) | 1.16 (83.88) | 1.16 (83.99) | 1.17 (84.48) | 0.02 |
| Consumo pienso, kg | 33.83 | 33.83 | 33.84 | 34.06 | 0.23 |
| Conversión masal, kg/kg ⁽³⁾ | 2.27 | 2.26 | 2.21 | 2.17 | 0.04 |
| Conversión alimentaria, kg/decena ⁽⁴⁾ | 1.34 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 0.02 |
| Mortalidad, % | 8.56 | 7.85 | 6.68 | 7.00 | 5.16 |

^{ab} Medias en una misma fila con letras no comunes difieren entre sí para P < 0.05 (Duncan 1955)

() Medias originales ⁽¹⁾ Medias transformadas según $\sqrt{\chi}$ ⁽²⁾ Medias transformadas según arcoseno $\sqrt{\%}$ ⁽³⁾ kilogramos de pienso / kg masa huevo ⁽⁴⁾ kg de pienso / decena de huevo

* P < 0.05

En la tabla 6 se muestra el peso del huevo, la resistencia y el grosor de la cáscara en las semanas 29, 34, 49 y 54 de edad. Para el peso del huevo, se encontraron diferencias en las semanas 29 y 49, a favor de 100 % de sustitución. En la semana 29, el incremento fue de 3,2 g y en la 49, fue progresivo en función del nivel de inclusión. Esto, unido a la tendencia de incremento de peso en las aves de estos tratamientos, permite afirmar que hubo buena disponibilidad de P en las dietas estudiadas. En este sentido, estos resultados coinciden con Sohail y Roland (2002), quienes incrementaron el peso del huevo al aumentar la disponibilidad de P (de 0.1 a 0.7 %). Con esto se favoreció el metabolismo energético.

En relación con el grosor y resistencia de la cáscara del huevo, también se observó incremento gradual con los niveles crecientes de FTG en todas las semanas, excepto para el grosor en la semana 34, que no difirió estadísticamente por la variabilidad entre tratamientos (EE más alto). La mejora en estos indicadores pudiera estar asociada al aporte extra de Na⁺ sin Cl⁻ que hace este producto. Como puede observarse en la tabla de composición y aporte de las dietas, los niveles en que se incorporó este fosfato significaron contribuciones de 0.16, 0.17 y 0.19 % de Na. Según Yoselewitz y Balnave (1989), el efecto alcalino del ión Na⁺ estimula parcialmente la anhidrasa carbónica en varios tipos de células y tejidos, incluyendo la glándula cascarógena. Esto sugiere que se

Tabla 6. Efecto del nivel de FTG en algunos indicadores de calidad del huevo

| Medida | FTG % | | | | EE ± |
|---|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------|
| | 0 | 50 | 75 | 100 | |
| Peso huevo, g | | | | | |
| Semana 29 | 58.33 ^a | 58.33 ^a | 58.43 ^a | 61.53 ^b | 0.63*** |
| Semana 34 | 58.44 | 59.70 | 58.49 | 59.51 | 0.71 |
| Semana 49 | 46.03 ^a | 46.83 ^{ab} | 47.10 ^b | 48.53 ^c | 0.75* |
| Semana 54 | 64.20 | 63.73 | 63.27 | 64.97 | 1.09 |
| Resistencia ruptura, kg F/cm ² | | | | | |
| Semana 29 | 3.66 ^a | 3.82 ^{ab} | 4.05 ^b | 4.01 ^b | 0.11* |
| Semana 34 | 3.78 ^a | 3.93 ^{ab} | 3.95 ^{ab} | 4.07 ^b | 0.07** |
| Semana 49 | 3.91 ^{ab} | 3.82 ^a | 4.06 ^b | 4.15 ^b | 0.08** |
| Semana 54 | 3.93 ^a | 3.95 ^a | 4.02 ^{ab} | 4.07 ^b | 0.06*** |
| Grosor cáscara, mm | | | | | |
| Semana 29 | 0.37 ^a | 0.38 ^b | 0.38 ^b | 0.38 ^b | 0.006*** |
| Semana 34 | 0.37 | 0.38 | 0.38 | 0.39 | 0.008 |
| Semana 49 | 0.39 ^a | 0.39 ^a | 0.39 ^a | 0.41 ^b | 0.006*** |
| Semana 54 | 0.38 ^a | 0.38 ^a | 0.39 ^a | 0.40 ^b | 0.003*** |

^{abc} Medias en una misma fila con letras no comunes difieren entre sí para P < 0.05 (Duncan 1955)

* P < 0.05, ** P < 0.01 *** P < 0.001

podría favorecer la deposición de Ca en la cáscara del huevo.

Generalmente, los indicadores en estudio revelaron la correcta relación Ca: P al incluir el FTG, ya que el adelgazamiento progresivo de la cáscara es una de las manifestaciones más evidentes del régimen dietético desbalanceado en Ca y P (Keshavarz y Austic 1990, Jalal y Scheideler 2001 y Usayran *et al.* 2001). Además, esta ligera mejoría en el grosor y resistencia de la cáscara contribuyó con el menor número de huevos no comercializables (tabla 7).

escasa solubilidad del F presente en esta fuente, pues aunque las aves, teóricamente, consumieron más de 200 ppm, solo la mitad parece estar disponible. El resto se excreta por las heces. De manera general, estos resultados también corroboraron los del comportamiento productivo, pues la fosfatasa alcalina (FA) se mantuvo similar en todos los tratamientos, lo que descartó la posibilidad de fluorosis. Según Burnell *et al.* (1986) y Smirmova (1988), la actividad de esta enzima aumenta en los animales que reciben altas dosis de flúor y es un indicador de alta sensibilidad

Tabla 7. Efecto del nivel de FTG en la cuantía de huevos no comercializables (%)

| Indicadores | FTG, % | | | | EE ± |
|-----------------|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------|
| | 0 | 50 | 75 | 100 | |
| Huevos rotos | 0.66 ^a | 0.463 ^{ab} | 0.198 ^b | 0.198 ^b | 0.16* |
| Huevos blandos | 0.72 ^a | 0.59 ^{ab} | 0.33 ^{ab} | 0.06 ^b | 0.168* |
| Huevos cascados | 1.6 ^a | 1.25 ^{ab} | 0.7 ^b | 0.4 ^b | 0.254** |

^{abc} Medias en una misma fila con letras no comunes difieren entre sí para P < 0.05 (Duncan 1955)

* P < 0.05, ** P < 0.01

En la tabla 8 se exponen los indicadores del metabolismo mineral. Para estos no se encontraron diferencias significativas y coincidieron, de manera general, con los rangos fisiológicos informados. Se comprobó que las aves utilizaron el Ca y el P que posee el fosfato en estudio, y que no hubo alteración en la absorción de estos minerales, lo que pudiera relacionarse con la presencia de elementos dañinos en las dietas. De no ser biodisponibles ambos elementos, necesariamente hubiera disminuido el P sérico, como primera respuesta ante la carencia mineral (Boling *et al.* 2000).

muy correlacionado con la deposición del F en huesos y dientes.

Se concluye que las concentraciones de minerales de la fosforita del Yacimiento Trinidad de Guedes (FTG) están muy cercanas a las exigencias internacionales para los fosfatos que se aplican en la alimentación animal. Se destaca por bajos niveles de elementos tóxicos, como el Fe y el Al, y por valores permisibles de F. Se confirma que la técnica de solubilidad de fósforo en ácido cítrico es más precisa que la que utiliza líquido ruminal y que el FTG posee similar solubilidad de fósforo que el FDC. Se

Tabla 8. Indicadores del metabolismo mineral

| Indicadores | FTG, % | | | | EE ± | Valores normales ^{1, 2, 3} | |
|-----------------------|--------|-------|-------|-------|------|-------------------------------------|------|
| | 0 | 50 | 75 | 100 | | Min | Max |
| | | | | | | Fosfatasa alcalina, UI/L | 593 |
| Fósforo sérico, mg/dL | 5.11 | 5.11 | 5.12 | 5.16 | 0.07 | 3 | 5 |
| Cenizas tibia, % | 39.39 | 40.09 | 40.86 | 42.06 | 1.29 | 35 | 55 |
| Ca huesos, % | 18.54 | 19.45 | 18.54 | 19.32 | 0.78 | 18 | 23 |
| P huesos, % | 8.87 | 9.43 | 8.95 | 8.91 | 0.87 | 8 | 18.5 |

^{1,2 y 3} Rangos fisiológicos reportados por Kolb (1974), Sturkie (1976) y Kempson *et al.* (1979)

Con respecto a las cenizas de la tibia tampoco hubo diferencias. En este sentido, los resultados no coinciden con lo informado por Nahorniak *et al.* (1983), quienes con valores de flúor superiores a 200 ppm encontraron una disminución de las cenizas en el tejido óseo. Godoy y Chicco (1996) obtuvieron resultados similares en cerdos en crecimiento. Un posible mecanismo fue que la presencia de flúor disminuye la absorción del calcio, lo que a su vez induce el proceso de reabsorción ósea por un estímulo secundario de la paratiroides. Esta aparente contradicción en los resultados puede explicarse por la

infiere que es factible utilizar la fuente de fósforo del yacimiento Trinidad de Guedes como sustitución total de la importada, ya que no se alteran los indicadores productivos ni de metabolismo mineral. Se obtiene además, mejor proporción integral de huevos rotos, cascados y blandos.

Agradecimientos

Se agradece al Dr. Manuel Castro el apoyo y las coordinaciones realizadas para la obtención del fosfato. Igualmente, al Ing. Rolando González, de la Empresa

Geominera, por facilitarnos la información y las muestras del producto.

Referencias

- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17th Ed. Assoc. Off. Anal. Chem. Arlington, Virginia. p. 18
- Austic, R. E. 1984. Excess dietary chloride depresses eggshell quality. *Poult. Sci.* 63:1773
- Austic, R. E., & Keshavarz, K. 1988. Interaction of dietary calcium and chloride and the influence of monovalent minerals on eggshell quality. *Poult. Sci.* 67:750
- Basson, W.D. 1998. Phosphorus Supplements for Monogastrics. Exhibición Avícola 98, Buenos Aires, Argentina
- Boling, S.A., Douglas, M.W., Johnson, M.I., Wong, X., Parson, C.M., Roelkebeck, K.W. & Zimmerman, R.A. 2000. The effects of dietary available phosphorus levels and phytase on performance of young and older laying hens. *Poult. Sci.* 78: 224
- Burnel, T.W., Peo, E.R., Lewis, A.J. & Grenshaw, J.D. 1986. Effect of dietary fluorine on growth, blood and bone characteristics of growing finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 63:2053
- Camps, D. 1983. La roca fosfórica como fuente de fósforo para la alimentación de las aves I. Niveles de uso en gallinas ponedoras. *Rev cubana Cienc. Avíc.* 27: 132
- Camps, D. 1985. La roca fosfórica como fuente de fósforo para la alimentación de las aves II. Niveles de uso en pollos de ceba. *Rev. Cubana Cienc. Avíc.* 29: 127
- Camps, D. & Tapia, M. 1985. Utilización del fosfato dicálcico de producción nacional en la alimentación de pollos de engorde. *Rev. Cubana Cienc. Avíc.* 22: 189
- Camus, J. 1995. Evaluación de fosfatos de diferente procedencia en la dieta inicial de machos broiler. Tesis de Médico Veterinario. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias. Santiago, Chile. 100 p
- CENTIS DIAGNÓSTICO 2001. Métódicas bioquímicas y serología. Ctra. Monumental y Carretera la Roda, km 3, Guanabacoa, Ap. 22. Ciudad de La Habana, Cuba
- Chapman, D.J. 1988. Probiotics, acidifiers and yeast culture. A place for natural additives in pig and poultry production. *Biotechnology in the feed industry. Proc. Alltech's Fourth Annual Symposium.*
- Cherrington, C. A., Hinton, M., Mead, G. C. & Chopra, I. 1991. Organic acids: Chemistry, antibacterial activity and practical applications. *Adv. Microb. Physiol.* 32:87
- Cummings, J. H., Pomare, E. W., Branch, W. J., Naylor, C. P. E. & Macfarlane, G. T. 1987. Short chain fatty acids in human large intestine, portal, hepatic and venous blood. *Gut* 28:1221
- Duncan, D.B. 1955. Multiple ranges and multiple F test. *Biometrics* 11:1
- EGO 2009. Empresa Geominera Occidente. Datos Técnicos
- García, G.G. 1983. Algunos resultados relacionados con el metabolismo del flúor en rumiantes. Trabajo de Diploma. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias. La Habana, Cuba. 100 p.
- Godoy, S. & Chicco, C.F. 1996. Características químicas y físicas del tejido óseo de marranas alimentadas con fosfatos sedimentarios. *Proc. Reunión de la Red Latinoamericana de Roca Fosfórica. ExpoCuba. La Habana, Cuba.* 9 p.
- González, N. J. 1989. Biodisponibilidad de fósforo y composición mineral de fosfatos de roca cruda chilenos usados en alimentación animal. Tesis de Médico Veterinario. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias. Universidad de Chile. 98 p.
- Gutiérrez, O. 1987. Fluorosis: a potencial problem in cattle. *Cuban J. Agric. Sci.* 21: 103
- Gutiérrez, O., Marrero, A., Gutiérrez, O, Ferry, I. & Cairo, J. 1993. Uso del flúor como promotor del crecimiento en raciones para pollos de ceba. *Medidas de comportamiento. Rev. Cubana Cienc. Agri.* 27: 332
- Gutiérrez, O., Marrero, A., Robau, A., Moreira, O. & Cairo, J. 1994. Uso del flúor como promotor del crecimiento en raciones para pollos de ceba. *Indicadores óseos y morfométricos. Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 28:81
- INFOSTAT. 2001. Balzarini, G.M., Casanoves, F., Di Rienzo, I.A., González, L.A. & Robledo, C.W. Software Estadístico. Manual de Usuario. Versión 1. Córdoba, Argentina
- Jalal, M. & Scheideler, S.E. 2001. Effect of supplementation of two different sources of phytase on egg production parameters in laying hens and nutrient digestibility. *Poult. Sci.* 80: 1463
- Kampson, S., Kim, Northrup, T., J., Know, F. & Dousa, T. 1979. Alkaline phosphates in adoption to low dietary phosphate intake. *Am. J. Physiol.* 203: 297
- Keshavarz, K. & Austic, R. E.. 1990. Effect of dietary minerals on acid-base balance and eggshell quality. *J. Nutr.* 120:1360
- Kolb, E. 1974. Fisiología veterinaria. Fisiología de los líquidos corporales. Tomo II. Ed. Acribia. p. 448
- Lazarov, E., Tatorov, B., Dimitrov, G. & Kunchev, L. 1975. Effect of MgSO₄ and a combination of AlCl₃, MgSO₄ and CaCO₃ on deposition of fluorine in bones of lambs. *Nutrition Abstracts and Reviews* 15:2241
- Lehninger, A. L. 1994. Principios da Bioquímica. São Paulo: Sarvie. p.37
- Merkeley, J.W. 1976. Increased bone strength in crop reared broilers provided fluoridated water. *Poult. Sci.* 55: 1313
- Nahorniak, N.A., Waibel, P.E., Olson, W.G., Walser, M.M. & Dziuk, H.E. 1983. Effect of dietary sodium fluoride on growth and bone development in growing turkeys. *Poult. Sci.* 62:2048
- NRC. 1994. Nutrient Requirements of poultry. 9th Edition. National Research Council. National Academy Press. Washington, D.C.
- Rama Rao, S.V. & Ramasubba Reddy, V. 2001. Utilisation of different phosphorus sources in relation to their fluorine content for broilers and layers. *Br. Poult. Sci.* 42: 376
- Ricke, S. C. 2003. Perspectives on the Use of Organic Acids and Short Chain Fatty Acids as Antimicrobials. *Poult Sci* 82: 632
- Rostagno, H.S. 2005. Tablas brasileñas para aves y cerdos. Composición de alimentos y requerimientos nutricionales. 2^{da} Edición. Universidad Federal de Viçosa. Brasil. 186 p.
- Rostagno, H.S., Burlan, A.C. & Silva, J.C.F. 1993. Avaliação de metodologías de solubilidade de fósforo e fluor en fluido ruminal e abomasal ou em ácido cítrico para determinação da biodisponibilidade. *Revista Brasileira de Zootecnia* 22: 801
- Said, N.W., Sundie, M.L., Bird, H.R. & Suttlet, J.W. 1979. Raw rock phosphates as a phosphorus supplement for growing pullets and layers. *Poult. Sci.* 58: 1357
- Sakomura, N.K. & Rostagno, H.S. 2007. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Universidade Federal de Viçosa. p. 282

- Savón, L., Alvarez, R.J., Fundora, O & Martínez, G. 1986. Evaluación biológica del fósforo disponible de diferentes fuentes nacionales en raciones para pollos de engorde. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 20: 69
- Sindirações. 2005. *Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal*. Ed. Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal. São Paulo, SP. 204 p.
- Smirmova, L.D. 1988. Absorption of fluorine in broiler chickens in relation to sodium fluoride content of the feed. *Nutr. Abstr. Rev.* 58:94
- Sohail, S.S. & Rolland, D.A. 2002. Influence of dietary phosphorus on performance of Hy-Line W36 hens. *Poult Sci.* 81:75
- Sturkie, P. D. 1976. *Avian Physiology*. Springer. Verlag, New York, USA. p. 323
- Sullivan, T.W., Douglas, J.H. & González, N.J. 1994. Levels of various elements of concern in feed phosphates of domestic and foreign origin. *Poult. Sci.* 73:520
- Thompson, J. L. & Hinton, M. 1996. Effect of short-chain fatty acids on the size of enteric bacteria. *Lett. Appl. Microbiol.* 22:408
- Usayran, M., Farran, M.T., Awadallah, H.O., Al-Hawi, L.R., Asmar, R.J. & Askariam, U.M. 2001. Effects of added dietary fat and phosphorus on the performance and egg quality of laying hens subjected to a constant high environmental temperature. *Poult. Sci.* 80:1695
- Vargas, K.L., Herrera, H.J., Morales, B.E., Suárez, M.O., González, A.M. & García, B.C. 2002. Acido citrico y fitasa microbiana en el comportamiento productivo y excreción de fósforo, calcio y nitrógeno en gallinas de postura. *Tec. Pec. Mex.* 40:169
- Woyengo, T.A., Guenter, W., Sands, J.S., Nyachoti, C.M. & Mirza, M.A. 2008. Nutrient utilisation and performance responses of broilers fed a wheat-based diet supplemented with phytase and xylanase alone or in combination. *Anim. Feed Sci. Tech.* 10: 1016
- Yoselewitz, I. & Balnave, D. 1989. The influence of saline drinking water on the activity of carbonic anhydrase in the shell gland of laying hens. *Aust. J. Agric. Res.* 40:1111
- Zyla, K., Koreleski, J., Swiat, K., Wikiera, D., Kiyowski, M., Peronen, J. & Ledoux, DR. 2000. Effects of phospholytic and cell wall degrading enzymes on the performance of growing broilers fed wheat based diets containing different calcium levels. *Poult Sci.* 79: 66

Recibido: 8 de mayo de 2008