



ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL EN PECHUGA DE CODORNIZ JAPONESA (*Coturnix coturnix japonica*) ALIMENTADA CON UNA DIETA SUPLEMENTADA CON HONGOS COMESTIBLES

TOTAL ANTIOXIDANT ACTIVITY IN JAPANESE QUAIL (*Coturnix coturnix japonica*) BREAST, FED A SUPPLEMENTED DIET OF EDIBLE MUSHROOMS

Vargas-Sánchez RD¹, Velásquez-Jiménez D², Torrescano-Urrutia GR³, Ibarra-Arias FJ⁴, Portillo-Loera JJ¹, Ríos-Rincón FG¹, Ramírez-Guerra HE², Sánchez-Escalante A^{3*}

¹ Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Blvd. San Ángel s/n Predio Las Coloradas, Culiacán, Sinaloa 80236, México.

² Universidad de Sonora (UNISON). Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Hermosillo, Sonora 83000, México.

³ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Carretera a la Victoria Km 0.6, Hermosillo, Sonora 83304, México.

⁴ Alta Tecnología Industrial para la Salud Animal, S.A. de C.V. (ATISA). Gabino Barreda 1290, Guadalajara, Jalisco 44430, México.

RESUMEN

La carne de codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) se destina al consumo humano, por ello es importante mantener su calidad durante el almacenamiento. El objetivo fue evaluar la capacidad de la harina de *Pleurotus ostreatus* incluida en la dieta, para incrementar la actividad antioxidante total (AAT) de la carne. Para ello, se determinó el contenido de fenoles (CFT) y flavonoides totales (CFVT), así como actividad antiradical-DPPH• y ABTS⁺, y poder reductor (PR) del extracto acuoso de *P. ostreatus* (EAPO). Las codornices fueron alimentadas durante 35 días con tres dietas: control y suplementadas con *P. ostreatus* (1 y 2 %). La pechuga (*Pectoralis major*) se almacenó (10 días/2 °C/oscuridad) y se obtuvo un extracto acuoso cárnico (EAC) para determinar la AAT. Los resultados mostraron que el EAPO presentó buen CFT y CFVT (27.3 mg EAG/g, y 16.1 mg EQC/g, respectivamente), así como 35 y 49.1 % de actividad antiradical-ABTS⁺ y DPPH•, y 35 % de PR. El EAC, presentó valores de CFT, ABTS⁺ y DPPH•, superiores al control ($P \leq 0.05$), no detectándose diferencias para el CFVT y PR ($P \geq 0.05$). En conclusión, la incorporación de *P. ostreatus* en la dieta de codorniz, incrementó la AAT del EAC durante su almacenamiento.

Palabras clave: *Pleurotus ostreatus*, Actividad antioxidante total, Codorniz japonesa, Extracto acuoso cárnico.

ABSTRACT

Japanese quail meat (*Coturnix coturnix japonica*) is used for human consumption, so it is important to maintain its quality during storage. The objective of the present study was to evaluate the capacity of *Pleurotus ostreatus* powder in the diet of Japanese quail to increase the total antioxidant activity (TAA) of meat. The total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), antiradical-DPPH• and ABTS⁺ activity, and reducing power (RP) of the aqueous extract of *P. ostreatus* (AEPO) were determined. We fed Quails with three different diets for 35 days: a control diet and two diets

supplemented with *P. ostreatus* (1 and 2 %). The breast meat (*Pectoralis major*) was stored (10 days/2 °C/dark), and an aqueous extract of meat (AEM) was obtained to determine the TAA. The results showed that AEPO presented good TPC and TFC (27.3 mg EAG/g and 16.1 mg EQC/g, respectively), 35 and 49.1% antiradical-ABTS⁺ and DPPH•-activity, respectively, and 35% RP. The AEM showed higher TPC, DPPH•, and ABTS⁺ values than the control ($P \leq 0.05$); no differences were detected for the TFC and RP ($P \geq 0.05$). In conclusion, the incorporation of *P. ostreatus* into the birds' diet increased the TAA of the AEM during storage.

Key words: *Pleurotus ostreatus*, Total antioxidant activity, Japanese quail, Aqueous extract of meat.

INTRODUCCIÓN

La codorniz japonesa es un ave que pertenece al orden Galliformes, familia Phasianidae, género Coturnix y especie Japonica (Vali, 2008). Actualmente, diversos aspectos consideran la utilidad e importancia de esta ave; el primero de ellos es que su explotación como recurso agropecuario ha tenido un crecimiento acelerado a nivel mundial, principalmente en Europa y América latina, considerando a la producción de huevo como la principal actividad (Galíndez et al., 2009). El segundo aspecto considera que la codorniz es una fuente importante de carne, de la cual se han obtenido productos como salchichas y albóndigas (Ikhlas et al., 2011; Purohit et al., 2016). Sin embargo, la calidad de su carne puede ser afectada por la genética, medio ambiente, producción y procesamiento, así como por su composición química (aminoácidos y ácidos grasos esenciales). En consecuencia, estos factores juegan un papel importante en la aceptación de la carne de codorniz por parte del consumidor (Genchev et al., 2008; Mehdi-pour et al., 2013).

La importancia de la carne y sus productos en la salud humana ha sido ampliamente estudiada, enfocándose principalmente a su asociación con enfermedades del corazón y cáncer, y correlacionado con la presencia de altos niveles de

*Autor para correspondencia: Armida Sánchez-Escalante
Correo electrónico: armida-sanchez@ciad.mx

Recibido: 06 de junio de 2017

Aceptado: 16 de enero de 2018

productos de la oxidación, tanto de lípidos como de proteínas (Soladoye *et al.*, 2015; Bolger *et al.*, 2017). La oxidación de ambas fracciones, causa bien conocida de pérdida de calidad de la carne, se produce básicamente debido a la pérdida de al menos un electrón cuando los alimentos son expuestos al oxígeno del aire, iluminación y temperatura; así como al uso inadecuado de métodos de conservación y procesamiento, tales como refrigeración y congelación, aditivos (sal, nitrito y especias), cocinado, irradiación, altas presiones y el tipo de envasado (Sample, 2013).

Tanto los lípidos como las proteínas son susceptibles a los daños oxidativos debido a la rápida depleción de los antioxidantes endógenos una vez que el animal ha sido sacrificado (Xiao *et al.*, 2011). El grado de oxidación de la carne también se asocia a diferentes factores como especie y raza de los animales, así como al tipo de músculo y localización anatómica (Min *et al.*, 2008). No obstante, el tipo de dieta consumida durante la fase de producción de los animales también influye en la susceptibilidad a la oxidación *postmortem* (Zhang *et al.*, 2011). Además, el estrés oxidativo generado en tejidos de animales durante su crecimiento y antes del sacrificio, da como resultado la acumulación de radicales libres y especies reactivas al oxígeno, que posteriormente causan daño funcional y estructural en el músculo, y en consecuencia afectan la calidad de la carne (Falowo *et al.*, 2014).

Para reducir o prevenir el proceso oxidativo de la carne y productos cárnicos de aves se han utilizado diversas estrategias tecnológicas, una de ellas es la adición de antioxidantes sintéticos (BHA, butilhidroxianisol; BHT, butilhidroxitolueno; TBHQ, terbutilhidroquinona; PG, galato de propilo), o los obtenidos a partir de fuentes naturales como frutas y vegetales, tales como ciruela, semilla de uva, arándanos, granada, guayaba, romero, orégano y hongos comestibles, entre otros (Bao *et al.*, 2009; Karre *et al.*, 2013). Una segunda estrategia es suministrarlos a través de la dieta en forma de extracto o harina, pudiendo actuar como agentes quelantes de metales, o como inhibidores de radicales libres y enzimas pro-oxidantes, con el fin de incrementar el estado antioxidante de la carne (Kerry *et al.*, 1998). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la capacidad de la harina de *Pleurotus ostreatus* incluida en la dieta de codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*), para incrementar la actividad antioxidante total de la carne.

MATERIALES Y MÉTODOS

Manejo de aves y dietas

El experimento diseñado para esta investigación fue aprobado por el comité de ética y cuidado de animales, y se llevó a cabo en la Unidad Avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), unidad Culiacán, Sinaloa, México (24° 46' 13" LN y 107° 21' 14" LO). Un total de doscientos ochenta y ocho codornices (1 día de edad; sin sexar; sin vacunar) fueron asignadas aleatoriamente a tres dietas experimentales (Vargas-Sánchez *et al.*, 2018): control (sin antioxidante, CON)

y harina de *P. ostreatus* (1 y 2%, P1% y P2%, respectivamente). Las codornices fueron distribuidas aleatoriamente en ocho réplicas (réplica = 12 codornices por jaula, 90 x 90 x 60 cm) y el programa de iluminación fue de 23 h luz por día (temperatura: 21 a 36 °C; humedad relativa: 23.4-53.8 %). Las dietas se prepararon siguiendo los requerimientos nutricionales de engorde para codorniz (NRC, 1994) (Tabla 1).

Obtención y almacenamiento de la carne

Al finalizar el experimento, 32 codornices machos de cada tratamiento (cuatro aves por réplica) fueron seleccionadas aleatoriamente y sacrificadas por dislocación cervical para el procesamiento de la canal (NOM-033-ZOO-1995). Las canales se colocaron individualmente en charolas de poliestireno y se envolvieron con una película de cloruro de polivinilo (17400 cm³ O₂/m²/24 h a 23 °C); estas posteriormente fueron almacenadas (10 días/2 °C/en oscuridad) para realizar los análisis de actividad antioxidante total de la carne de codorniz. (Genchev y Mihaylov, 2008; Vargas-Sánchez *et al.*, 2018).

Obtención del extracto acuoso de *P. ostreatus*

El extracto se obtuvo mediante el método de extracción asistida por ultrasonido (1 h a 25 °C) a partir de 20 g de harina de hongo comestible (*P. ostreatus*) y 180 mL de agua destilada como solvente de extracción. A continuación, el extracto se filtró a través de papel filtro Whatman 1, se concentró en un rota-evaporador (Yamato RE-301BW, Tokio, Japón), y el concentrado resultante se liofilizó (Yamato DC401, Tokio, Japón) para obtener el extracto acuoso seco, el cual se mantuvo en almacenamiento a -20 °C, hasta ser utilizado para el análisis de la actividad antioxidante (Soares *et al.*, 2009). Adicionalmente se calculó el rendimiento (%) del extracto acuoso de *P. ostreatus* (EAPO).

Obtención del extracto acuoso cárnico

La obtención de extracto acuoso cárnico (Carlsen *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2011) se realizó cada día de muestreo (días 0 y 10); para lo cual de cada canal se separaron las pechugas (*Pectoralis major*), homogenizando 0.1 g de carne con 20 mL de agua destilada para llevar a cabo la extracción asistida por ultrasonido (1 h, 25 °C). El extracto acuoso fue centrifugado a 2300 × g durante 10 min y el sobrenadante obtenido (EAC, extracto acuoso cárnico) fue utilizado para llevar a cabo la determinación de la AAT de la carne.

Actividad antioxidante de EAPO y EAC

Contenido de fenoles totales

El contenido de compuestos fenólicos de EAPO y EAC se evaluó de acuerdo con el método descrito por Popova *et al.* (2004), para lo cual de cada uno se transfirió un volumen de 10 µL (5 mg/mL), a una placa de 96 pocillos, mezclándose con 160 µL de agua destilada, 40 µL de reactivo Folin-Ciocalteu (0.25 N) y 60 µL de Na₂CO₃ (7 %). La mezcla de reacción se incubó durante 1 h a temperatura ambiente (25 °C) y se midió la absorbancia a 750 nm en un espectrofotómetro (Thermo

Tabla 1. Composición de las dietas experimentales (%).**Table 1.** Composition of experimental diets (%).

| Ingredientes | Dieta de iniciación (1-21 d) | | | Dieta de finalización (21-35 d) | | |
|--------------|------------------------------|--------|--------|---------------------------------|--------|--------|
| | CON | P1% | P2% | CON | P1% | P2% |
| Maíz | 29.87 | 28.87 | 27.87 | 43.96 | 42.95 | 42.09 |
| Soya | 65.8 | 65.8 | 65.8 | 51.5 | 51.54 | 51.42 |
| Hongo | 0.0 | 1.0 | 2.0 | 0.0 | 1.0 | 2.0 |
| Sal | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| Metionina | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| Treonina | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.15 | 0.12 | 0.1 |
| Caliza fina | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 |
| Ortofosfato | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| Vitaminas | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Minerales | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| Probiótico | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| Adsorbente | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Fitasa | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 |
| Enzima | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 |
| Total (g) | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| EM, kcal/kg | 3110.5 | 3104.6 | 3098.6 | 3142.0 | 3140.4 | 3134.7 |

EM, energía metabolizable.

ME, metabolizable energy.

Scientific, Multiskan Go, Vantaa, Finlandia). Los resultados son expresados como mg equivalentes de ácido gálico/g de extracto (mg EAG/g).

Contenido de flavonoides totales

El contenido de flavonoides de EAPO y EAC se determinó de acuerdo con el método descrito por Zhishen *et al.* (1999), para lo cual cada extracto (500 µL, 5 mg/mL) se mezcló con 1 mL de NaNO₂ (5 %), 1 mL de AlCl₃ (10 %) y 10 mL de NaOH (1 M). Posteriormente, la muestra se ajustó a 25 mL con etanol (70 %) y la solución resultante se dejó en reposo durante 15 min. La absorbancia se midió a 510 nm en un espectrofotómetro y los resultados son expresados como mg equivalentes de quercetina/g de extracto (mg EQC/g).

Inhibición del radical DPPH•

La inhibición de radicales libres de EAPO y EAC se determinó de acuerdo al método descrito por Hatano *et al.* (1988). Ambos extractos (100 µL, 100 µg/mL) se homogenizaron con 100 µL de solución DPPH• (300 µM) y posteriormente se incubaron durante 30 min a 25 °C, en condiciones de oscuridad. La absorbancia se midió a 517 nm en un espectrofotómetro y los resultados son expresados en porcentaje de inhibición mediante la siguiente ecuación:

% de inhibición = [(Abs A - Abs B) / Abs A] x 100, donde Abs A es la absorbancia del control a t = 0 min y Abs B es la absorbancia de la muestra después del periodo de incubación.

Inhibición del radical ABTS^{•+}

Para el ensayo de actividad antiradical-ABTS^{•+} se utilizó el método descrito por Smina *et al.* (2011). EAC y EAPO (10 µL, 100 µg/mL) se mezclaron con 990 µL de solución ABTS^{•+} (ajustada a 0.8 nm). Previamente, la solución de reacción se preparó mezclando el radical ABTS^{•+} (7.0 mM) con persulfato de potasio (2.45 mM), la cual se mantuvo durante 12-16 h a temperatura ambiente, antes de ser utilizada. Los extractos con la solución de reacción se incubaron durante 10 min a temperatura ambiente, en condiciones de oscuridad. Posteriormente, la absorbancia fue medida a 730 nm en un espectrofotómetro. Los resultados se presentan como porcentaje de inhibición los cuales fueron obtenidos mediante la siguiente ecuación:

% de inhibición = [(Abs A - Abs B) / Abs A] x 100, donde Abs A es la absorbancia del control a t = 0 min y Abs B es la absorbancia de la muestra después del periodo de incubación.

Poder reductor

El poder reductor de los extractos se evaluó de acuerdo con el procedimiento descrito por Kuda *et al.* (2005). Los extractos (EAC y EAPO; 250 µL, 5 mg/mL) se mezclaron con 500 µL de ferrocianuro de potasio (1 %) y 250 µL de bufer de fosfato (0.2 M, pH 6.5), los cuales se incubaron a 50 °C durante 20 min. Posteriormente, se añadieron 500 µL de ácido tricloroacético (10 %) y la mezcla se centrifugó a 3900 x g durante 10 min. El sobrenadante (100 µL) se mezcló

con 100 µL de cloruro férrico (0.1 %), para posteriormente medir la absorbancia a 700 nm en un espectrofotómetro. Los resultados son expresados como valores de absorbancia.

Análisis estadístico

Los resultados de actividad antioxidante total del extracto acuoso cárnico fueron sometidos a un ANOVA de dos vías, considerando como factores principales la dieta (tres niveles, 0, 1 y 2 %) y los días de muestreo (2 niveles, días 0 y 10 de muestreo). La homogeneidad de varianza fue probada por el análisis de Barlett y se utilizó una prueba de comparación de medias de Tukey, para evaluar diferencias entre los tratamientos ($P \leq 0.05$). Además, un análisis de componentes principales fue llevado a cabo para determinar el nivel de asociación entre la AAT de la carne de codorniz de aves dietadas con *P. ostreatus* y el efecto del tiempo de almacenamiento. Los resultados fueron analizados con el paquete estadístico NCSS versión 2007.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de fenoles totales de los extractos obtenidos de fuentes naturales ha sido extensamente asociado con sus propiedades biológicas (Carlsen *et al.*, 2010); cuya cuantificación comúnmente se determina mediante el método de Folin-Ciocalteu, el cual se basa en la transferencia de electrones en medio alcalino a partir de compuestos fenólicos al complejo de ácido fosfomolibdato/fosfotúngstico para formar un complejo azul que se evalúa a 760 nm (Ainsworth y Gillespie, 2007); mientras que, el método para determinar el contenido de flavonoides implica la formación de un complejo flavonoide-aluminio de color rosado evaluado a 510 nm (Zhishen *et al.*, 1999). En este trabajo, los resultados obtenidos en la evaluación del rendimiento de extracción y el contenido de compuestos fenólicos de la harina de *P. ostreatus* se muestran en la Tabla 2, en la cual se puede observar que el rendimiento de extracción del EAPO fue superior al 40 %, mientras que el CFT y CFVT fue de 27.3 mg EAG/g y 16.1 mg EQc/g de extracto acuoso respectivamente. Estos valores son mayores a los reportados por Hip *et al.* (2009), quienes para EAPO encontraron valores de rendimiento de 14.7 %, CFT de 8.0 mg EAG/g y CFVT de 1.4 mg EQc/g.

Los hongos comestibles han sido apreciados como una fuente valiosa de compuestos bioactivos tales como polisacáridos y compuestos fenólicos. En relación a los compuestos fenólicos, se ha reportado la presencia de ácido gálico, protocatecuico, gentísico, 4-hidroxibenzoico, vanílico, cafeico, siríngico, *p*-cumárico, ferúlico, salicílico, verátrico, sinápico, 3-hidroxicinámico, 5-sulfasalicílico, clorogénico y rosmarínico; así como los flavonoides (+)-catequina, rutina, naringenina, miricetina, quercetina, kaempferol y hesperetina, entre otros; compuestos que se caracterizan por poseer actividad antibacteriana, inmunoestimulante, anticancerígena y antioxidante (Kim *et al.*, 2008; Nowacka *et al.*, 2014).

Para determinar la actividad antioxidante y poder reductor del EAPO se evaluó la actividad antiradical-DPPH• y ABTS⁺; así como el poder reductor. El radical DPPH• (2,2-difenil-2-picrilhidrazil) se caracteriza por ser estable en virtud de la deslocalización del electrón libre, de manera que este radical no dimeriza. Esta deslocalización da lugar al color violeta, que absorbe aproximadamente a 520 nm. Cuando la solución DPPH• se mezcla con un compuesto que puede donar un átomo de hidrógeno, da lugar a la forma reducida con la pérdida de color violeta (Molyneux, 2004). Otro método espectrofotométrico para medir la actividad antiradical de los extractos es el radical cation ABTS⁺ (2,2-azinobis-ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico), que implica la formación directa de un cromóforo azul/verde a través de la reacción del ABTS⁺ y persulfato potásico (máxima absorción a 734 nm). La adición del antioxidante reduce el radical, decolorando la solución (Biskup *et al.*, 2013; Floegel *et al.*, 2011). Los resultados de las propiedades antioxidantes del presente trabajo muestran que el EAPO (100 µg/mL) presentó valores de actividad antiradical-DPPH• y ABTS⁺ de 49.1 y 35 %, respectivamente (Tabla 2); mientras que los valores del porcentaje de inhibición de los radicales DPPH• y ABTS⁺ obtenidos para el estándar de referencia (Vitamina C, 25 µg/mL) fueron 96 y 92 %, respectivamente. Estos resultados son comparables a lo reportado por Elmastas *et al.* (2007), quienes obtuvieron valores superiores al 50 % a una concentración similar (100 µg/mL). Mientras que Yim *et al.* (2010) reportan valores superiores de actividad antiradical-DPPH• y ABTS⁺ de EAPO (63.2 y 87.3 %, respectivamente). La diferencia en actividad antiradical de los extractos obtenidos a partir de hongos comestibles, puede asociarse al tipo de sustrato utilizado durante su producción, debido a que esto influye en el contenido total de compuestos fenólicos (Oyetayo y Ariyo, 2017).

Por otra parte, la determinación del poder reductor de un extracto consiste en evaluar el potencial de los compuestos fenólicos presentes para reducir el ion ferroso (Fe²⁺) a férrico (Fe³⁺), el cual posteriormente reacciona con cloruro de hierro y forma un complejo Fe₄[Fe(CN)₆]₃ de color azul característico, que absorbe a 700 nm (Kuda *et al.*, 2005). Los resultados del presente trabajo (Tabla 2) muestran que el EAPO presentó valores de absorbancia >0.3 a 700 nm, es decir >30% de poder reductor si se compara con el estándar de referencia (Vitamina C, 25 µg/mL), el cual presenta valores de alrededor de 1.0. Sin embargo, estos resultados son inferiores a los reportados por Alam *et al.* (2010), quienes encontraron valores de absorbancia de 0.7 en extractos acuosos obtenidos a partir de *P. ostreatus*.

Los resultados anteriores indican que el EAPO pudiera ser utilizado para prevenir el deterioro de alimentos, y ser aprovechado para incrementar la actividad antioxidante total (AAT) de la carne de codorniz a través de la dieta. Por lo que, en una segunda etapa de investigación, se evaluó la composición y AAT de la carne cruda de codorniz mediante la comparación del CFT y CFVT (Figura 1), actividad antiradical-DPPH• y ABTS⁺, así como el PR del EAC (Tabla

Tabla 2. Propiedades antioxidantes del extracto acuoso de *Pleurotus ostreatus*.

Table 2. Antioxidant properties of the *Pleurotus ostreatus* aqueous extract.

| Rendimiento y composición química | |
|---|-----------|
| Rendimiento (%) | 44.5±1.0 |
| Contenido de fenoles totales (CFT), mg EAG/g | 27.3±0.4 |
| Contenido de flavonoides totales (CFVT), mg EQc/g | 16.1±0.5 |
| Actividad antioxidante | |
| Actividad antiradical DPPH• (%) | |
| EAPO | 49.1±0.9 |
| Vit C (25 µg/mL) | 96.0±0.6 |
| Actividad antiradical ABTS ⁺ (%) | |
| EAPO | 35.0±0.3 |
| Vit C (25 µg/mL) | 92.0±0.5 |
| Poder reductor* | |
| EAPO | 0.35±0.02 |
| Vit C (25 µg/mL) | 1.1±0.2 |

*Ferricianuro/azul de Prusia (abs a 700 nm).

Valores expresados como la media ± desviación estándar.

Values expressed as mean ± standard deviation.

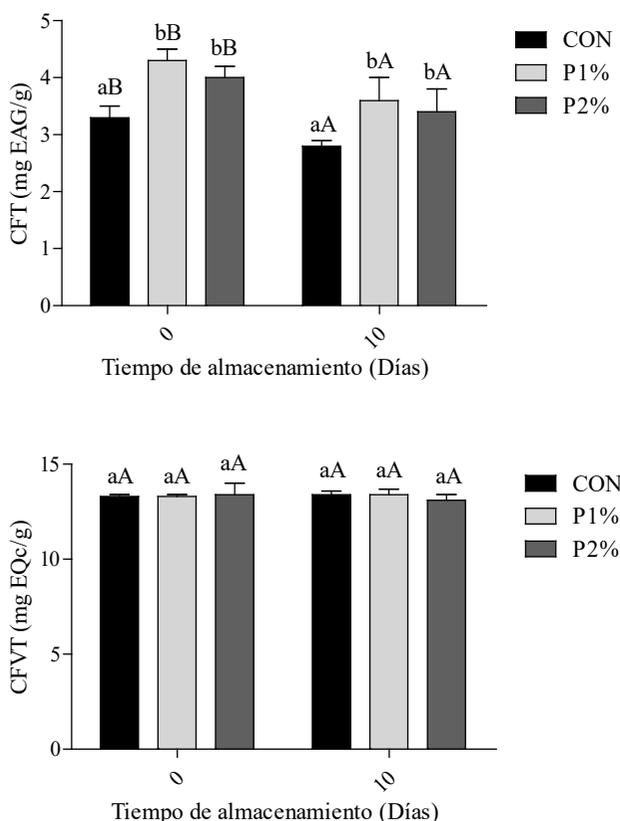


Figura 1. Efecto de la incorporación de *Pleurotus ostreatus* en la dieta y del tiempo de almacenamiento sobre el contenido de fenoles y flavonoides totales del extracto acuoso de pechuga de codorniz.

Figure 1. Effect of *Pleurotus ostreatus* incorporation in the diet and storage time on the total phenolic and flavonoid content of the aqueous extract of quail breast.

Tabla 3. Efecto de la incorporación de *Pleurotus ostreatus* en la dieta y del tiempo de almacenamiento sobre la actividad antioxidante total del extracto acuoso de pechuga de codorniz.

Table 3. Effect of *Pleurotus ostreatus* incorporation in the diet and storage time on the total antioxidant activity of the aqueous extract of quail breast.

| Parámetros | Día de muestreo | | | |
|-----------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | CON | P1% | P2% | |
| DPPH• (%) | 0 | 55.7±0.5 ^{aB} | 58.9±1.0 ^{bB} | 59.7±2.0 ^{bB} |
| | 10 | 45.1±1.9 ^{aA} | 53.2±0.9 ^{bA} | 54.4±2.1 ^{bA} |
| ABTS ⁺ (%) | 0 | 31.6±1.7 ^{aB} | 36.0±0.8 ^{bB} | 34.5±1.3 ^{bB} |
| | 10 | 10.8±0.9 ^{aA} | 31.4±1.1 ^{bA} | 30.1±1.0 ^{bA} |
| Poder reductor (abs 700 nm) | 0 | 0.08±0.02 ^{aA} | 0.08±0.02 ^{aA} | 0.08±0.01 ^{aA} |
| | 10 | 0.09±0.01 ^{aA} | 0.09±0.01 ^{aA} | 0.1±0.02 ^{aA} |

CON, grupo control; P1%, aves dietadas con 1% de *P. ostreatus*; P2%, aves dietadas con 2% de *P. ostreatus*; Valores expresados como la media ± desviación estándar (n= 6); Diferentes literales (a-b) en la misma fila indican diferencias significativas (P≤0.05); Diferentes literales (A-B) en la misma columna indican diferencias significativas (P≤0.05).

CON, control group; P1%, bird's supplemented with 1% of *P. ostreatus*; P2%, bird's supplemented with 2% of *P. ostreatus*; Values expressed as mean ± standard deviation (n= 6); Different letters (a-b) in the same row indicate significant differences (P≤0.05); Different letters (a-b) in the same column indicate significant differences (P≤0.05).

3). Los resultados obtenidos muestran que, al determinar el efecto entre las dietas experimentales y el tiempo de almacenamiento, se presentó un efecto significativo (P≤0.05) en los parámetros antioxidantes evaluados, a excepción del CFVT (13.4 mg EQc/g) y poder reductor (<0.1 abs a 700 nm), en los cuales no se encontraron efectos (P≥0.05). En el primer día de muestreo (día 0), los valores de CFT, e inhibición de los radicales DPPH• y ABTS⁺ para el EAC, fueron mayores (25.8, 11.6 y 6.5 %, respectivamente) en la pechuga de aves dietadas con el hongo comestible, en comparación con las aves del grupo CON. Sin embargo, los valores disminuyeron conforme avanzaron los días de almacenamiento, lo cual se observa en los resultados del último día de muestreo (día 10); no obstante, los valores más elevados de CFT, y actividad antiradical-DPPH• y ABTS⁺, fueron para los EAC obtenidos a partir de carne de aves dietadas con 1 y 2 % del hongo comestible (25, >90 y 19.3 %, respectivamente), en comparación con el grupo CON. Además, los resultados muestran que independiente de la concentración (1 y 2 %) suplementada en la dieta de las codornices, no se encontraron diferencias (P≥0.05) en el CFT y actividad antiradical-DPPH• y ABTS⁺ para el EAC en los días 0 y 10 de muestreo.

Estudios previos indican que los inhibidores de radicales libres, tales como compuestos fenólicos, podrían incorporarse en el músculo del ave durante la alimentación para proveer estabilidad y reducir los niveles de oxidación de lípidos y proteínas, e incrementar el sistema antioxidante endógeno y por ende la AAT de la carne (Giannenas *et al.*, 2010). Al respecto, en un trabajo de investigación realizado por Saleh *et al.* (2018) se evaluó la AAT del extracto acuoso obtenido a partir de carne (pierna) de pollos de engorde

alimentados durante 42 días con una dieta suplementada con antioxidantes: dieta basal (sin antioxidante), acetato de α -tocoferol (200 mg/kg), orujo de granada (1, 2 y 3 g/kg) y extracto de orujo de granada (0.1, 0.2 y 0.3 g/kg). Los resultados de esta investigación muestran un incremento en el CFT (>40 mg EAG/g) y actividad antiradical-DPPH \cdot (>50 % de inhibición) en las muestras de carne de pierna de pollo que contenían α -tocoferol y extracto de orujo de granada.

Por otra parte, Jang *et al.* (2008) evaluaron la AAT del extracto acuoso de pechuga de pollos de engorde alimentados con una mezcla de hierbas medicinales (0, 0.3 y 1 %) durante 35 días, entre las que se incluían hoja de mora (*Morus alba* L.), madreselva japonesa (*Lonicera flos*) e hilo de oro chino (*Coptis chinensis*). Los resultados de este trabajo muestran que el CFT de la mezcla de hierbas medicinales (0.3 y 1 %) fue 49.7 % superior al de la carne obtenida de aves del grupo control; no encontrándose diferencias en el CFT por efecto de la concentración evaluada, lo cual concuerda con el comportamiento mostrado en este trabajo de investigación. Sin embargo, la actividad antioxidante fue dependiente de la concentración utilizada de la mezcla de hierbas medicinales, mostrando que el EAC obtenido a partir de aves suplementadas con 1 % presentaron valores de 44.2 y 10.3 % más altos respecto al control, de actividad antiradical-DPPH \cdot y ABTS $^{+}$, respectivamente.

Adicionalmente, se realizó un análisis multivariado para determinar el nivel de asociación entre la AAT del EAC obtenido de aves dietadas con *P. ostreatus* y el efecto del tiempo de almacenamiento (Figura 2). En el eje de abscisas (componente principal 1) se explica el 92.9 % de la variación total del modelo; este factor está compuesto por variables relacionadas positivamente con la AAT de las muestras. Mientras que en el eje de las ordenadas (componente

principal 2), se explica el 5.6 % de la variación total del modelo.

Los resultados muestran una visible separación del EAC analizado. En los días 0 y 10 de muestreo, los extractos acuosos cárnicos obtenidos de aves suplementadas con el hongo comestible a ambas concentraciones (1 y 2 %) presentaron mayor asociación con los parámetros antioxidantes, respecto al EAC obtenido a partir de las aves del grupo control. Además, se encontró fuerte correlación entre el CFT del EAC con la actividad antioxidante mostrada por la inhibición de los radicales DPPH \cdot ($r=0.888$) y ABTS $^{+}$ ($r = 0.844$).

CONCLUSIONES

Los resultados de la presente investigación muestran que el rendimiento de extracción para el EAPO fue superior al 40 %, lo cual se ve reflejado en el elevado contenido total de compuestos fenólicos (>25 mg EAG/g), incluyendo a los flavonoides. Además, presentó alta actividad antioxidante medida mediante la inhibición de los radicales DPPH \cdot y ABTS $^{+}$, así como poder reductor; mostrando valores de 49.1 % y 27.3 % de inhibición para cada radical y poder reductor superior al 30 %. Por otra parte, los resultados indican que la AAT de la carne de codorniz durante su almacenamiento (10 días/2 °C/oscuridad), fue mejorada mediante la suplementación con *P. ostreatus* (1 y 2 %) en la dieta (durante un periodo de 35 días). La inclusión de *P. ostreatus* en la dieta de estas aves incrementó el contenido de compuestos fenólicos en la pechuga y aumentó la capacidad para inhibir los radicales DPPH \cdot y ABTS $^{+}$. Estos resultados muestran que los hongos comestibles pueden ser potencialmente utilizados como aditivos antioxidantes naturales en la dieta de aves, debido a que mejora la AAT de la carne durante su vida de anaquel.

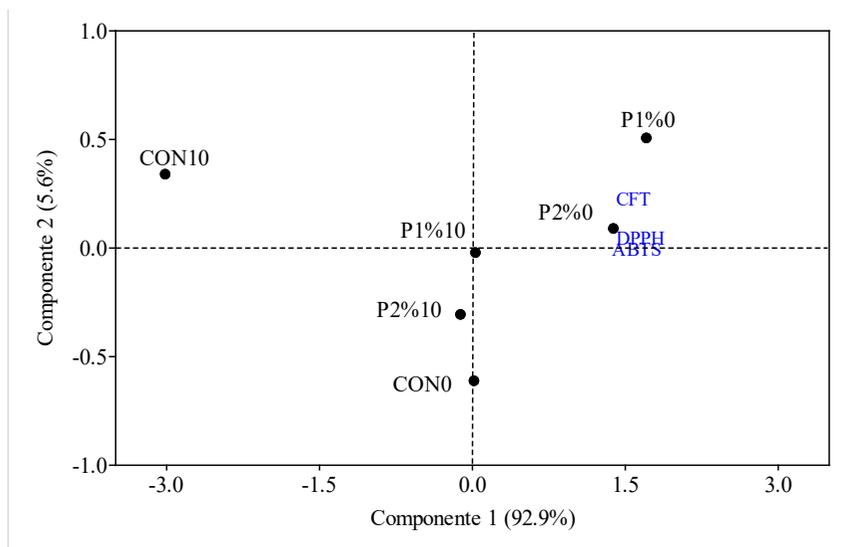


Figura 2. Análisis de componentes principales del extracto acuoso cárnico y de los parámetros de actividad antioxidante total.

Figure 2. Principal component analysis of the aqueous meat extract and the parameters of total antioxidant activity.

AGRADECIMIENTOS

Rey D. Vargas-Sánchez reconoce con gratitud la beca otorgada por el CONACYT para realizar una Estancia Posdoctoral Vinculada al Fortalecimiento de la Calidad del Posgrado Nacional (CONVOCATORIA 2015-1; 290941). Además, se agradece el apoyo técnico proporcionado por los estudiantes de la FMVZ de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Melesio Quiñones y Jerzon A. Quiñonez Zepeda.

REFERENCIAS

- Ainsworth, E.A. y Gillespie, K.M. 2007. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature Protocols*. 2: 875-877.
- Alam, N., Yoon, K.N., Lee, K.R., Shin, P.G., Cheong, J.C., Yoo, Y.B., Shim, M.J., Lee, M.W. y Lee, T.S. 2010. Antioxidant activities and tyrosinase inhibitory effects of different extracts from *Pleurotus ostreatus* fruiting bodies. *Mycobiology*. 38: 295-301.
- Bao, H.N.D., Ushio, H. y Ohshima, T. 2009. Antioxidative Activities of mushroom (*Flammulina velutipes*) extract added to bigeye tuna meat: Dose-Dependent Efficacy and Comparison with Other Biological Antioxidants. *Journal of Food Science*. 74: C162-C169.
- Biskup, I., Golonka, I., Gamian, A. y Sroka, Z. 2013. Antioxidant activity of selected phenols estimated by ABTS and FRAP methods. *Postepy Higieny i Medycyny Doswiadczalnej*. 67: 958-963.
- Bolger, Z., Brunton, N. P., Lyng, J. G. y Monahan, F. J. 2017. Comminuted meat products-consumption, composition and approaches to healthier formulations. *Food Reviews International*. 33: 143-166.
- Carlsen, M.H., Halvorsen, B.L., Holte, K., Bøhn, S.K., Dragland, S., Sampson, L., Willey, C., Senoo, H., Umezono, Y., Sanada, C., Barikmo, I., Berhe, N., Willet, W.C., Phillips, K.M., Jacobs Jr D.R. y Barikmo, I. 2010. The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. *Nutrition Journal*. 9: 1.
- Elmastas, M., Isildak, O., Turkecul, I. y Temur, N. 2007. Determination of antioxidant activity and antioxidant compounds in wild edible mushrooms. *Journal of Food Composition and Analysis*. 20: 337-345.
- Falowo, A.B., Fayemi, P.O. y Muchenje, V. 2014. Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International*. 64: 171-181.
- Floegel, A., Kim, D.O., Chung, S.J., Koo, S.I. y Chun, O.K. 2011. Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*. 24: 1043-1048.
- Galíndez, R., De Basilio, V., Martínez, G., Vargas, D., Uztariz, E. y Mejía, P. 2009. Evaluation of the fertility and hatchability in Japanese quails. *Zootecnia Tropical*. 27: 7-15.
- Genchev, A., Mihaylova, G., Ribarski, S., Pavlov, A. y Kabakchiev, M. 2008. Meat quality and composition in Japanese quails. *Trakia Journal of Sciences*. 6: 72-82.
- Genchev, A. y Mihaylov, R. 2008. Slaughter analysis protocol in experiments using Japanese quails (*Coturnix japonica*). *Trakia Journal of Science*. 4: 66.
- Giannenas, I., Tontis, D., Tsalie, E., Chronis, E.F., Doukas, D. y Kyriazakis, I. 2010. Influence of dietary mushroom *Agaricus bisporus* on intestinal morphology and microflora composition in broiler chickens. *Research in Veterinary Science*. 89: 78-84.
- Hatano, T., Kagawa, H., Yasuhara, T. y Okuda, T. 1988. Two new flavonoids and other constituents in licorice root: Their relative astringency and radical scavenging effects. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 36: 1090-2097.
- Hip, S., Fook, Y., Swee, K. y Chun, W. 2009. Phenolic profiles of selected edible wild mushrooms as affected by extraction solvent, time and temperature. *Asian Journal of Food and Agro-industry*. 2: 392-401.
- Huang, B., He, J., Ban, X., Zeng, H., Yao, X. y Wang, Y. 2011. Antioxidant activity of bovine and porcine meat treated with extracts from edible lotus (*Nelumbo nucifera*) rhizome knot and leaf. *Meat Science*. 87: 46-53.
- Ikhlas, B., Huda, N. y Noryati, I. 2011. Chemical composition and physicochemical properties of meatballs prepared from mechanically deboned quail meat using various types of flour. *International Journal of Poultry Science*. 10: 30-37.
- Jang, A., Liu, X.D., Shin, M.H., Lee, B.D., Lee, S.K., Lee, J.H., y Jo, C. 2008. Antioxidative potential of raw breast meat from broiler chicks fed a dietary medicinal herb extract mix. *Poultry Science*. 87: 2382-2389.
- Karre, L., Lopez, K. y Getty, K.J. 2013. Natural antioxidants in meat and poultry products. *Meat Science*. 94: 220-227.
- Kerry, J.P., Buckley, D.J., Morrissey, P.A., O'Sullivan, K. y Lynch, P.B. 1998. Endogenous and exogenous α -tocopherol supplementation: effects on lipid stability (TBARS) and warmed-over flavour (WOF) in porcine *M. longissimus dorsi* roasts held in aerobic and vacuum packs. *Food Research International*. 31: 211-216.
- Kim, M.Y., Seguin, P., Ahn, J.K., Kim, J.J., Chun, S.C., Kim, E.H., Seo, S.H., Kang, E.Y., Kim, S.L., Park, Y.J. y Ro, H.M. 2008. Phenolic compound concentration and antioxidant activities of edible and medicinal mushrooms from Korea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56: 7265-7270.
- Kuda, T., Tsunekawa, M., Goto, H. y Araki, Y. 2005. Antioxidant properties of four edible algae harvested in the Noto Peninsula, Japan. *Journal of Food Composition and Analysis*. 18: 625-633.
- Mehdipour, Z., Afsharmanesh, M. y Sami, M. 2013. Effects of dietary synbiotic and cinnamon (*Cinnamomum verum*) supplementation on growth performance and meat quality in Japanese quail. *Livestock Science*. 154: 152-157.
- Min, Á., Nam, K.C., Cordray, J., y Ahn, D.U. (2008). Endogenous factors affecting oxidative stability of beef loin, pork loin, and chicken breast and thigh meats. *Journal of Food Science*. 73: C439-C446.
- Molyneux, P. 2004. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 26: 211-219.
- Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. [Consultado 14 de Noviembre 2017] 1995. Disponible en: <http://www.cuautitlan.unam.mx/descargas/cicuae/normas/Norma033.pdf>.
- Nowacka, N., Nowak, R., Drozd, M., Olech, M., Los, R. y Malm, A. 2014. Analysis of phenolic constituents, antiradical and

- antimicrobial activity of edible mushrooms growing wild in Poland. *LWT-Food Science and Technology*. 59: 689-694.
- NRC. 1994. National Research Council. Nutrient requirements of poultry. 9th Rev. Ed. National. Nutrient requirements of ring-necked pheasants, Japanese quail, and bobwhite quail.
- Oyetayo, V.O., y Ariyo, O.O. 2017. Antimicrobial and antioxidant properties of *Pleurotus ostreatus* (Jacq: Fries) cultivated on different tropical woody substrates. *Journal of Waste Conversion, Bioproducts and Biotechnology*. 1: 28-32.
- Popova, M., Bankova, V., Butovska, D., Petkov, V., Nikolova-Damyanova, B., Sabatini, A. G., Marcazzan, G.L. y Bogdanov, S. 2004. Validated methods for the quantification of biologically active constituents of poplar-type propolis. *Phytochemical Analysis*. 15: 235-240.
- Purohit, A.S., Reed, C. y Mohan, A. 2016. Development and evaluation of quail breakfast sausage. *LWT-Food Science and Technology*. 69: 447-453.
- Saleh, H., Golian, A., Kermanshahi, H., y Mirakzehi, M.T. 2018. Antioxidant status and thigh meat quality of broiler chickens fed diet supplemented with α -tocopherolacetate, pomegranate pomace and pomegranate pomace extract. *Italian Journal of Animal Science*. 17(2): 386-395.
- Sample, S. 2013. Oxidation and antioxidants in fish and meat from farm to fork. In I. Muzzalupo (Ed.), *Food industry*. pp. 114-144. Croatia: InTech Publishing.
- Smina, T.P., Mathew, J., Janardhanan, K.K. y Devasagayam, T.P.A. 2011. Antioxidant activity and toxicity profile of total triterpenes isolated from *Ganoderma lucidum* (Fr.) P. Karst occurring in South India. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 32: 438-446.
- Soares, A.A., de Souza, C.G.M., Daniel, F.M., Ferrari, G.P., da Costa, S.M.G. y Peralta, R. M. 2009. Antioxidant activity and total phenolic content of *Agaricus brasiliensis* (*Agaricus blazei* Murril) in two stages of maturity. *Food Chemistry*. 112: 775-781.
- Soladoye, O. P., Juárez, M. L., Aalhus, J. L., Shand, P. y Estévez, M. 2015. Protein oxidation in processed meat: mechanisms and potential implications on human health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 14: 106-122.
- Vali, N. 2008. The Japanese quail: A review. *International Journal of Poultry Science*. 7: 925-931.
- Vargas-Sánchez, R.D., Torrescano-Urrutia, G.R., Ibarra-Arias, F.J., Portillo-Loera, J.J., Ríos-Rincón, F.G. y Sánchez-Escalante, A. 2018. Effect of dietary supplementation with *Pleurotus ostreatus* on growth performance and meat quality of Japanese quail. *Livestock Science*. 207: 117-125.
- Xiao, S., Zhang, W.G., Lee, E.J., Ma, C.W., y Ahn, D.U. 2011. Effects of diet, packaging, and irradiation on protein oxidation, lipid oxidation, and color of raw broiler thigh meat during refrigerated storage. *Poultry Science*. 90: 1348-1357.
- Yim, H.S., Chye, F.Y., Tan, C.T., Ng, Y.C., y Ho, C.W. 2010. Antioxidant activities and total phenolic content of aqueous extract of *Pleurotus ostreatus* (cultivated oyster mushroom). *Malaysian Journal of Nutrition*. 16: 281-291.
- Zhang, W., Xiao, S., Lee, E.J., y Ahn, D.U. 2011. Consumption of oxidized oil increases oxidative stress in broilers and affects the quality of breast meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59: 969-974.
- Zhishen, J., Mengcheng, T., y Jianming, W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*. 64: 555-559.