

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE MIEL DE ABEJA SIN AGUIJÓN (*Scaptotrigona mexicana*) EN LA CONSERVACIÓN DE CARNE DE POLLO

EFFECT OF THE ADDITION OF STINGLESS BEE HONEY (*Scaptotrigona mexicana*) ON CHICKEN MEAT CONSERVATION

Ricardo **Nepomuceno-Irene**¹, Aleida S. **Hernández-Cázares**^{1*}, Ma. de los Ángeles **Vivar-Vera**², Juan Valente **Hidalgo-Contreras**¹,
Adriana **Contreras-Oliva**¹, Natalia **Real-Luna**¹, Juan Antonio **Pérez-Sato**¹, Joel **Velasco-Velasco**¹

¹Campus Córdoba. Colegio de Postgraduados. 94946. Amatlán de los Reyes Veracruz. (nepomuceno.ricardo@colpos.mx), (aleyse@colpos.mx), (jvhidalgo@colpos.mx), (adricon@colpos.mx), (nreal@colpos.mx), (pantonio@colpos.mx), (joel42ts@colpos.mx). ²Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Oaxaca. Avenida Dr. Víctor Bravo Ahuja s/n. Colonia 5 de mayo. Tuxtepec, Oaxaca. 68350. (angelesvivar@hotmail.com)

RESUMEN

La oxidación lipídica y proteica genera pérdida del valor nutricional y disminución de la calidad total de la carne. En este estudio se analizó el efecto de la adición de miel de abeja sin aguijón (*Scaptotrigona mexicana*) sobre la calidad y conservación de pechuga de pollo, triturada y cocinada, durante su almacenamiento en refrigeración. La carne fresca triturada se adicionó con 1, 3 y 5% de miel, y como testigo se utilizó carne sin adición de miel. La carne con y sin miel se cocinó y se evaluó a los 0, 3, 6, 9 y 12 d de almacenamiento a 4 °C. Un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial (4x5) se utilizó para el análisis de los datos. Al término de cada periodo de almacenamiento, se evaluó el rendimiento por cocción (RC), el pH, la acidez, la actividad de agua (a_w), la humedad, el color, el perfil de textura (TPA), la oxidación lipídica (TBARS) y la oxidación proteica (DNPH). La adición de miel mantuvo la calidad de la pechuga de pollo durante los 12 d de almacenamiento en refrigeración, las variables fisicoquímicas de dureza, pH y color no mostraron diferencias significativas. La adición de miel incrementó el rendimiento por cocción; además, la oxidación lipídica y proteica de la carne disminuyó con la adición de miel lo cual evidencia su potencial antioxidante, y la adición del 5% fue el tratamiento con los valores menores de oxidación lipídica. Por lo tanto, el tipo evaluado de miel, procedente de abejas sin aguijón, puede utilizarse como un producto funcional, natural y alternativo para sustituir antioxidantes sintéticos en carne de pollo y sus productos derivados.

Palabras clave: miel, abeja sin aguijón, *Scaptotrigona mexicana*, oxidación proteica, oxidación lipídica, antioxidante cárnico.

ABSTRACT

Lipid and protein oxidation generates losses in the nutritional value and a reduction in total quality of meat. This study analyzed the effect of the addition of honey from stingless bees (*Scaptotrigona mexicana*) on the quality and conservation of ground and cooked chicken breast, during refrigeration storage. To fresh ground meat it was added 1, 3 and 5% honey, and meat without honey was used as a control. Meat with and without honey was cooked and evaluated after 0, 3, 6, 9 and 12 d of storage at 4 °C. A completely randomized design with a factorial arrangement of (4x5) was used for the analysis of data. At the end of each storage period, cooking performance (RC), pH, acidity, water activity (a_w), moisture, color, texture profile (TPA), lipid oxidation (TBARS) and protein oxidation (DNPH) were evaluated. The addition of honey maintained the quality of the chicken breast for the 12 d of refrigeration storage, the physiochemical variables, as hardness, pH and color showed no significant differences. The addition of honey increased the cooking performance. Additionally, lipid and protein oxidation decreased by the honey effect, thus showing antioxidant potential; the addition of 5% was the treatment with the lowest lipid oxidation. Therefore, evaluated type of honey (from stingless bees) may be used as a functional, natural and alternative product to substitute synthetic antioxidants in chicken meat and derived products.

Key words: honey, stingless bee, *Scaptotrigona mexicana*, protein oxidation, lipid oxidation, meat antioxidant.

* Autor para correspondencia ♦ Author for correspondence.

Recibido: diciembre, 2019. Aprobado: julio, 2020.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 54: 885-896. 2020.

INTRODUCCIÓN

La oxidación es uno de los principales procesos responsables de la pérdida de calidad y de la conservación en la carne y sus productos, durante almacenamiento y cocción porque se generan compuestos asociados a la rancidez que afectan olor, color y textura de la carne (Cortinas *et al.*, 2005). En presencia de oxígeno y algunos agentes pro-oxidantes, los radicales libres o especies reactivas del oxígeno (EROs) y especies reactivas de nitrógeno (ERNs) interactúan con lípidos, proteínas y ácidos nucleicos de la carne, lo cual acelera los procesos de oxidación (Falowo *et al.*, 2014).

La oxidación lipídica es un proceso complejo por el cual los ácidos grasos insaturados reaccionan con el O₂ molecular a través de radicales libres y forman peróxidos u otros productos primarios de oxidación (Argyri *et al.*, 2012). Los productos de oxidación secundarios como los aldehídos, cetonas, y ésteres son responsables del deterioro mayor y del sabor rancio durante el almacenamiento congelado (Pérez-Chabela, 2007). Incluso, la carne de ave alimentada con dietas ricas en ácidos grasos poliinsaturados es más propensa a esta oxidación (Narciso-Gaytan *et al.*, 2011).

La oxidación proteica en carne se potencia en presencia de procesos térmicos, aumenta la carbonilación y reduce la retención de agua, al disminuir la capacidad de las proteínas para una interacción química con las moléculas de agua (Xiao *et al.*, 2011). Según Silva *et al.* (2016), la cocción en la carne se relaciona principalmente con la degradación del triptófano, la formación de enlaces bisulfuro y la pérdida de textura. Además, se pierden aminoácidos esenciales como resultado de la degradación oxidativa irreversible, y las proteínas se hacen menos digeribles (Estévez, 2011; Lund *et al.*, 2011).

Los procesos de oxidación de lípidos y proteínas en carne y productos cárnicos se pueden neutralizar con compuestos antioxidantes (Karre *et al.*, 2013), pero el uso de antioxidantes sintéticos genera efectos toxicológicos potenciales (Naveena *et al.*, 2008). Por lo tanto, en la industria alimentaria se requieren soluciones naturales y efectivas que puedan reemplazar estos antioxidantes, sin un efecto negativo en la calidad del producto terminado y la percepción de los consumidores (Karre *et al.*, 2013).

Los productos apícolas, por sus propiedades curativas, antibacterianas y antioxidantes (presencia de

INTRODUCTION

Oxidation is one of the main processes responsible for the reduction in quality and conservation of meat and derived products during storage and cooking, because compounds are generated that are related to meat turning rancid, affecting odor, color and texture of meat (Cortinas *et al.*, 2005). In the presence of oxygen and some oxidizing agents, free radicals or reactive oxygen species (ROSs) and nitrogen reactive species (NRSs) interact with lipids, proteins and nucleic acids of meat, speeding up oxidation processes (Falowo *et al.*, 2014).

Lipid oxidation is a complex process in which unsaturated fatty acids react with molecular O₂ through free radicals and form peroxides or other primary oxidation products (Argyri *et al.*, 2012). Secondary oxidation products, such as aldehydes, ketones and esters are responsible for even greater deterioration and the rancid flavor during frozen storage (Pérez-Chabela, 2007). Moreover, meat from birds fed with diet rich in fatty acids is prone to this oxidation (Narciso-Gaytan *et al.*, 2011).

Protein oxidation in meat is enhanced in the presence of thermal processes, carbonylation increases and water retention decreases, since the ability of proteins to engage in a chemical interaction with water molecules is reduced (Xiao *et al.*, 2011). According to Silva *et al.* (2016), the cooking process in meat is mainly related to the degradation of tryptophan, the formation of bisulfide bonds and a loss of texture. Additionally, essential amino acids are lost as a result of irreversible oxidative degradation and proteins become less digestible (Estévez, 2011; Lund *et al.*, 2011).

The lipid and protein oxidation processes in meat and meat products can be neutralized with antioxidative compounds (Karre *et al.*, 2013), yet the use of synthetic compounds produces potential toxicological problems (Naveena *et al.*, 2008). Therefore, food industry requires natural and effective solutions to replace these antioxidants, without a negative effect on the quality of the finished product and on perception of consumers (Karre *et al.*, 2013).

Due to their healing, antibacterial and antioxidant properties (presence of polyphenols, flavonoids and phenolic acids), bee products are considered natural antioxidants (Alvarez-Suarez *et al.*, 2018; Jiménez *et al.*, 2016). Based on this, the aim of this study

polifenoles, flavonoides y ácidos fenólicos) se consideran antioxidantes naturales (Alvarez-Suarez *et al.*, 2018; Jiménez *et al.*, 2016). En este sentido, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de miel de abeja sin aguijón (*Scaptotrigona mexicana*), sobre la calidad y conservación de la carne de pechuga de pollo (*Pectoralis major*), triturada y cocinada, durante su almacenamiento en refrigeración a 4 °C.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de carne de pollo y miel de abeja sin aguijón

La miel de abeja sin aguijón recién cosechada y usada en el estudio se obtuvo del meliponario ubicado en el Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. La miel se almacenó en refrigeración 15 d a 4 °C en frascos color ámbar hasta su inclusión en la carne de pollo. La miel presentó pH 3.85, humedad 22.35%, color 76.40 mm *pfound*, 6.80 mg kg⁻¹ hidroximetilfurfural, 72.10 °Bx, una acidez total de 65.40 meq kg⁻¹, 30.40 g 100g⁻¹ azúcares reductores directos, 42.60 g 100g⁻¹ azúcares reductores totales, polifenoles totales extraíbles 111.74 mg de eq. de ácido gálico (EAG) 100g⁻¹ y una actividad antioxidante de 1130.00 µmol eq. de trolox·100 g⁻¹ de miel.

La pechuga de pollo (*P. major*) usada se obtuvo de un mismo lote de producción con una condición normal de calidad (pH = 5.70, CRA = 75.30 mL 100 g⁻¹ y L* = 52.90); se limpió para quitar la piel, impurezas y exceso de grasa, se trocó y se trituroó con un cedazo de 3/8" en un molino de carne. El lote de carne triturada se dividió en cuatro tratamientos: un testigo (0% de miel) y 1, 3 y 5% de miel aplicada directamente. La miel se homogenizó a mano en la carne y de cada tratamiento se moldearon muestras en forma de hamburguesa de 100 g cada una. Las muestras se cocieron en un horno de convección (Hobart HEC-5, México), precalentado a 100°C, hasta alcanzar 72 °C de temperatura interna (Naveena *et al.*, 2008) y se enfriaron a temperatura ambiente. Luego, las muestras se colocaron en bolsas de polietileno permeable al oxígeno y se analizaron fisicoquímicamente a los 0, 3, 6, 9 y 12 d de almacenamiento a 4 °C. Al término de cada periodo de almacenamiento, se evaluó el rendimiento por cocción (RC), el pH, la acidez, la actividad de agua (a_w), la humedad, el color, el perfil de textura (TPA), la oxidación lipídica mediante el método de TBARS y la oxidación proteica mediante el método de DNPH. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Rendimiento de cocción (RC)

El RC se realizó según el método propuesto por Johnston *et al.* (2005). Cada muestra de carne con y sin miel, se pesó antes

was to evaluate the effect of adding honey from stingless bees (*Scaptotrigona mexicana*) on the quality and conservation of ground and cooked chicken (*Pectoralis major*) breast meat, during refrigeration storage at 4 °C.

MATERIALS AND METHODS

Samples of chicken meat and stingless bee honey

The freshly harvested stingless bee honey used in the study was obtained from the handmade hive ("meliponary") located at Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. The honey was stored in refrigeration for 15 d at 4 °C in amber-colored jars until use on the chicken meat. The honey had a pH of 3.85, a humidity of 22.35%, a color 76.40 mm *pfound*, 6.80 mg kg⁻¹ 5-(hydroxymethyl)-furfural (HMF), 72.10 °Bx, a total acidity of 65.40 meq kg⁻¹, direct reducing sugars 30.40 g 100 g⁻¹, total reducing sugars 42.60 g 100 g⁻¹, total removable polyphenols 111.74 mg of eq. gallic acid (EAG) 100 g⁻¹ and an antioxidant activity of 1130.00 µmol eq. of trolox·100 g⁻¹ of honey.

The chicken (*P. major*) breasts used were obtained from one production lot with a standard quality condition (pH = 5.70, CRA = 75.30 mL 100 g⁻¹ and L* = 52.90); it was cleaned to remove skin, impurities and excess fat, then chopped and ground using a 3/8" sieve in a meat grinder. The batch of ground meat was divided into four treatments: a control (0% honey) and 1, 3 and 5% honey, applied directly. Honey was mixed by hand on the meat of each treatment forming patty-shaped samples 100g each, per treatment. The samples were cooked in a convection oven (Hobart HEC-5, Mexico), which was preheated at 100°C until an internal temperature of 72°C was reached (Naveena *et al.*, 2008) and they were cooled at room temperature. Samples were then placed in oxygen-permeable polyethylene bags and physiochemical analyzed after 0, 3, 6, 9 and 12 d of storage at 4°C. At the end of each storage period, the cooking performance (RC) was evaluated, along with the pH, acidity, water activity (a_w), moisture, color, texture profile (TPA), lipid oxidation using TBARS method and protein oxidation on DNPH method. All analyses were performed in triplicate.

Cooking performance (RC)

The RC was performed following the method proposed by Johnston *et al.* (2005). Each meat sample, with and without honey, was weighed before and after cooking, was calculated by difference in weight in comparison to initial weight (g) and it was expressed as a percentage.

y después de su cocción, se calculó por diferencia de peso con respecto a su peso inicial (g) y se expresó en porcentaje.

$$RC=1-\frac{\text{Peso antes de cocción} - \text{Peso después de cocción}}{\text{Peso antes de cocción}} \times 100$$

pH

El pH se midió con un potenciómetro (HANNA HI99163), para lo cual 10 g de muestra se homogenizó con 100 mL de agua bidestilada.

Acidez titulable

El análisis de acidez titulable se realizó según la metodología de AOAC (1990). Una muestra de 10 g se homogenizó con 200 mL de agua destilada, se filtró a través de una gasa y se aforó a 250 mL. Una alícuota de 25 mL se mezcló con 75 mL de agua bidestilada y se tituló con NaOH 0.1 N y como indicador se utilizó fenolftaleína. El porcentaje de ácido láctico se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ ácido láctico} = \frac{(v-vb) \times (N \text{ NaOH}) \times (\text{Meq}) \times (\text{fd})}{\text{Peso antes de la muestra}} \times 100$$

donde v: volumen de NaOH gastado; vb: volumen de NaOH gastado en el blanco; N NaOH: normalidad del hidróxido de sodio; Meq ácido láctico: miliequivalentes de ácido láctico y fd: factor de dilución.

Actividad de agua (a_w)

La a_w se determinó con un medidor Pa_wKit® (Decagon Device USA) a 25 °C. Las muestras se colocaron en el contenedor del equipo y se registró la medición hasta su estabilización.

Color

El color se determinó con un colorímetro (Konica Minolta CR 400) en la escala CIELAB (L*, a* b*), se registraron los valores de L* (luminosidad), a* (- verde a + rojo) y b* (- azul a + amarillo). Las muestras se extrajeron de su envase, se expusieron a temperatura ambiente y se realizaron tres mediciones en la superficie de cada una.

Análisis de perfil de textura (TPA)

El TPA se realizó mediante el método establecido por Ganhão *et al.* (2010), con un texturómetro Shimadzu EZ-SX, a una

$$RC=1-\frac{\text{Weight before cooking} - \text{Weight after cooking}}{\text{Weight before cooking}} \times 100$$

pH

The pH value was measured using a potentiometer (HANNA HI99163), 10 g of sample was homogenized with 100 mL of double distilled water.

Titrateable acidity

The titrateable acidity analysis was carried out following the methodology by AOAC (1990). A 10 g sample was homogenized with 200 mL of distilled water, filtered using a gauze and adjusted to 250 mL. A 25 mL aliquot was mixed with 75 mL of double distilled water and titrated with NaOH 0.1 N and phenolphthalein was used as an indicator. The percentage of lactic acid was calculated using the following formula:

$$\% \text{ lactic acid} = \frac{(v-vb) \times (N \text{ NaOH}) \times (\text{Meq}) \times (\text{fd})}{\text{Sample weight}} \times 100$$

where v: volume of NaOH spent; vb: volume of NaOH spent on the target; N NaOH: sodium hydroxide normality; Meq ácido láctico: milliequivalents of lactic acid, and fd: dilution factor.

Water Activity (a_w)

The a_w was determined using a Pa_wKit® (Decagon Device, U.S.A.) gauge at 25 °C. Samples were placed on the container of the apparatus and the measurements were taken until stability.

Color

Color was determined with colorimeter (Konica Minolta CR 400) on CIELAB (L*, a* b*) scale, values L* (luminosity), a* (- green to + red) y b* (- blue to + yellow) were registered. Samples were extracted from container, exposed to ambient temperature and three measurements were recorded at the surface of each sample.

Texture profile analysis (TPA)

The TPA was carried out using the method established by Ganhão *et al.* (2010), with a Shimadzu EZ-SX texture meter at a speed of 60 mm min⁻¹. A cylindrical sample, 2.3 cm in diameter, was taken from the center of each sample using a hole puncher.

velocidad de 60 mm min⁻¹. De cada muestra se tomó un pedazo de 2.3 cm de diámetro de la parte central mediante un sacabocado.

Análisis de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS)

La oxidación de lípidos se midió con el método colorimétrico TBARS según Tarladgis *et al.* (1960). Una muestra de 10 g se mezcló con 15 mL de agua bidestilada a 50 °C y 5 mL de la disolución de PG-EDTA (0.5%). La mezcla se transfirió a un matraz Kjeldahl, ya rociado con un aerosol de silicona (Würth), se agregaron 77.5 mL de agua bidestilada, 2.5 mL de HCl 4 N y seis perlas de destilación. El matraz se colocó en una unidad de destilación y se recolectó 50 mL de condensado; 5 mL de este condensado se mezclaron con 5 mL de solución 2-TBA 0.02 M, la mezcla se agitó y se dejó en baño de agua a 100 °C por 35 min. Una vez atemperada la solución resultante, se midió la absorbancia a 532 nm. Como testigo se utilizó 5 mL de agua bidestilada con 5 mL de la solución 2-TBA. Los valores obtenidos se ajustaron por el factor de corrección de 7.8 y los valores de TBARS se expresaron como mg malondialdehído (MDA) kg⁻¹ de muestra.

Oxidación proteica

El análisis de la oxidación proteica por el método DNPH (2,4-dinitrofenilhidrazina) se realizó mediante la cuantificación de carbonilos totales de acuerdo con la metodología de Oliver *et al.* (1987). Una muestra de 2 g se homogenizó en un Polytron con 20 mL de K₂HPO₄ 10Mm + NaCl 0.6 M a pH 6 durante 30 s. La mezcla se filtró en una gasa de algodón, se tomaron 2 alícuotas de 100 µL (una para cuantificar proteínas y otra para carbonilos) y se añadió 1 mL de HCl al 10%. La mezcla se centrifugó a 1800 x g durante 7 min para la precipitación de proteínas y se desechó el sobrenadante. Al tubo con el precipitado destinado para cuantificación de proteínas se adicionó 1 mL de HCl 2N y al de carbonilos se añadió una disolución de 1 mL de HCl 2 N + DNPH al 2%. Ambos tubos reposaron 1 h a temperatura ambiente agitando en un vórtex cada 15 min. Al finalizar el tiempo se añadió 1 mL de TCA 10%, con agitación y centrifugación a 1800 x g por 7 min y se desechó el sobrenadante. El precipitado se lavó con 1.5 mL de etil-acetato (1:1) hasta desaparecer el color amarillo, cada precipitado se evaporó a sequedad en una campana de extracción de gases y se resuspendió con 1.5 mL de una disolución de GndCl al 6M + K₂HPO₄ al 20 mM. La concentración de proteína se determinó a 280 nm y se usó BSA como blanco. El contenido de carbonilos se determinó a 370 nm y se utilizó el coeficiente de extinción molar para las hidrazonas de 21.0 mM cm⁻¹. Los resultados se expresaron en nmol de carbonilos mg⁻¹ de proteína.

Analysis of Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)

Lipid oxidation was measured using the colorimetric TBARS method, following Tarladgis *et al.* (1960). A 10 g sample was mixed with 15 mL of double distilled water at 50 °C and 5 mL of the PG-EDTA solution (0.5%). The mixture was transferred into a Kjeldahl beaker, previously sprayed with a silicon aerosol (Würth); 77.5 mL of double distilled water were added, along with, 2.5 mL of HCl 4 N and six distillation beads. The beaker was placed in a distillation unit, and 50 mL of condensate were gathered; 5 mL of this condensate were mixed with 5 mL of 2-TBA 0.02 M solution, the mixture was stirred and left in a water bath at 100 °C for 35 min. Once the resulting solution temperature was mild, absorbance was measured at 532 nm. As a control, 5 mL of double distilled water with 5 mL of the 2-TBA solution were used. The values obtained were adjusted with a 7.8 correction factor and TBARS values were expressed as mg malondialdehyde (MDA) kg⁻¹ of sample.

Protein oxidation

The analysis of protein oxidation using the DNPH (2,4-dinitrophenylhydrazine) method was carried out by quantifying the total carbonyls, following the method by Oliver *et al.* (1987). One 2 g sample homogenized in a Polytron with 20 mL of K₂HPO₄ 10Mm + NaCl 0.6 M at a pH 6 for 30 s. The mixture was filtered using a cotton gauze, two 100 µL aliquots were taken (one to quantify proteins and another for carbonyls) and 1 mL of 10 % HCl was added. The mixture was centrifuged at 1800 x g for 7 min for protein precipitation, and the supernatant was discarded. In the tube with the precipitate to be used for the quantification of proteins, we added 1 mL of HCl 2N, and in the one with carbonyls, a solution of 1 mL of HCl 2 N + 2% DNPH was added. Both tubes stood at room temperature, stirring in a vortex every 15 min. Afterwards, 1 mL of 10% TCA was added, stirred and centrifuged at 1800 x g for 7 min and the supernatant was discarded. The precipitate was washed with 1.5 mL of ethyl acetate (1:1) until the yellow color vanished; each precipitate was evaporated until dried in a gas extraction chamber and resuspended with 1.5 mL of a GndCl solution at 6M + K₂HPO₄ at 20 mM. Protein concentration was determined at 280 nm and BSA was used as a target. Carbonyl content was determined at 370 nm and the molar extinction coefficient was used for the 21.0 mM cm⁻¹ hydra zones. Results were expressed in nmol of carbonyls mg⁻¹ of protein.

Statistical analysis

Experiment was set as a completely randomized design, with a factorial arrangement of A x B as treatments; factor A

Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar, con un arreglo factorial A x B en los tratamientos; el factor A fue el porcentaje de adición de miel de abeja sin aguijón con cuatro niveles (0, 1, 3 y 5%), y el factor B fue el tiempo de almacenamiento con cinco niveles (0, 3, 6, 9 y 12 d). Los datos fisicoquímicos se analizaron con ANDEVA (GLIMMIX SAS 9.4). La comparación múltiple de medias se realizó con la prueba HSD ($p \leq 0.05$). Todos los datos se presentan como las medias \pm error estándar. Para las variables respuesta de oxidación lipídica y proteica se realizó un análisis de regresión lineal múltiple (PROC REG) con las variables independientes concentración de miel y tiempo de almacenamiento en refrigeración con SAS 9.4 (SAS Institute, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento en cocción (RC)

El RC fue directamente proporcional al porcentaje de miel; con la adición del 5% el rendimiento fue mayor (13.59%) respecto al testigo (0%), aspecto tecnológicamente favorable (Cuadro 1). Johnston *et al.*

was the percentage of addition of stingless bee honey with four levels (0, 1, 3 and 5%) and factor B was the time of storage with five levels (0, 3, 6, 9 and 12 d). The physicochemical data were analyzed using an ANOVA (GLIMMIX SAS 9.4). The multiple comparison of means was carried out using the HSD test ($p \leq 0.05$). All the data are presented as the means \pm standard error. For the lipid and protein oxidation response variables, a multiple lineal regression analysis (PROC REG) was carried out, with honey concentration and time in refrigeration storage as independent variables in SAS 9.4 (SAS Institute, 2013).

RESULTS AND DISCUSSION

Cooking performance (RC)

The RC was directly proportional to the percentage of honey; with the addition of 5%, performance was higher (13.59%) than the control (0%), a technologically favorable side (Table 1). Johnston *et al.* (2005) reported similar performances at cooking of beef samples with an addition of 10% bee honey (*Apis mellifera*). This is a product highly hygroscopic, due to great content of sugars (Machado *et al.*, 2017)

Cuadro 1. Valores medios observados en variables fisicoquímicas de pechuga de pollo, adicionada con diferentes concentraciones de miel de abeja sin aguijón (*S. mexicana*) y diferentes tiempos de refrigeración.

Table 1. Mean values observed in physicochemical variables in chicken breast, with different added concentrations of stingless bee honey (*S. mexicana*) and different refrigeration storage times.

Variable respuesta	Nivel de inclusión de miel (%)				Trat	p \leq 0.05	
	0	1	3	5		Tiempo	Trat*tiempo
RC	73.72 \pm 2.20a	75.90 \pm 5.13a	80.47 \pm 4.97ab	87.31 \pm 3.67b			
pH	6.28 \pm 0.02a	6.28 \pm 0.02a	6.26 \pm 0.02a	6.24 \pm 0.02a	0.456	0.406	1.000
Acidez	0.48 \pm 0.02b	0.54 \pm 0.02ab	0.56 \pm 0.02ab	0.57 \pm 0.02a	0.035	0.014	0.995
a _w	0.951 \pm 0.003b	0.959 \pm 0.003ab	0.963 \pm 0.003a	0.969 \pm 0.003a	0.001	0.038	0.883
Dureza	69.04 \pm 4.36a	73.51 \pm 4.16a	70.68 \pm 4.16a	80.29 \pm 4.16a	0.2595	0.896	1.000
L*	76.99 \pm 0.38a	77.55 \pm 0.38a	77.13 \pm 0.38a	77.10 \pm 0.38a	0.7372	0.003	0.990
a*	3.83 \pm 0.20a	3.29 \pm 0.20ab	2.55 \pm 0.20bc	2.13 \pm 0.20c	< 0.0001	0.004	0.866
b*	36.24 \pm 1.18a	35.26 \pm 1.18a	35.34 \pm 1.18a	33.51 \pm 1.18a	0.4323	0.1543	0.990
Oxidación lipídica	1.49 \pm 0.018a	1.20 \pm 0.018b	0.93 \pm 0.018c	0.89 \pm 0.018c	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Oxidación proteica	4.05 \pm 0.063a	4.25 \pm 0.066a	4.26 \pm 0.066a	3.40 \pm 0.063b	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Medias con letra distinta en hilera indican diferencia estadística ($p \leq 0.05$); Trat, Tiempo y Trat x Tiempo (interacción tratamiento con tiempo de almacenamiento) con $p \leq 0.05$: representan efecto significativo sobre las variables analizadas; RC: Rendimiento por cocción, medición única después del proceso de cocción, no se evaluó en el tiempo, expresada en %. Acidez en % ácido láctico. Dureza en Newton, N. Oxidación lipídica en mg MDA kg⁻¹ de carne cocida y Oxidación proteica en nmol de carbonilos por mg⁻¹ proteína. ❖ x

x
x
x
x

(2005) reportaron rendimientos similares de cocción en muestras de carne de res adicionadas con 10% miel de abeja (*Apis mellifera*). La miel es un producto con higroscopía alta debido al contenido elevado de azúcares (Machado *et al.*, 2017) y esta propiedad se asocia con la conservación de la integridad de las membranas de las fibras musculares en el proceso de cocción (EL-Kalyoubi, *et al.*, 2014), lo cual reduce la pérdida de humedad y explica rendimientos mayores después de la cocción.

pH y acidez titulable

El pH no mostró diferencias ($p=0.456$) entre los tratamientos, ni durante el tiempo de almacenamiento en refrigeración. En cambio, en la acidez se encontró diferencia ($p=0.035$) entre las muestras testigo y las adicionadas con miel al 5%, con un aumento de 0.9% de ácido láctico (Cuadro 1). La miel de *S. mexicana*, se caracteriza por tener bajo pH y alta acidez, debido al contenido de ácidos orgánicos en la miel (Jiménez *et al.*, 2016), por lo cual el aumento en la acidez de las muestras se puede atribuir a las características propias de la miel.

Actividad de agua (a_w)

La adición de miel en la pechuga de pollo tuvo influencia significativa ($p=0.0009$) en la a_w ; en los tratamientos con 1 y 3% de miel aumentó 0.01 y 0.02 con 5%, comparada con el testigo $a_w = 0.951$ (Cuadro 1). Johnston *et al.* (2005) reportaron resultados similares, con una a_w en intervalo de 0.94 - 0.96 en carne de res adicionada con 5, 10 y 15% de miel de *A. mellifera*; de manera similar, no encontraron diferencias ($p>0.05$) entre los tratamientos durante 12 d de almacenamiento.

Dado que la a_w es la cantidad de agua disponible para los microorganismos, podría sugerirse que las muestras adicionadas con miel son más susceptibles a la descomposición por microorganismos. Sin embargo, la miel de abeja tiene efecto antimicrobiano debido a la acidez, la conversión de la glucosa en peróxido de hidrógeno, la presión osmótica producida por la concentración alta de azúcares, así como la presencia de ácidos fenólicos, terpenos, alcohol bencílico y sustancias volátiles (Machado *et al.*, 2017). A pesar de que en este estudio dicho efecto no se analizó, se espera que la adición de la miel de *S. mexicana* tenga una influencia positiva en la calidad y vida útil del producto.

and this property is related to the conservation of the integrity in membranes of the muscle fibers at the cooking process (EL-Kalyoubi, *et al.*, 2014), which reduces humidity losses that accounts for higher yields after cooking.

pH and titratable acidity

There were no differences ($p=0.456$) on pH among treatments or in the time of refrigeration storage. However, there was difference ($p=0.035$) between acidity in control samples and those with 5% added honey, with an increase of 0.9% of lactic acid (Table 1). The honey from *S. mexicana* is characterized by a low pH and a high acidity, due to the amount of fatty acids in honey (Jiménez *et al.*, 2016), and therefore the increase in the acidity of the samples can be attributed to honey intrinsic features.

Water Activity (a_w)

The addition of honey on the chicken breasts had a significant influence ($p=0.0009$) on the a_w ; in the treatments with 1 and 3% honey, it increased 0.01 and 0.02 with 5%, in comparison with the control $a_w = 0.951$ (Table 1). Johnston *et al.* (2005) reported similar results, with an a_w in an interval of 0.94 - 0.96 in beef with 5, 10 and 15% added *A. mellifera* honey; similarly, no differences were found ($p>0.05$) among the treatments for the 12 h of storage.

Given that a_w is the amount of water available for the microorganisms, it could be suggested that the samples with added honey are more susceptible to decomposition by microorganisms. However, bee honey has an antimicrobial effect due to its acidity, glucose conversion into hydrogen peroxide, and osmotic pressure produced by the high concentration of sugars, as well as contents of phenolic acids, terpenes, benzyl alcohol and volatile substances (Machado *et al.*, 2017). Despite such effects were not analyzed in this study, the *S. mexicana* was expected to have a positive influence on the quality and shelf life of the product.

The color in the samples with added honey showed no difference ($p=0.737$) in L^* between treatments. In index a^* there was a significant effect ($p\leq 0.0001$) of the treatments and time of storage; 3 and 5% honey showed lower values (2.55 and 2.13, respectively). Index b^* remained stable for the 12 d of refrigeration storage (Table 1).

El color en las muestras adicionadas con miel no mostró diferencia ($p = 0.737$) en L^* entre tratamientos. En el índice a^* hubo efecto significativo ($p \leq 0.0001$) de los tratamientos y del tiempo de almacenamiento; 3 y 5% de miel tuvieron un valor menor (2.55 y 2.13, respectivamente). El índice b^* permaneció estable durante los 12 d de almacenamiento en refrigeración (Cuadro 1).

La coloración de la carne se atribuye al proceso de cocción, y los lípidos actúan como agentes de transferencia de calor que reaccionan con los componentes de proteínas y carbohidratos de los alimentos, y generan un color marrón (Sikorski, 2006). Ávila *et al.* (2013) mencionan que la oxidación de los ácidos grasos afecta el color de la carne y los productos cárnicos. Por tanto, valores bajos en a^* en las muestras adicionadas con 3 y 5% de miel se relacionan con el proceso de cocción y también con una actividad menor en la oxidación lipídica; es decir, al efecto antioxidante de la miel de *S. mexicana*.

EL-Kalyoubi *et al.* (2014) registraron un aumento en la luminosidad en 3 a 4 unidades y una tonalidad más oscura a la carne de pollo cocida, comparada con el testigo durante 14 d de almacenamiento en carne de pollo adicionada con miel de *A. mellifera* (10, 15 y 20%). De manera similar, Alabdulkarim *et al.* (2012), encontraron una disminución significativa ($p \leq 0.05$) en el color en muestras de carne de pollo adicionadas con miel de *A. mellifera* al 5 y 10% durante su almacenamiento por 60 d.

La dureza expresada como la fuerza máxima necesaria para comprimir la muestra, se observó con un incremento ligero en las muestras adicionadas con miel, pero estas diferencias no fueron significativas ($p = 0.259$) respecto al control (Cuadro 1). Otras variables del perfil de textura (TPA) tampoco mostraron diferencias ($p \geq 0.05$) por efecto de la adición de miel durante el almacenamiento en refrigeración a 4 °C

Oxidación lipídica

Los procesos de oxidación en la carne generan una pérdida del valor nutricional y disminución de la calidad total. Los resultados indicaron que la oxidación lipídica se produjo desde el inicio (0 d) debido principalmente a la exposición de las muestras al oxígeno. La tendencia de la oxidación lipídica en los diferentes tratamientos fue directamente proporcional

The color of the meat is due to the cooking process, and lipids act as heat-transfer agents that react with the food's protein and carbohydrate components, producing a brownish color (Sikorski, 2006). Ávila *et al.* (2013) mention that fatty acids oxidation affects the color of raw meat and meat products. Therefore, low a^* values in the samples with 3 and 5% added honey are related with the cooking process and with a lower activity in lipid oxidation; that is, with the antioxidant effect of *S. mexicana* honey.

EL-Kalyoubi *et al.* (2014) registered an increase of 3 to 4 units in the luminosity and a darker tone in the cooked chicken meat, in comparison with the control, during 14 h of storage of chicken meat with added *A. mellifera* honey (10, 15 and 20%). Similarly, Alabdulkarim *et al.* (2012) found a significant reduction ($p \leq 0.05$) in the color of chicken meat samples with added *A. mellifera* honey at 5 and 10% during a 60 d storage period.

Hardness, expressed as the maximum force needed to compress the sample, was observed with a slight increase in the samples with added honey, although these differences were not significant ($p = 0.259$) compared to control (Table 1). Other texture profile variables (TPA) showed no differences ($p \geq 0.05$) due to the effect of added honey during refrigeration storage at 4 °C.

Means with different letters per row indicate statistical differences ($p \leq 0.05$); Treat, Time and Treat x Time (interaction of treatment and time of storage) at $p \leq 0.05$: represent significant effect on analyzed variables; RC: Cooking performance (%), single measured after the cooking process, it was not evaluated through time. Acidity, % lactic acid. Hardness in Newtons, N. Lipid oxidation in mg MDA kg^{-1} of cooked meat and Protein oxidation in nmol de carbonyls per mg^{-1} protein.

Lipid oxidation

The oxidation processes in the meat lead to a loss in the nutritional value and a reduction in total quality. Results indicated that lipid oxidation was produced from the beginning (0 d), due mainly to oxygen exposure. Lipid oxidation trend in different treatments was directly proportional to refrigeration storage time. TBARS production was lower in meat added with 5% honey (Figure 1a), with a determination coefficient of 78.28%; which resulted

al tiempo de almacenamiento en frío. La producción de TBARS fue menor en la carne adicionada con 5% de miel (Figura 1a), con coeficiente de determinación del 78.28%; lo cual dio como resultado una producción

in an overall lower production of TBARS during 12 d of storage (55.73% less lipid oxidation). This means greater antioxidant ability during storage at 4 °C (Table 1).

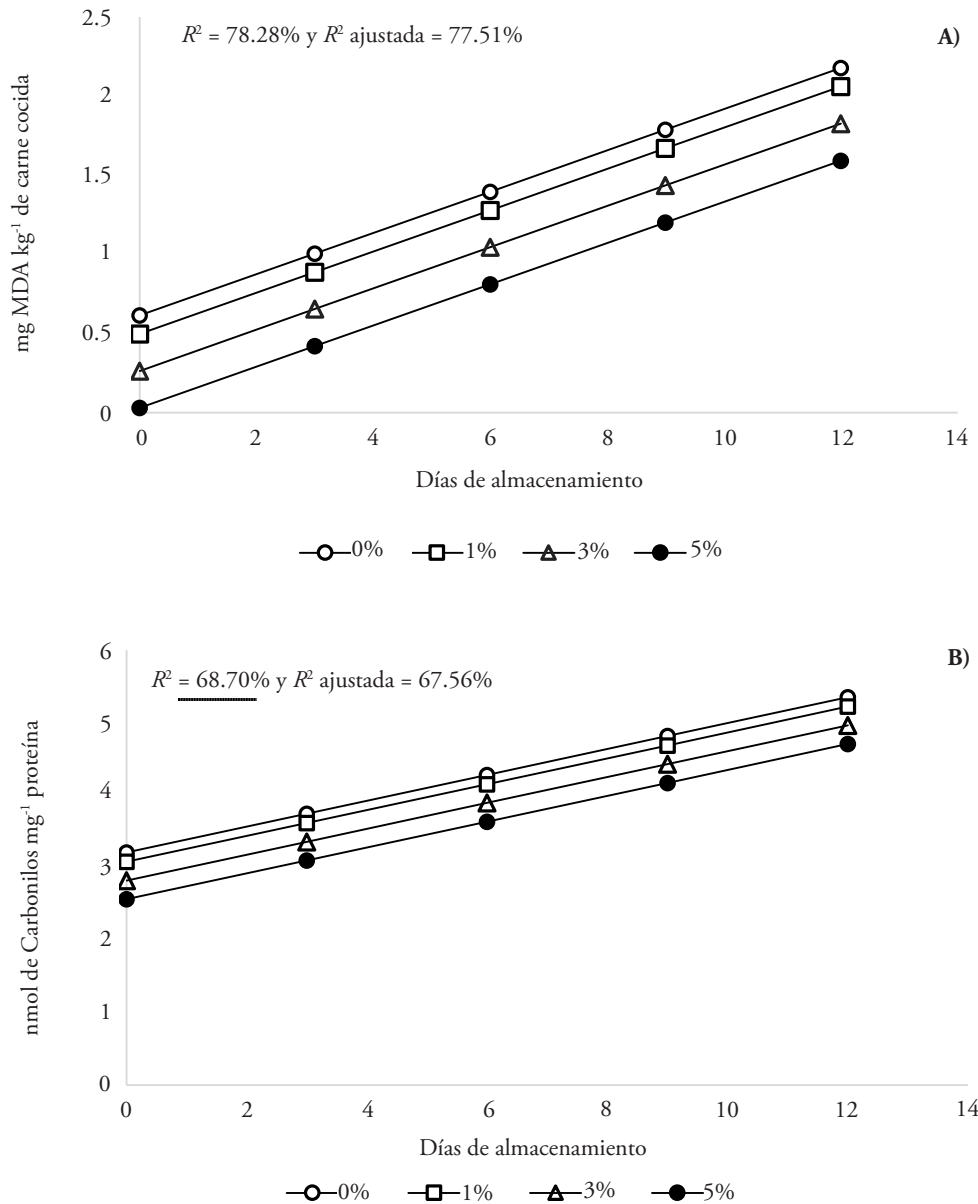


Figura 1. Evolución de la oxidación lipídica (A) y proteica (B) en pechuga de pollo (*Pectoralis major*), adicionada con cuatro concentraciones de miel de *S. mexicana* (0, 1, 3 y 5%) y cuatro periodos de tiempo de almacenamiento a 4 °C (0, 3, 6, 9 y 12 d). Análisis de regresión lineal múltiple: oxidación lipídica = $0.6149 - 0.1171X_1 + 0.13024X_2$ y oxidación proteica = $3.21 - 0.1292X_1 + 0.1785X_2$.

Figure 1. Trend in lipid (a) and protein oxidations (b) in chicken (*Pectoralis major*) breast, with four added concentrations of *S. mexicana* honey (0, 1, 3 y 5%) at four time periods of storage at 4 °C (0, 3, 6, 9 y 12 d). Multiple linear regression models: lipid oxidation = $0.6149 - 0.1171X_1 + 0.13024X_2$ y protein oxidation = $3.21 - 0.1292X_1 + 0.1785X_2$.

de TBARS menor durante los 12 d de almacenamiento (55.73% menos de oxidación lipídica). Esto significa una capacidad antioxidante mayor durante el almacenamiento a 4 °C (Cuadro 1).

La oxidación lipídica se atribuye a la interacción del oxígeno, la luz y la cocción como agentes prooxidantes, con los ácidos grasos poliinsaturados presentes en la carne durante la refrigeración (Ahn *et al.*, 1993). Sárraga *et al.* (2002) indicaron que el daño oxidativo es mayor en carne cocida durante el almacenamiento en refrigeración por la liberación del hierro endógeno, hemoglobina, mioglobina, ferritina y hemosiderina que forman quelatos con aminoácidos, nucleótidos y fosfatos, lo que induce la oxidación de lípidos. La oxidación lipídica se afecta por valores bajos en pH y contenidos de agua bajos, lo cual potencializa la capacidad de los metales y las proteínas de las hemoproteínas para oxidar los lípidos (Gong *et al.*, 2010). Sin embargo, esto no es aplicable en nuestro estudio porque el pH permaneció estable y la a_w aumentó con la adición de la miel, al igual que el RC. Por lo tanto, la reducción de la oxidación lipídica se puede atribuir al efecto de los compuestos antioxidantes presentes en la miel de *S. mexicana* (Alvarez-Suarez *et al.*, 2018; Jiménez *et al.*, 2016).

De acuerdo con los resultados en este estudio, Sampaio *et al.* (2012) documentaron una disminución en la oxidación lipídica en carne de pollo cocida y adicionada con una mezcla de 5% de miel, orégano y salvia. EL-Kalyoubi *et al.* (2014) encontraron que la inclusión de miel de *A. mellifera* al 20% en carne de pollo presentó valores de TBARS bajos durante 14 d de almacenamiento. Asimismo, Johnston *et al.* (2005) observaron una disminución de oxidación lipídica en hamburguesas de carne de res adicionada con miel de *A. mellifera* al 5, 10 y 15%.

Oxidación proteica

La oxidación proteica de las muestras de pechuga de pollo adicionada con miel, mostró una tendencia directamente proporcional al periodo de almacenamiento. En el testigo (0%) se observó un contenido de carbonilos mayor por mg de proteína, desde el inicio hasta el final del almacenamiento. Mientras que en las muestras adicionadas con miel la oxidación proteica fue menor y con un coeficiente de determinación de 68.70% (Figura 1b). Con 5% de miel se obtuvo 40% menos oxidación (2.33 nmol de

Lipid oxidation is attributed to the interaction of oxygen, light and cooking as oxidizing agents, with polyunsaturated fats present in the meat during refrigeration (Ahn *et al.*, 1993). Sárraga *et al.* (2002) indicated that oxidative damage is greater in cooked meat during refrigeration storage due to endogenous iron release, hemoglobin, myoglobin, ferritin and hemosiderin, forming chelates with amino-acids, nucleotides and phosphates, and inducing lipid oxidation. Lipid oxidation is affected by low pH values and low water contents, which boosts the ability of the metals and hemoproteins to oxidize lipids (Gong *et al.*, 2010). However, this does not apply to our study because the pH remained stable and a_w increased with the addition of honey, like RC. Therefore, the decrease in lipid oxidation can be attributed to the effect of the antioxidant compounds present in *S. mexicana* honey (Alvarez-Suarez *et al.*, 2018; Jiménez *et al.*, 2016).

According to the results in this study, Sampaio *et al.* (2012) reported decrease in lipid oxidation in cooked chicken meat with an added mixture of 5% honey, oregano and sage. EL-Kalyoubi *et al.* (2014) found that addition of *A. mellifera* honey at 20% in chicken meat allowed lower TBARS values during 14 d at storage. Likewise, Johnston *et al.* (2005) observed a decrease in the lipid oxidation of beef hamburger patties with added *A. mellifera* honey at 5, 10 and 15%.

Protein oxidation

The protein oxidation of the chicken breast samples with added honey displayed a trend proportionally direct to storage period. In the control (0%), a higher content of carbonyls per mg of protein was observed from the beginning to the end of the storage period, whereas in the samples with added honey, protein oxidation was lower and with a 68.70% determination coefficient (Figure 1b). With 5% honey, 40% less oxidation (2.33 nmol of carbonyls mg^{-1} protein) than the control was obtained after 12 h of storage (Table 1).

The presence of carbonyl groups found in proteins is used as a marker of protein oxidation. Reactive to oxygen species trigger the oxidation of amino-acids residues from lateral chains, protein-protein bonds formation, and the oxidation of protein skeleton, resulting in protein fragmentation

carbonilos mg^{-1} proteína) que el testigo, después de 12 d de almacenamiento (Cuadro 1).

La presencia de grupos carbonilos en las proteínas se utiliza como marcador de la oxidación proteica. Las especies reactivas al oxígeno desencadenan la oxidación de residuos de aminoácidos de las cadenas laterales, la formación de uniones proteína-proteína y la oxidación del esqueleto de la proteína, lo cual da como resultado la fragmentación de proteínas (Berlett y Stadtman, 1997). Estévez y Cava (2004) mencionaron que el almacenamiento en refrigeración conduce a una carbonilación mayor de proteínas por la relación con el grado de oxidación lipídica y el aumento del hierro endógeno. Todo lo cual afecta la funcionalidad y solubilidad de la proteína, y causa un aumento en la pérdida de agua, geles proteicos más débiles o emulsiones menos estables. Estas modificaciones tienen un efecto negativo en la calidad de la carne en términos de textura, ternura y color (Ventanas *et al.*, 2006). Sin embargo, los resultados de nuestro estudio mostraron que la adición de miel *S. mexicana* (5%), aumentó RC y a_w , y retrasó la oxidación proteica en comparación con las muestras de carne sin miel.

CONCLUSIONES

La inclusión de miel de abeja sin aguijón (*S. mexicana*) permitió la conservación de la pechuga de pollo triturada y cocinada durante su almacenamiento en refrigeración hasta por 12 d. La dureza, el pH y el color no mostraron efectos con la adición de miel, estas variables de calidad se mantuvieron estables durante el almacenamiento.

La calidad tecnológica de la carne mejoró y disminuyeron las pérdidas de peso por efecto de la cocción. La oxidación, lipídica y proteica, de la carne fue directamente proporcional al tiempo de almacenamiento en refrigeración. Pero la adición de este tipo de miel causó una disminución significativa en dicha oxidación conforme aumentó el porcentaje añadido.

La miel de abeja sin aguijón se presenta entonces como un producto funcional, natural y alternativo para la conservación de la calidad de la carne, sobre todo como sustituto de antioxidantes sintéticos.

LITERATURA CITADA

Ahn, D. U., F. H. Wolfe, and J. S. Sim. 1993. Prevention of lipid oxidation in precooked turkey meat patties with hot

(Berlett and Stadtman, 1997). Estévez and Cava (2004) mentioned that refrigeration storage leads to a greater protein carbonylation, due to the relationship with lipid oxidation degree and with the increase of endogenous iron. Therefore, the functionality and the solubility of the protein is affected, causing an increase in water loss, weaker protein gels or less stable emulsions. Such modifications have a negative effect on meat quality in terms of texture, softness and color (Ventanas *et al.*, 2006). However, results in our study showed that adding *S. mexicana* honey (5%) increased RC and a_w and delayed protein oxidation compared to meat samples without honey.

CONCLUSIONS

The addition of honey from stingless bees (*S. mexicana*) helped preserve ground and cooked chicken breast during refrigeration storage for up to 12 d. The hardness, pH and color showed no effects with the addition of honey, and these variables remained stable during storage.

The technological quality of the meat increased, and weight losses caused by the cooking decreased. Lipid and protein oxidation in the meat were directly proportional to the time of refrigeration storage. However, the addition of this type of honey caused a significant reduction in these oxidations as the percentage added increased.

The honey from stingless bees is therefore presented as a functional, natural and alternative product for meat quality conservation, particularly as a substitute for synthetic antioxidants.

—End of the English version—

---*---

packaging and antioxidant combinations. *J. Food Sci.* 58: 283-287.

Alabdulkarim, B., Z. A. N. Bakeet, and S. Arzoo. 2012. Effect of frying oils on quality characteristics of frozen chicken patties incorporated with honey. *Afr. J. Biotechnol.* 11: 2985-2992.

AOAC. 1990. Acidez titulable. 947.05. In *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist (AOAC)*. 15th, Edición. Washington DC.

Argyri, A. A., E. Z. Panagou, and G. J. Nychas. 2012. Advances in vacuum and modified atmosphere packaging of poultry products. *Adv. Meat Poult. Seaf. Packag.* pp. 205-247.

- Alvarez-Suarez, J. M., F. Giampieri, A. Brenciani, L. Mazzoni, M. Gasparri, A. M. González-Paramás, C. Santos-Buelga, G. Morroni, S. Simoni, T. Y. Forbes-Hernández, S. Afrin, E. Giovanetti, and M. Battino. 2018. *Apis mellifera* vs *Melipona beecheii* cuban polyfloral honeys: a comparison based on their physicochemical parameters, chemical, composition and biological properties. *LWT – Food Sci. and Tech.* 87: 272-279.
- Ávila, R., F. A. Pro-Martínez, E. Sosa-Montes, J. M. Cuca-García, C. M. Becerril-Pérez, J. L. Figueroa-Velasco, and C. Narciso-Gaytán, C. 2013. Dietary supplemented and meat-added antioxidants effect on the lipid oxidative stability of refrigerated and frozen cooked chicken meat. *Poultry Sci.* 92: 243-249.
- Berlett, B. S., and E. R. Stadtman. 1997. Protein oxidation in aging, disease, and oxidative stress. *J. Biol. Chem.* 272: 20313-20316.
- Cortinas, L., A. Barroeta, C. Villaverde, J. Galobart, F. Guardiola, and M. D. Baucells. 2005. Influence of the dietary polyunsaturation level on chicken meat quality: lipid oxidation. *Poultry Sci.* 84: 48:55.
- El-Kalyoubi, M. H., M. M. Khalaf, A. S. Nadir, M. A. Wafaa, and M. E. Mansour. 2014. Bee honey effect against microbial and oxidation in chicken slices. *Middle East J. Appl. Sci.* 4: 884-893.
- Estévez, M. 2011. Protein carbonyls in meat systems: A review. *Meat Sci.* 89: 259-279.
- Estévez, M., and R. Cava. 2004. Lipid and protein oxidation, release of iron from hemo molecule and colour deterioration during refrigerated storage of liver pâté. *Meat Sci.* 68: 551-558.
- Falowo, A. B., P. O. Fayemi, and V. Muchenje. 2014. Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Res. Int.* 64: 171-181.
- Ganhão, R., D. Morcuende, and M. Estévez. 2010. Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts: Influence on colour and texture deterioration during chill storage. *Meat Sci.* 85: 402-409.
- Gong, Y., R. S. Parker, and M. P. Richards. 2010. Factors affecting lipid oxidation in breast and thigh muscle from chicken, turkey and duck. *J. Food Biochem.* 34: 869-885.
- Jiménez, M., C. I. Beristain, E. Azuara, M. R. Mendoza, and L. A. Pascual. 2016. Physicochemical and antioxidant properties of honey from *Scaptotrigona mexicana* bee. *J. Apicult. Res.* 55: 151-160.
- Johnston, J. E., H. A. Sepe, C. L. Miano, R. G. Brannan, and A. L. Alderton. 2005. Honey inhibits lipid oxidation in ready-to-eat ground beef patties. *Meat Sci.* 70: 627-631.
- Karre, L., K. Lopez, and K. J. Getty. 2013. Natural antioxidants in meat and poultry products. *Meat Sci.* 94: 220-227.
- Lund, M. N., M. Heinonen, C. P. Baron, and M. Estévez. 2011. Protein oxidation in muscle foods: A review. *Mol. Nutr. Food Res.* 55: 83-95.
- Machado, A. A., L. Bicudo, M. T. Sancho, and A. Pascual-Mate. 2017. Composition and properties of *Apis mellifera* honey: A review. *J. Apicult. Res.* 57: 5-37.
- Narciso-Gaytan, C., D. Shin, A. R. Sams, J. T. Keeton, R. K. Miller, S. B. Smith, and M. X. Sánchez-Plata. 2011. Lipid oxidation stability of omega-3-and conjugated linoleic acid-enriched sous vide chicken meat. *Poultry Sci.* 90:473-480.
- Naveena, B. M., A. R. Sen, R. P. Kingsly, D. B. Singh, and N. Kondaiah. 2008. Antioxidant activity of pomegranate rind powder extract in cooked chicken patties. *Int. J. Food Sci. Tech.* 43: 1807-1812.
- Oliver, C. N., B-W Ahn, E. J. Moerman, S. Goldstein, and E. R. Stadtman. 1987. Age-related changes in oxidized proteins. *J. Biol. Chem.* 262: 5488-5491.
- Pérez-Chabela, M. D. L. 2007. Shelf life of fresh and frozen poultry. *In: Nollet, L. M. L. (ed). Handbook of Meat, Poultry and Seafood Quality.* Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA. pp: 467-474.
- Sampaio, G. R., T. Saldanha, R. A. M. Soares, and E. A. F. S. Torres. 2012. Effect of natural antioxidant combinations on lipid oxidation in cooked chicken meat during refrigerated storage. *Food Chem.* 135: 1383-1390.
- Sárraga, C., I. Carreras, and J. A. G. Regueiro. 2002. Influence of meat quality and NaCl percentage on glutathione peroxidase activity and values for acid-reactive substances of raw and dry-cured *Longissimus dorsi*. *Meat Sci.* 62: 503-507.
- SAS Institute. 2013. SAS/STAT® 12.3 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Sikorski, Z. E. 2006. Chemical and Functional Properties of Food Components. *Food Lipids.* 2a. ed. CRC press. pp: 123-140.
- Silva, F. A., V. C. Ferreira., M. S. Madruga, and M. Estévez. 2016. Effect of the cooking method (grilling, roasting, frying and sous-vide) on the oxidation of thiols, tryptophan, alkaline amino acids and protein cross-linking in jerky chicken. *J. Food Sci. Tech.* 53: 3137-3146.
- Tarladgis, B. G., B. M. Watts., M. T. Younathan, and L. Dugan. 1960. A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 37: 44-48.
- Ventanas, S., M. Estevez, J. F. Tejada, and J. Ruiz. 2006. Protein and lipid oxidation in *Longissimus dorsi* and dry cured loin from Iberian pigs as affected by crossbreeding and diet. *Meat Sci.* 72: 647-655.
- Xiao, S., W. G. Zhang, E. J. Lee, C. W. Ma, and D. U. Ahn. 2011. Lipid and protein oxidation of chicken breast rolls as affected by dietary oxidation levels and packaging. *J. Food Sci.* 76:612-617.