



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

USO DE INGREDIENTES NO CONVENCIONALES EN LA ALIMENTACIÓN DE POLLOS DE ENGORDA Y SU RELACIÓN CON CALIDAD DE LA CARNE

BEATRIZ GODÍNEZ JUÁREZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2021

La presente tesis titulada: **USO DE INGREDIENTES NO CONVENCIONALES EN LA ALIMENTACIÓN DE POLLOS DE ENGORDA Y SU RELACIÓN CON CALIDAD DE LA CARNE**, realizada por la alumna: Beatriz Godínez Juárez, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS

**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

CONSEJERO



DR. OMAR HERNÁNDEZ-MENDO

ASESOR



DR. ARTURO PRO MARTÍNEZ

ASESOR



DR. DAVID HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

ASESOR



DR. GABRIEL LEIVA RUELAS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, junio 2021

USO DE INGREDIENTES NO CONVENCIONALES EN LA ALIMENTACIÓN DE POLLOS DE ENGORDA Y SU RELACIÓN CON CALIDAD DE LA CARNE.

**Beatriz Godínez Juárez, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2021**

RESUMEN

La industria avícola es de gran importancia ya que sus productos proporcionan alimentos con alto nivel proteico a precio accesible. Sin embargo, la creciente demanda ha llevado a implementar alternativas para mejorar la producción en cuanto a cantidad, seleccionado líneas de aves de crecimiento rápido con alimentación a base de maíz y soya. Adicionalmente el espacio donde se mantienen a los animales es reducido, promoviendo mayores ganancias de peso. Todas estas adecuaciones han generado problemas de bienestar animal.

Actualmente se buscan alternativas para la producción que sean sustentables y sobre todo que disminuya los costos de producción. Se han realizado diversos estudios sobre la utilización de ingredientes alternativos y su impacto en variables productivas como ganancia de peso y conversión alimenticia, pero no sobre el efecto que puedan tener en la calidad de la carne.

Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto en la calidad de la carne de pollos de gorda derivado de la utilización de ingredientes no convencionales en la dieta.

En el Capítulo uno describe un experimento donde se evaluó el efecto de incluir semilla de girasol parcialmente descascarillada en la dieta de pollos en pastoreo sobre la calidad de la carne. Se utilizaron doscientos cuarenta pollos Ross 308 de un día de edad, distribuidos al azar en cuatro tratamientos con seis repeticiones de 10 aves cada una. Los tratamientos fueron asignados completamente al azar en un arreglo factorial 2x2, donde tipo de crianza (confinamiento o pastoreo) y dieta (dieta base o dieta base sustituyendo 10% pasta soya por semilla de girasol parcialmente descascarillada). Posteriormente a las siete semanas de edad, setenta y dos aves se mataron, 18 por tratamiento, extrayéndose el músculo *Pectoralis major* para el análisis de calidad en la carne. Las variables pH, color, capacidad de retención de agua (CRA), Aw, resistencia al corte (RC), grasa, proteína cruda (PC), materia seca (MS), humedad, colágeno y perfil de ácidos grasos, se analizaron con el procedimiento GLM.

Adicionalmente para capacidad antioxidante se utilizó un diseño con medidas repetidas en el tiempo utilizando PROC MIXED. Las medias se compararon usando la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Los pollos en pastoreo estuvieron 8 h diarias en una pradera de Trébol blanco (*Trifolium repens*). Incluir semilla de girasol mejoró ($P < 0.05$) el color y la proteína cruda (PC) en la pechuga ($P < 0.05$), en tanto el pastoreo aumentó ($P < 0.05$) PC, materia seca (MS) y resistencia al corte (RC), y disminuyó ($P < 0.05$) el porcentaje de grasa en pechuga hasta en 50%. Adicionalmente, el pastoreo incrementó ($P < 0.05$) los ácidos grasos saturados (AGS) y redujo ($P < 0.05$) la oxidación lipídica hasta 50%. Sustituir parcialmente la pasta de soya por semilla de girasol parcialmente descascarillada en la dieta de pollos pastoreando trébol blanco mejora las características físico-químicas y calidad nutricional de la pechuga, además disminuye la oxidación lipídica, alargando la vida en anaquel de la carne.

En el Capítulo dos se refiere al segundo experimento, cuyo objetivo fue evaluar la calidad de la carne de pollos de engorda alimentados con semilla de *Lupinus* como sustituto de pasta de soya como fuente de proteína, y suplementados con un cóctel de enzimas. Para ello se utilizaron trescientos pollos de la línea Ross 308 distribuidos al azar en cinco tratamientos, con 6 repeticiones de 10 aves cada uno. Los tratamientos fueron: **MSB**, maíz-pasta de soya (testigo); **MSDL**, maíz + semilla de *Lupinus*; **MSDL1**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 1; **MSDL2**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 2; y **MSDL3**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 3. Los cócteles de enzimas 1 y 2 estuvieron constituidas con xilanasa, proteasa y fitasa con diferentes métodos de obtención, y el cóctel 3 de pectinasa, proteasa y fitasa. A las siete semanas de edad, se seleccionaron al azar 18 aves por tratamiento para la matanza, y se extrajo el músculo *Pectoralis major* para los análisis de calidad de la carne. Las variables estudiadas fueron pH, color, CRA, Aw, RC, grasa, PC, MS, humedad, colágeno y perfil de ácidos grasos, y se analizaron utilizando el procedimiento GLM. Adicionalmente, para la capacidad antioxidante se utilizó un diseño con medidas repetidas en el tiempo utilizando PROC MIXED. Las medias se compararon usando la prueba de Tukey ($P < 0.05$). La sustitución de pasta de soya por semilla de *Lupinus* aumentó el porcentaje de humedad, y la concentración de C14:0, C16:0, C16:1, C18:1_{cis} y C18:1_{trans} en la pechuga, pero disminuyó MS, y C17, C18:2, C20:0, C20:2 y C20:4 ($P < 0.05$). El cóctel de enzimas en el alimento con semilla de *Lupinus* mejoraron el contenido de proteína y MS ($P < 0.05$) en la carne; además el perfil de ácidos grasos y la oxidación

lipídica no fueron diferentes entre tratamientos. Incluir semilla de *Lupinus* con un cóctel de enzimas puede ser una alternativa en pollos de engorda, sin afectar de manera significativa las mayoría de las características de la calidad de la carne.

El Capítulo tres se refiere al tercer experimento donde se suministró alicina sintética en la dieta de pollos de engorda para evaluar su efecto en la calidad de la carne. Para el estudio se utilizaron doscientos diez pollos Ross 308 de engorda de un día de edad, distribuidos al azar en tres tratamientos, con 7 repeticiones de 10 aves cada una. Los tratamientos fueron: **AL0, testigo**; **AL1**, 1 mg de alicina kg⁻¹ de peso vivo (PV); y **AL2.5**, 2.5 mg de alicina kg⁻¹ PV, administrados a partir del día 14 hasta los 27 días de edad, por medio de un catéter pediátrico de 5 Fr de 1.67 mm de diámetro. A las siete semanas de edad se mataron 36 aves al azar, 12 por tratamiento, y se extrajo el músculo *Pectoralis major* para los análisis de calidad en carne. Las variables evaluadas fueron PC, MS, humedad, perfil de ácidos grasos y oxidación lipídica. Para el análisis estadístico de las variables grasa, PC, MS, colágeno, humedad y perfil de ácidos grasos, se utilizó un modelo completamente al azar, usando el procedimiento GLM (SAS, 1999). Para capacidad antioxidante, además, se utilizó un diseño con medidas repetidas en el tiempo utilizando PROC MIXED. Las medias se compararon usando la prueba de Tukey (P<0.05). La suministración de alicina sintética a los pollos de engorda no modificó las características nutricionales en la carne, ni la oxidación lipídica (P<0.05), pero disminuyó la concentración de C18:0 y C18:3n3. La suministración directa de alicina sintética en dosis de 1 y 2.5 mg de alicina kg⁻¹ de PV no modifica las características de la calidad de la carne.

La conclusión general es que la utilización de ingredientes no convencionales en la alimentación de pollos de engorda es una opción viable, ya que mejora características deseables en la calidad de la carne.

Palabras clave: alicina sintetica. cóctel de enzimas, semilla de girasol, semilla de *Lupinus*,

USE OF NON-CONVENTIONAL INGREDIENTS IN THE FEEDING OF BROILERS AND THEIR RELATIONSHIP WITH THE QUALITY OF THE MEAT.

**Beatriz Godínez Juárez, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2021**

ABSTRACT

The poultry industry is of great importance as its products provide high protein foods at an affordable price. However, the growing demand has led to the implementation of alternatives to improve production in terms of quantity, selecting lines of fast-growing poultry fed with corn and soybeans. Additionally, the space where the animals are kept is reduced, promoting greater weight gains. All these adjustments have generated animal welfare problems.

Currently, alternatives are being sought for production that are sustainable and above all that reduce production costs. Various studies have been carried out on the use of alternative ingredients and their impact on productive variables such as weight gain and feed conversion, but not on the effect they may have on the quality of the meat.

Therefore, the objective of the present investigation was to evaluate the effect on the quality of the meat of fat chickens derived from the use of non-conventional ingredients in the diet.

In Chapter one it describes an experiment where the effect of including partially dehulled sunflower seed in the diet of grazing chickens on meat quality was evaluated. Two hundred and forty one-day-old Ross 308 chickens were used, randomly distributed in four treatments with six replications of 10 birds each. The treatments were completely randomized in a 2x2 factorial arrangement, where type of rearing (confinement or grazing) and diet (base diet or base diet substituting 10% soybean paste for partially dehulled sunflower seed). Subsequently at seven weeks of age, seventy-two birds were killed, 18 per treatment, extracting the *Pectoralis major* muscle for the analysis of quality in the meat. The variables pH, color, water holding capacity (WHC), Aw, shear resistance (SR), fat, crude protein (CP), dry matter (DM), moisture, collagen and fatty acids profile, were analyzed with the GLM procedure. Additionally, for antioxidant capacity, a design with repeated measures in time was used using PROC MIXED. Means were compared using Tukey's test ($P < 0.05$). The grazing chickens spent 8 hours a day in a meadow of White Clover (*Trifolium*

repens). Including sunflower seed improved ($P < 0.05$) the color and crude protein (CP) in the breast ($P < 0.05$), while grazing increased ($P < 0.05$) CP, dry matter (DM) and shear resistance (RC), and the percentage of breast fat decreased ($P < 0.05$) by up to 50%. Additionally, grazing increased ($P < 0.05$) saturated fatty acids (SFA) and reduced ($P < 0.05$) lipid oxidation up to 50%. Partially replacing soybean paste with partially dehulled sunflower seed in the diet of chickens grazing white clover improves the physical-chemical characteristics and nutritional quality of the breast, also decreases lipid oxidation, extending the shelf life of the meat.

In Chapter two it refers to the second experiment, the objective of which was to assess the quality of the meat of broilers fed with *Lupinus* seed as a substitute for soybean paste as a protein source, and supplemented with a cocktail of enzymes. For this, three hundred chickens of the Ross 308 line were used, distributed at random in five treatments, with 6 repetitions of 10 birds each. The treatments were: **MSB**, corn-soybean paste (control); **MSDL**, corn + *Lupinus* seed; **MSDL1**, corn + *Lupinus* seed + enzyme cocktail 1; **MSDL2**, corn + *Lupinus* seed + enzyme cocktail 2; and **MSDL3**, corn + *Lupinus* seed + enzyme cocktail 3. Enzyme cocktails 1 and 2 consisted of xylanase, protease and phytase with different methods of obtaining, and cocktail 3 of pectinase, protease and phytase. At seven weeks of age, 18 birds per treatment were randomly selected for slaughter, and the *Pectoralis major* muscle was removed for meat quality analyzes. The variables studied were pH, color, WHC, Aw, RC, fat, CP, MS, moisture, collagen and fatty acids profile, and they were analyzed using the GLM procedure. Additionally, for the antioxidant capacity a design with repeated measures in time using PROC MIXED was used. Means were compared using Tukey's test ($P < 0.05$). The substitution of soybean paste for *Lupinus* seed increased the percentage of moisture, and the concentration of C14: 0, C16: 0, C16: 1, C18: 1 *cis* and C18: 1 *trans* in breast, but decreased MS, and C17, C18: 2, C20: 0, C20: 2 and C20: 4 ($P < 0.05$). The enzyme cocktail in the *Lupinus* seed food improved the protein and DM content ($P < 0.05$) in the meat; furthermore, the fatty acid profile and lipid oxidation were not different between treatments. Including *Lupinus* seed with an enzyme cocktail can be an alternative in broilers, without significantly affecting most of the quality characteristics of the meat.

Chapter three refers to the third experiment where synthetic allicin was fed into the diet of broilers to evaluate its effect on meat quality. Two hundred and ten one-day-old Ross 308

broilers were used for the study, randomly distributed in three treatments, with 7 repetitions of 10 birds each. The treatments were: **AL0, control** ; **AL1** , 1 mg of allicin kg^{-1} live weight (LW); and **AL2.5** , 2.5 mg of allicin kg^{-1} LW, administered from day 14 to 27 days of age, through a pediatric 5 Fr catheter of 1.67 mm in diameter. At seven weeks of age, 36 birds were killed at random, 12 per treatment, and the *Pectoralis major* muscle was extracted for meat quality analyzes. The variables evaluated were PC, DM, moisture, fatty acids profile and lipid oxidation. For the statistical analysis of the variables fat, PC, MS, collagen, moisture and fatty acid profile, a completely random model was used, using the GLM procedure (SAS, 1999). For antioxidant capacity, in addition, a design with repeated measures in time using PROC MIXED was used. Means were compared using Tukey's test ($P < 0.05$). The supply of synthetic allicin to broilers did not modify the nutritional characteristics of the meat, nor the lipid oxidation ($P < 0.05$), but decreased the concentration of C18: 0 and C18: 3n3. The direct supply of synthetic allicin in doses of 1 and 2.5 mg of allicin kg^{-1} of LW does not modify the characteristics of the quality of the meat.

The general conclusion is that the use of unconventional ingredients in the feed of broilers is a viable option, since it improves desirable characteristics in the quality of the meat.

Keywords: cocktail of enzymes, lupinus seeds, sunflower seeds, synthetic allicin

AGRADECIMIENTOS

A CONACyT por el apoyo económico para realizar mis estudios de Doctorado.

Al Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de para realizar los estudios de Doctorado.

Al Dr. Omar Hernández Mendo por su apoyo, paciencia y tiempo dedicado a mi formación y a la realización de la tesis.

A los profesores Dr. Arturo Pro Martínez, Dr. David Hernández Sánchez y Dr. Gabriel Leyva Ruelas, por formar parte del consejo particular y por sus valiosas aportaciones al trabajo de investigación.

A la Dra. María Magdalena Crosby Galván y a la Ing. Elsa Margarita Crosby Galván, por todo el apoyo y aportaciones acertadas recibidas durante la fase del laboratorio.

Al Dr. Gilberto Aranda Osorio, por su valiosa participación como Sinodal.

DEDICATORIA

A mis padres, Pablo Godínez y Esperanza Juárez, por su inmenso apoyo y siempre creer en mí.

A mi familia, en especial a mis niñas Paola y Lucía, por su apoyo incondicional, por comprender cada una de las etapas de este proceso. Sé que el tiempo que no les pude dedicar no regresara, pero haré que valga la pena.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	vi
LISTA DE CUADROS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
Literatura consultada.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Literatura Citada	13
CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA CARNE DE POLLOS EN PASTOREO ALIMENTADOS CON SEMILLA DE GIRASOL PARCIALMENTE DESCASCARILLADA.....	19
1.1. RESUMEN	19
1.2. ABSTRACT.....	20
1.3. INTRODUCCIÓN.....	21
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS	22
Localización	22
Pollos, diseño experimental y tratamientos.....	22
Matanza.....	22
Características físico-químicas de la carne	25
Análisis estadístico.....	25
1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
Características fisicoquímicas de la carne.....	27
Características nutricionales de la pechuga.....	30
Perfil de ácidos grasos y oxidación lipídica.....	32
1.6. CONCLUSIÓN.....	37
1.7. LITERATURA CITADA	38
CAPÍTULO II. CÓCTEL DE ENZIMAS Y SEMILLA DE LUPINUS (LUPINUS ANGUSTIFOLIUS) EN DIETA DE POLLOS DE ENGORDA: EFECTO EN CALIDAD DE LA CARNE.....	43
2.1. RESUMEN	43

2.2. ABSTRACT.....	44
2.3. INTRODUCCIÓN.....	45
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
Ubicación.....	46
Pollos, tratamientos y diseño experimental.....	46
Matanza.....	49
Características físico-químicas de la carne.....	49
Análisis estadístico.....	50
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
Características fisicoquímicas de la carne.....	51
Características nutricionales de la carne.....	52
Perfil de ácidos grasos y oxidación lipídica de la carne.....	54
2.6. CONCLUSIÓN.....	58
2.7. LITERATURA CITADA.....	59
CAPITULO III. ADICIÓN DE ALICINA EN LA DIETA DE POLLOS DE ENGORDA Y SU EFECTO EN CALIDAD Y OXIDACIÓN LIPÍDICA DE LA CARNE.....	62
3.1. RESUMEN.....	62
3.2. ABSTRACT.....	63
3.3. INTRODUCCIÓN.....	64
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	65
Ubicación.....	65
Pollos, tratamientos y diseño experimental.....	65
Evaluación de la calidad de la pechuga.....	66
Análisis estadístico.....	67
3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
Características nutricionales de la pechuga.....	68
Composición de ácidos grasos y oxidación lipídica.....	69
3.6. CONCLUSIÓN.....	73
3.7. LITERATURA CITADA.....	74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	77

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Forma de administración de los insectos a pollos de engorda..... 9

CAPÍTULO I.

Cuadro 1.1. Composición de las dietas experimentales proporcionada a los pollos de engorda 23

Cuadro 1.2. Composición química de las dietas experimentales y el trébol blanco proporcionada a los pollos de engorda. 24

Cuadro 1.3. Características físico-químicas de la pechuga de pollos de engorda criados en pastoreo o confinamiento, y con o sin sustitución de pasta de soya por semilla de girasol parcialmente descascarillada..... 29

Cuadro 1.4. Características nutricionales de pechuga de pollo criado en pastoreo y complementado con semilla de girasol parcialmente descascarillada 31

Cuadro 1.5. Composición de ácidos grasos de pechuga de pollos de engorda alimentados con semilla de girasol descascarillada criados en pastoreo. 34

Cuadro 1.6. Actividad antioxidante – DPPH (μM Trolox /100g de carne base seca), en pechuga de pollos criados en confinamiento y pastoreo y suplementados con semilla de girasol parcialmente descascarillada por tratamiento y periodo de tiempo 35

CAPÍTULO II

Cuadro 2.1. Composición de las dietas experimentales 47

Cuadro 2.2 . Análisis calculado de las dietas experimentales..... 48

Cuadro 2.3. Características físico-químicas de pechuga de pollos alimentados con dieta a base de *Lupinus angustifolius* y tres cócteles de enzimas exógenas..... 52

Cuadro 2.4. Características nutricionales de pechuga de pollos alimentados con dieta a base de <i>Lupinus angustifolius</i> y enzimas exógenas.....	53
Cuadro 2.5. Composición porcentual de ácidos grasos en pechuga de pollo alimentado con <i>Lupinus Angustifolius</i> L y tres cócteles de enzimas	56
Cuadro 2.6. Medias de la actividad antioxidante – DPPH (μM Trolox /100g de carne base seca), en pechuga de pollos alimentados con semilla de <i>Lupinus Angustifolius</i> L y adición de tres cócteles de enzimas, a través del tiempo.	57

CAPÍTULO III

Cuadro 3.1. Perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales ofrecidas a los pollos de engorda.	66
Cuadro 3.2. Composición Nutrimental de la pechuga de pollo de engorda suplementadas con alicina de forma directa	69
Cuadro 3.3. Composición de ácidos grasos de la pechuga de pollo de engorda adicionando alicina sintética.....	70
Cuadro 3.4. Valores de la actividad antioxidante – DPPH (μM Trolox /100g de carne base seca), en pechuga de pollos suplementadas con alicina de forma directa.....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Comportamiento del coeficiente de inhibición DPPH (μM Trolox /100g de carne base seca), en pechuga de pollos criados en confinamiento y pastoreo y suplementados con semilla de girasol parcialmente descascarillada por tratamiento.	36
---	----

INTRODUCCIÓN GENERAL.

De las especies aviares domesticas para consumo de carne, el pollo es el de mayor demandada. Se consume aproximadamente 32.1 kg de carne anual por persona, siendo la pechuga (*pectoralis major*) la de mayor demanda (SIAP, 2017). En México la producción de carne de pollo se concentra en 10 entidades, mismas que cubren el 76.7 % de la producción, destacan Jalisco (11.8 %), Aguascalientes y Veracruz (10.2 %), y Durango, Querétaro, Guanajuato, Puebla, Chiapas, Sinaloa y Yucatán aportan 44.5 % (FAO, 2016; Nava *et al.*, 2016).

Debido a la creciente demanda de este producto se han implementado mejoras en los sistemas de producción, que en su mayoría, son intensivos, y obtienen altas producciones dada a la gran cantidad del uso de suplementos y medicamentos, además de la genética animal, cuyas tasas de crecimiento son elevadas (Mera-Zúñiga *et al.*, 2019). Si bien ello representa una ventaja enorme, a fin de satisfacer la demanda de carne, existen desventajas como el alto grado de estrés y poco bienestar animal por el hacinamiento, además de altos costos de producción dados básicamente por concepto de alimentación e infraestructura (Waldenstedt, 2006; Cuca-García *et al.*, 2016). Ante este escenario, se han buscado alternativas de producción (Alagawany *et al.*, 2015) explorando la utilización de ingredientes no convencionales que puedan proporcionar los nutrientes necesarios para la alimentación de las aves para reducir los costos de producción, por lo que se optan por productos localmente disponibles y de baja utilización en la alimentación humana (Küçükyılmaz *et al.*, 2012; Fernandes da Silva *et al.*, 2017), además proporcionan beneficios mejorando la calidad de la carne debido a los compuestos bio-activos como compuestos azufrados, carotenoides, fenólicos y flavonoides. Adicionalmente se ha propuesto como alternativa de producción el libre pastoreo, con la finalidad de mejorar el bienestar de los animales y los productos para consumo humano (Rocchi *et al.*, 2019).

Con base en los antecedentes nuestra hipótesis fue que la utilización de ingredientes no convencionales en la alimentación de pollo de engorda mejorará la calidad de la carne en pechuga. Por lo tanto el objetivo general de la presente investigación fue evaluar la calidad de carne de pollos de engorda alimentados con ingredientes no convencionales,

específicamente alimentados con semilla de girasol parcialmente descascarillada en sistema de pastoreo, semilla de lupinus descascarillada y cóctel de enzimas, y administración de alicina sintética.

Literatura consultada

- Alagawany, M., Farag, M. R., Abd El-Hack, M. E., & Dhama, K. (2015). The practical application of sunflower meal in poultry nutrition. *Adv Anim Vet Sci*, 3, 634-648.
- FAO. 2007. Buenas prácticas para la industria de carne. Fundación internacional Carrefour. Roma.
- Fernandes da Silva, D. C., Valera de Arruda, A. M., Goncalves, A. A. (2017). Características de calidad de la carne de pollo de engorde del sistema avícola industrial y de corral para los consumidores. *Journal Food Sci Technol* (June, 54 (7), 1818-1826.
- Küçükylmaz, K., Bozkurt, M., Çatli, A. U., Herken, E. N., Çinar, M., & Bintaş, E. (2012). Chemical composition, fatty acid profile and colour of broiler meat as affected by organic and conventional rearing systems. *South African Journal of Animal Science*, 42(4), 361-368.
- Mera-Zúñiga, F., Pro-Martínez, A., Zamora-Natera, J. F., Sosa-Montes, E., Guerrero-Rodríguez, J. D., Mendoza-Pedroza, S. I., Cuca-García, J. M., López-Romero, R. M., Chan-Díaz, D., Becerril-Pérez, C.M., Vargas-Galicia, A. J. and Bautista-Ortega, J. (2019). Soybean meal substitution by dehulled lupine (*Lupinus angustifolius*) with enzymes in broiler diets. *Asian-Aust J. Animal Science*, 32(4), 564-573
- Nava, C. E., Peña, J. M., & Bermúdez, C. P. 2016. Proceso de control de bioseguridad en granjas avícolas mexicanas. *Agronomía Colombiana*, 34(1Supl), S1182-S1185.
- Rocchi, L., Paolotti, L., Rosati, A., Boggia, A., & Castellini, C. (2019). Assessing the sustainability of different poultry production systems: A multicriteria approach. *Journal of Cleaner Production*, 211, 103-114.
- SIAP. (2017). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Recuperado el 23 de 05 de 2018, de <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>
- Waldenstedt, L. 2006. Nutritional factors of importance for optimal leg health in broilers: A review. *Animal Feed Science and Technology*. 126:291-307.

REVISIÓN DE LITERATURA

La industria avícola es de gran importancia al ofrecer productos con alto valor proteico a bajos costo, comparados con otros productos cárnicos. La alta demanda ha orillado a las empresas a implementar sistemas de producción intensivos, utilizando líneas de aves mejoradas que logran su finalización en menos tiempo (Mera-Zúñiga et al., 2019). Adicional a esto la alimentación de las aves está enfocada en maíz y pasta de soya (SIAP, 2019), con la finalidad de proporcionar los requerimientos necesarios para el crecimiento de las aves. Sin embargo, estos ingredientes, principalmente la pasta de soya, son importados y generan aumento aproximado de 60% en los costos de producción (Cuca-García et al., 2016).

Adicionalmente los sistemas intensivos limitan la actividad física de las aves y aumentan el consumo de alimento generando diversos problemas en el bienestar animal elevando la mortalidad en las aves y en consecuencia pérdidas económicas, además de elevar costos al implementar tratamientos médicos para disminuir la mortalidad (Rodríguez-Ortega et al., 2017). En este sentido la búsqueda de alternativas de producción y alimentación para pollos de engorde se ha enfocado en la utilización de ingredientes no convencionales y fitobióticos, o sustancias fitogénicas, que podrían mejorar la salud y el rendimiento de los animales.

Es importante mencionar que algunos de estos ingredientes cuentan con características no deseables para la alimentación de aves como compuestos antinutricionales y altas cantidades de lignina (Nalle *et al.*, 2012). En consecuencia se han estudiado diferentes procesos para mejorar el valor nutritivo de los ingredientes como descascarillados, adición de hongos o enzimas, entre otros (Dalólio *et al.*, 2016; S. Khempaka *et al.*, 2014; Mera-Zúñiga *et al.*, 2019).

Aunque se han encontrado resultados favorables en las características productivas como mejores ganancias peso y conversión alimenticia, es necesario evaluar los efectos de la alimentación no convencional en la calidad de la carne, ya que el producto final es el que remunerara los costos de producción. Por consiguiente el objetivo de esta revisión es brindar un panorama general de algunos de los ingredientes no convencionales utilizados en la alimentación de aves, las alternativas para mejorar el valor nutricional y el efecto en la calidad de carne.

Alimentos no convencionales

La industria de la alimentación abarca un gran número de especies con gran importancia para el ser humano. Sin embargo, algunos de estos ingredientes debido a su contenido nutricional han llamado la atención de investigadores del área de nutrición animal. Se les denomina “alimentos no convencionales” a aquellos que no son utilizados tradicionalmente en la alimentación animal. Esta clasificación puede cambiar con el tiempo, ya que si los estudios demuestran que dicho ingrediente es funcional en la alimentación de animales, el conocimiento es difundido y cada vez será más utilizado volviéndolo común.

A pesar de que estos alimentos son prometedores de acuerdo a su composición nutrimental, existen una serie de limitaciones para utilizarlos de manera eficiente (nutricional, técnica y socioeconómica).

Semillas

Las semillas son una alternativa viable en la alimentación de pollos de engorda debido a su alto contenido de aceites. Particularmente el girasol (*Helianthus annuus* L.), es un cultivo de doble propósito, ornato y producción de semilla, esta última es de gran importancia para la extracción de aceite (Alagawany et al., 2015). El alto contenido de aceite (30-45%) y proteína (21%) en la semilla de girasol es atractivo en la alimentación avícola, como sustituto de la pasta de soya. Sin embargo, el alto contenido de fibra (26.2%) es una desventaja, ya que se disminuye la digestibilidad de la semilla y por consiguiente la absorción de sus componentes (Kalmendal *et al.*, 2011) por lo que se recomienda no utilizar más del 25% en las dietas. Como alternativa al alto contenido de fibra en la semilla se recomienda un proceso de descascarillado para mejorar la digestibilidad (Wang & Huo, 2010; Laudadio et al., 2014). Adicionalmente, la inclusión de semilla de girasol en dieta de aves mejora la estabilidad oxidativa y calidad sensorial de la carne (Bou *et al.*, 2005) y aumenta los ácidos grasos insaturados (Mahfoudh *et al.*, 2016).

La utilización de aceite de semilla de girasol en alimentación de pollos de engorda, disminuye el pH de la pechuga, así como *b* (tonalidad amarillo-azul) y *L* (luminosidad) (Pekel et al., 2001). Adicionalmente al momento de extraer el aceite e la semilla de girasol se generan subproductos como pasta de girasol. El contenido de proteína en ese subproducto varía de 29 a 45% dependiendo del método de extracción utilizado (Sredanović, Lević, & Duragić,

2011). Sin embargo, por su alto contenido de fibra, bajo aporte de energía y lisina, se recomienda utilizar máximo 15% en las dietas de pollos de engorda. Rama Rao et al (2006) reportan que con la utilización de aceites con alto aporte de energía y aminoácidos como metionina y lisina, el porcentaje de inclusión de pasta de semilla de girasol puede aumentar hasta 35 %. Adicionalmente el aceite de semilla de girasol en dieta de pollos de engorda aumenta los valores de *a* y *b* en color de piel y carne, además aumento la capacidad antioxidante y la actividad de superóxido dismutasa en el hígado y el muslo, y disminuyo la pérdida por goteo y la resisencia al corte en muslo (S. Wang et al., 2017).

Raíces y tubérculos, y subproductos

El camote o batata (*Ipomoea batatas*) es un cultivo de importancia cultural en México, ya que principalmente se consume en pequeñas comunidades. Sin embargo, debido al gran aporte de nutrientes ha llamado la atención de investigadores en nutrición animal, específicamente en pollos de engorda. Al incluir raíz de camote en forma de harina en la dieta de los pollos de engorda elevo los porcentajes de grasa en la pechuga (Beckford and Bartlett, 2015), siendo esto poco benéfico ya que en consecuencia se puede elevar el proceso de oxidación.

La malanga (*Colocasia esculenta*), es un tubérculo con alta demanda en el sur del país. Sin embargo, el tubérculo, es la parte demandada, en consecuencia, se desechan hojas y tallos. Temesgen (2017) utilizó la hoja de malanga como sustituto de soya en la alimentación de aves de engorda, ya que es rica en proteína (6.43%) y minerales (1.92%) (Adane et al., 2013). Los resultados obtenidos muestran que la variable beneficio–costo mejoraba conforme se elevaba el nivel de inclusión de hoja en la dieta. En cuanto a la calidad en carne mostró características asimilares como humedad, proteína, grasa, fibra, ceniza y contenido de vitamina C, en comparación a carne de aves de un sistema convencional, demostrando que la harina de hoja de malanga es un ingrediente rentable para utilizar como remplazo de granos como maíz o soya (Temesgen 2017).

La yuca (*Manihot esculenta*), es un alimento de interés humano cuya principal parte utilizada en la alimentación humana es el tubérculo, esté deficiente en proteína (14%) para utilizarse en alimentación avícola, por lo que se ha optado por la utilización de hojas, que son desecho para los humanos, y son ricas en proteínas (22.7%) cenizas (10.9%), grasa (6.8%) y fibra

(11%) (Nacochea 2002), además contiene hierro (3.9 mg) y vitamina C (58 mg) por cada 100g de proteína digerida y su digestibilidad en base seca llega a ser hasta del 70%. Se ha implementado la utilización de 10% de concentrado de hoja de yuca obteniendo un buen desempeño en términos de crecimiento y conversión alimenticia, sin efectos perjudiciales sobre los parámetros hematológicos, en cuanto a la calidad de la carne solo se reporta una disminución de la grasa abdominal debido al contenido de MS en la dieta (Eruvbetine et al., 2003). Otro subproducto de yuca es la pasta la cual es rica en energía. Sin embargo, su utilización está limitada por su alto contenido de fibra y bajo contenido de proteínas (Khempaka et al., 2009). Para aumentar el nivel de inclusión de la pasta de yuca en las dietas de pollo, se ha aplicado la fermentación por levaduras (Khempaka et al., 2014), ya que los hongos son comúnmente utilizados para fermentar alimentos no convencionales y mejorar su digestibilidad. En un estudio realizado por Sugiharto et al (2015) se utilizó *Acremonium charticola* en pasta de yuca, como resultado se disminuyó el contenido de fibra y el aumento de proteína, además de que la administración de probióticos se asocia con mejores propiedades químicas, nutricionales y sensoriales en la carne (Xu et al., 2014), sin comprometer condiciones fisiológicas y de salud de las aves (Sugiharto et al., 2017). Como resultado de la utilización de pasta de yuca fermentada se obtuvo reducción en costos de producción de 6%, mejores ganancias de peso, valores más bajos de 2,2-difenil-1-picrylhydrazyl (DPPH) en un 70 y 40% sin y con *A. charticola* respectivamente, así como un aumento en el contenido de proteína cruda. Chukwukaelo et al (2018), utilizaron raíz de yuca complementada con pasta de almendra como sustituto de maíz en la dieta de aves de engorda en un porcentaje de 25, 50, 75 y 100. La alimentación no convencional disminuyó los costos hasta 14% en aves alimentadas con 100% de sustitución de maíz, a pesar de que no hubo efecto en características de calidad como terneza, jugosidad e intensidad de sabor, se disminuyó la pérdida de cocción y pérdida por goteo, y aumento la capacidad de retención de agua.

Subproductos de frutos y verduras

El mango (*Mangifera indica* L.) es una fruta tropical que se consume generalmente en fresco, aunque también tiene gran importancia en la industria de alimentos procesados. Las cascaras y la semilla actualmente no tienen un fin comercial por lo que son desechadas (Dorta et al.,

2013). Sin embargo, se ha reportado que estos desechos son fuente de antioxidantes naturales ya que contienen carotenoides, compuestos antioxidantes fenólicos y vitaminas C y E. Mangiferina, una xantona C-glicosilada, compuestos polifenólicos y fosfolípidos (Barreto et al., 2008; Diarra, S. S. 2014; Freitas et al., 2015). Existe evidencia de que los compuestos fenólicos contenidos en cascara y semilla de mango, son efectivos en retasar la oxidación de lípidos en la carne (Pereira et al., 2011). Freitas et al. (2015) utilizaron extracto de cascara (200 ppm y 400 ppm) y de semilla (200 ppm y 400 ppm) de mango en la dieta de pollos de engorda obteniendo resultados positivos al disminuir la oxidación lipídica y mejorar el color de la carne, siendo el extracto de semillas de mango a 400 ppm el más eficaz.

El cultivo de brócoli es de gran importancia en muchos países. Sin embargo el 75 % de la planta (tallo y hojas del brócoli) son desechados debido a que su consumo se enfoca en los botones florales (Hu et al., 2012). Las hojas y tallos tienen una concentración de vitamina C, β -caroteno y calcio de 2 a 4 veces mayor que la flor de brócoli (Wu et al., 1992), estos compuestos son responsables de la gran capacidad antioxidante (Borowski et al., 2008; Rubab et al., 2020). Utilizar hojas y tallos de brócoli en la alimentación de pollos de engorda disminuye la pérdida por goteo en la pechuga y la concentración de malondialdehído en la pechuga, además mejoró el color en el valor de b (amarillo-azul), así como las concentraciones de xantofilas en la grasa abdominal (Hu et al., 2012)

La moringa es un árbol del cual se han realizado diversas investigaciones debido a sus propiedades nutricionales y terapéuticas. Debido a su valor nutricional se han desarrollado experimentos utilizando la hoja como alimento no convencional en pollos de engorda. Cui et al. (2018) suplementaron hoja de moringa en la dieta de pollos de engorda y reportaron disminución en grasa abdominal, además de un aumento en la cantidad de AGI, específicamente en C18: 2, C18: 3n-3, C20: 4, índices de color y la capacidad antioxidante total del plasma en respuesta a la suplementación dietética (Mandal et al., 2014; Nkukwana et al., 2014; Nduku et al., 2020). Por el contrario Sebola et al. (2018) reporta que la carne no tuvo efectos beneficiosos o perjudiciales al agregar moringa en la dieta.

Insectos

De acuerdo a diferentes autores la utilización de insectos en la alimentación de aves, tiene varios beneficios como: bajos costos de producción, alta tasa de crecimiento, bajo riesgo de

transmisión de infecciones por zoonosis, pueden ser producidos con subproductos o residuos orgánicos y biorresiduos, reduciendo así la contaminación ambiental (Moreno et al., 2021). Adicionalmente pueden aportar cantidades significativas de proteínas, lípidos, minerales (Boland et al., 2013; Valipour et al., 2015), y otras sustancias activas como ácidos grasos poliinsaturados y péptidos antimicrobianos (Khan, 2018). Entre los insectos más utilizados como ingredientes alternativos en la nutrición animal y humana a nivel mundial se encuentran: escarabajos (Coleoptera 31%), orugas (Lepidoptera 18%), abejas, avispa y hormigas (Hymenoptera 14%), saltamontes, grillos (Orthoptera 13%), cigarras, chicharras, gusanos (Hemiptera 10%), termitas (Isoptera 3%), libélulas (Odonata 3%), moscas (Diptera 2%) y otras especies (5%) (Reis & Dias, 2020). En caso específico los utilizados en aves se utiliza harina de insectos perteneciente a los órdenes Diptera (mosca soldado negra, mosca doméstica), Coleoptera (gusanos de la harina), Megadrilacea (lombriz de tierra), Lepidoptera (gusano de seda y cirina forda) y Orthoptera (saltamontes, langostas y grillos (Khan, 2018). Los insectos se pueden administrar de diferentes maneras en la dietas de las aves (Cuadro 1). Sin embargo, son pocos los estudios que reportan resultados en la calidad de carne.

Cuadro 1. Forma de administración de los insectos a pollos de engorda

Forma de administración	Descripción	Autor
Insectos enteros	Usualmente se presenta en la producción a libre pastoreo, donde las aves consumen los insectos o larvas vivos.	Van Broekhoven et al., 2015
Harinas	Los insectos son sometidos a un proceso de molido o triturado con niveles bajos de humedad con la finalidad de evitar la proliferación de hongos o microorganismos. Normalmente se mezcla con concentrado formando una mezcla más homogénea	Van Huis et al., 2014
Extracto proteico	La extracción de proteínas permite mejorar su solubilidad facilitando la incorporación específica en las industrias de alimentos.	Gasco et al., 2014 Veldkamp et al, 2012

Schiavone et al (2019) reportaron que la utilización de hasta 100g /kg de harina de larvas de mosca negra (*Hermetia illucens*) en la alimentación de pollos de engorda mejoraron el valor de *a* en color al aumentar la porción de larvas en la dieta. Adicionalmente hubo disminución

de humedad y en consecuencia una mayor porción de proteína en la carne, así como una mayor concentración de AGMI.

Altmann et al. (2018) Observaron que la inclusión de harinas de insectos en la dieta intensifica el sabor en la carne y mejoraran la estabilidad oxidativa en carne fresca hasta siete días después del empacado, en comparación con el filete de pechuga del grupo de pollos que reciben una dieta control. Resultados similares se reportan por Sun et al (2012), quienes al adicionar harina de saltamontes observaron que el contenido colesterol libre disminuyó y hubo aumento en la concentración de lípidos y fosfolípidos, además el potencial antioxidante mejoró dando una vida útil del producto más prolongada.

Producción en libre pastoreo

La producción de alimentos inocuos y de mejor calidad ha llevado a proponer alternativas en sistemas de producción. El pastoreo puede ser una alternativa en la producción de pollos de engorda, ya que además de disminuir los costos de producción, es posible obtener productos inocuos y de mejor calidad nutricional (Ponte *et al.*, 2008a); Karsten *et al.*, 2010; Küçükylmaz et al., 2012; Fernandes da Silva et al., 2017). Se ha implementado la producción de aves de engorda en pastoreo con diferentes variantes en su alimentación para cubrir las necesidades nutricionales y para demostrar que en términos de producción y calidad de la carne puede ser mejor. Castellini et al, (2002) reportaron mayores pesos en piezas como pechuga y muslos y niveles más bajos de grasa abdominal en aves criadas en un sistema orgánico, es decir con acceso a pradera. Además mayores valores en ácidos grasos poliinsaturados de la serie n-3 y el TBA-RS, concluyendo que el sistema de producción orgánica parece ser un buen método alternativo, debido a las mejores condiciones de bienestar y la buena calidad de la canal y la carne. Küçükylmaz et al. (2012) estudiaron aves de crecimiento rápido (Ross -308) y lento (Hubbard Red-JA) en dos sistemas de producción (orgánico y convencional), reportaron que un sistema orgánico promovió mayor retención de minerales y color amarillo en la carne de pechuga en comparación con los procedimientos de cría convencionales. Además el perfil de ácidos grasos presentó menos cantidad de n-3 pero una mayor proporción n-6 / n-3 en la carne del muslo.

En el caso específico de pastorear trébol blanco (*Trifolium repens*), por su alto contenido de proteína (23-25%) (Ponte *et al.*, 2008a), resistencia al pastoreo y buena palatabilidad es una

alternativa en la alimentación de aves en pastoreo, ya que según Ponte *et al* (2008b), aumenta los niveles de ácido eicosapentaenoico (20: 5n-3) en la carne, induciendo mayor cantidad de ácido α -linolénico en la carne, esencial para el organismo (Stadig *et al.*, 2016).

La alfalfa es otra especie apta para el pastoreo de pollos de engorda es la alfalfa (*Medicago sativa*), la cual contiene flavonoides que puede mejorar algunas características de calidad de la carne. Ouyang, Xu, Jiang, & Wang (2016), suplementaron con alfalfa la dieta basal de las aves de engorda (0, 5, 10 o 15 mg kg⁻¹) por un periodo de 42 días logrando disminuir la grasa abdominal y la pérdida por goteo así como un alargamiento de la vida de anaquel debido al aumento de la capacidad antioxidante total.

Utilización de enzimas

Debido a la gran cantidad de alimentos alternativos en la alimentación de pollos de engorda y las limitantes que presentan algunos para su utilización como exceso de fibra y algunos componentes antinutricionales, se ha implementado la utilización de complejos enzimático (enzimas exógenas) con la finalidad de mejorar la calidad de los alimentos y su aprovechamiento. Mejorar la el aprovechamiento de los alimentos significa una mejor absorción de nutrientes y por consiguiente mayor cantidad de estos en la carne. Dalólio *et al.*, 2016 incluyeron diferentes niveles de complejos enzimáticos de fitasa, proteasa, xilanasas, β -glucanasa, celulasa, amilasa y pectinasa. Concluyeron que la adición de los complejos enzimáticos no afectó características de la calidad de la carne, a aceptación del peso de la pechuga el cual aumento en aves a las que se les suministraron enzimas. Alfaia *et al* (2021) utilizaron enzimas en *Chlorella vulgaris*, una micro-alga utilizada como ingrediente no convencional en la alimentación de pollos de engorda ya que mejora la ternura de la carne, tonalidades amarillas, carotenoides totales en carne de pechuga y mejoró la proporción de algunos ácidos grasos beneficiosos. Pestana *et al* (2020), demostraron que las tonalidades de amarillo, carotenoides totales y cantidad de AGS aumentaron al utilizar enzimas en una dieta de espirulina para pollos de engorda, pero disminuyo ácidos grasos poliinsaturados n-3 y α -tocoferol.

Hussein *et al* (2019), experimentaron con una dieta baja en EM y suplementación con enzimas comerciales, concluyendo que la utilización de las enzimas disminuye la dureza de la carne y aumenta las tonalidades de amarillos en el color, debido a un mejor

aprovechamiento del alimento. Sin embargo, un año después se utilizó un suplemento multienzimas (diferentes marcas comerciales) en dietas de baja EM y encontraron efectos contrarios y perjudiciales para la calidad de la carne, ya que aumento la resistencia al corte y disminuyo el pH y los tonos amarillos en color (Hussein et al., 2020).

Conclusión

El uso de ingredientes alternativos en la alimentación de pollos de engorda engloba muchas alternativas viables que mejoran aspectos productivos y adicionalmente proporcionan mejoras en la calidad de la carne. Es importante resaltar que los alimentos no convencionales además de mejorar la calidad de la carne, ofrecen beneficios económicos y muchas veces son amigables con el medio ambiente.

Literatura Citada

- Adane, T., Shimelis, A., Negussie, R., Tilahun, B., & Haki, G. D. (2013). Effect of processing method on the Proximate composition, mineral content and antinutritional factors of Taro (*Colocasia esculenta*, L.) growth in Ethiopia. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 13(2).
- Alagawany, M., Farag, M. R., Abd El-Hack, M. E., & Dhama, K. (2015). The practical application of sunflower meal in poultry nutrition. *Adv. Anim. Vet. Sci*, 3(12), 634-648.
- Alfaia, C. M., Pestana, J. M., Rodrigues, M., Coelho, D., Aires, M. J., Ribeiro, D. M., Major, M. V. T., Martins, C. F., Santos, H., Lopes, P. A., Lemos, J. P. C., Fontes, C. M. G. A., Lordelo, M. M., & Prates, J. A. M. (2021). Influence of dietary *Chlorella vulgaris* and carbohydrate-active enzymes on growth performance, meat quality and lipid composition of broiler chickens. *Poultry Science*, 100(2), 926-937.
- Altmann, B., Neumann, C., Velten, S., Liebert, F., & Mörlein, D. (2018). Meat quality derived from high inclusion of a micro-alga or insect meal as an alternative protein source in poultry diets: a pilot study. *Foods*, 7(3), 34. 10.3390/foods7030034
- Barreto, J. C., Trevisan, M. T., Hull, W. E., Erben, G., De Brito, E. S., Pfundstein, B., Würtele, G., Spiegelhalder, B. & Owen, R. W. (2008). Characterization and quantitation of polyphenolic compounds in bark, kernel, leaves, and peel of mango (*Mangifera indica* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(14), 5599-5610.
- Beckford, R. C., & Bartlett, J. R. (2015). Inclusion levels of sweet potato root meal in the diet of broilers I. Effect on performance, organ weights, and carcass quality. *Poultry science*, 94(6), 1316-1322.
- Boland, M. J., Rae, A. N., Vereijken, J. M., Meuwissen, M. P. M., Fischer, A. R. H., Boekel M., Rutherford S.M., Gruppen H., Moughan P.J., Hendriks, W. H. 2013, The future supply of animal-derived protein for human consumption. *Trends in Food Science & Technology*. 29(1), 62–73. 10.1016/j.tifs.2012.07.002
- Borowski, J., Szajdek, A., Borowska, E. J., Ciska, E., & Zieliński, H. (2008). Content of selected bioactive components and antioxidant properties of broccoli (*Brassica oleracea* L.). *European Food Research and Technology*, 226(3), 459-465.
- Bou, R., Codony, R., Baucells, M. D., & Guardiola, F. (2005). Effect of heated sunflower oil and dietary supplements on the composition, oxidative stability, and sensory quality of dark chicken meat. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(20), 7792-7801.
- Bou, R., Codony, R., Baucells, M. D., & Guardiola, F. (2005). Effect of heated sunflower oil and dietary supplements on the composition, oxidative stability, and sensory quality of dark chicken meat. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(20), 7792-7801
- Castellini, C., Mugnai, C. A. N. D., & Dal Bosco, A. (2002). Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. *Meat science*, 60(3), 219-225.

- Chukwukaelo, A. K., Aladi, N. O., Okeudo, N. J., Obikaonu, H. O., Ogbuewu, I. P., & Okoli, I. C. (2018). Performance and meat quality characteristics of broilers fed fermented mixture of grated cassava roots and palm kernel cake as replacement for maize. *Tropical animal health and production*, 50(3), 485-493.
- Cui, Y. M., Wang, J., Lu, W., Zhang, H. J., Wu, S. G., & Qi, G. H. (2018). Effect of dietary supplementation with *Moringa oleifera* leaf on performance, meat quality, and oxidative stability of meat in broilers. *Poultry science*, 97(8), 2836-2844.
- Dalólio, F. S., Moreira, J., Vaz, D. P., Albino, L. F. T., Valadares, L. R., Pires, A. V., & Pinheiro, S. R. F. (2016). Exogenous enzymes in diets for broilers. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 17(2), 149-161.
- Diarra, S. S. (2014). Potential of mango (*Mangifera indica* L.) seed kernel as a feed ingredient for poultry: a review. *World's Poultry Science Journal*, 70(2), 279-288.
- Dorta, E., Lobo, M. G., & González, M. (2013). Improving the efficiency of antioxidant extraction from mango peel by using microwave-assisted extraction. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68(2), 190-199.
- Eruvbetine, D., Tajudeen, I. D., Adeosun, A. T., & Olojede, A. A. (2003). Cassava (*Manihot esculenta*) leaf and tuber concentrate in diets for broiler chickens. *Bioresource Technology*, 86(3), 277-281.
- Fernandes da Silva, D. C., de Arruda, A. M. V., & Gonçalves, A. A. (2017). Quality characteristics of broiler chicken meat from free-range and industrial poultry system for the consumers. *Journal of food science and technology*, 54(7), 1818-1826.
- Freitas, E. R., da Silva Borges, Â., Pereira, A. L. F., Abreu, V. K. G., Trevisan, M. T. S., & Watanabe, P. H. (2015). Effect of dietary ethanol extracts of mango (*Mangifera indica* L.) on lipid oxidation and the color of chicken meat during frozen storage. *Poultry science*, 94(12), 2989-2995.
- Gasco, L., Belforti, M., Rotolo, L., Lussiana, C., Parisi, G., Terova, G., Roncarati A. & Gai, F. (2014, May). Mealworm (*Tenebrio molitor*) as a potential ingredient in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). In Abstract book Conference “*Insects to Feed The World*” *The Netherlands* (pp. 14-17).
- Hu, C. H., Wang, D. G., Pan, H. Y., Zheng, W. B., Zuo, A. Y., & Liu, J. X. (2012). Effects of broccoli stem and leaf meal on broiler performance, skin pigmentation, antioxidant function, and meat quality. *Poultry science*, 91(9), 2229-2234.
- Hussein, E. O. S., Suliman, G. M., Alowaimer, A. N., Ahmed, S. H., Abd El-Hack, M. E., Taha, A. E., & Swelum, A. A. (2020). Growth, carcass characteristics, and meat quality of broilers fed a low-energy diet supplemented with a multienzyme preparation. *Poultry science*, 99(4), 1988-1994.
- Hussein, E. O., Suliman, G. M., Abudabos, A. M., Alowaimer, A. N., Ahmed, S. H., El-Hack, A., Alagawany, M., Swelum, A. A., Tinelli, A., Turarelli, V & Laudadio, V. (2019). Effect of a low-energy and enzyme-supplemented diet on broiler chicken

- growth, carcass traits and meat quality. *Archives animal breeding*, 62(1), 297-304.
- Kalmendal, R., Elwinger, K., Holm, L., & Tauson, R. (2011). High-fibre sunflower cake affects small intestinal digestion and health in broiler chickens. *British poultry science*, 52(1), 86-96.
- Karsten, H. D., Patterson, P. H., Stout, R., & Crews, G. (2010). Vitamins A, E and fatty acid composition of the eggs of caged hens and pastured hens. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 45-54.
- Khan, S. H. (2018). Recent advances in role of insects as alternative protein source in poultry nutrition. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 1144-1157.
- Khempaka, S., Molee, W., & Guillaume, M. (2009). Dried cassava pulp as an alternative feedstuff for broilers: Effect on growth performance, carcass traits, digestive organs, and nutrient digestibility. *Journal of Applied Poultry Research*, 18(3), 487-493.
- Khempaka, S., Thongkratok, R., Okrathok, S., & Molee, W. (2013). An evaluation of cassava pulp feedstuff fermented with *A. oryzae*, on growth performance, nutrient digestibility and carcass quality of broilers. *The Journal of Poultry Science*, 0130022.
- Khempaka, S., Thongkratok, R., Okrathok, S., & Molee, W. (2014). An evaluation of cassava pulp feedstuff fermented with *A. oryzae*, on growth performance, nutrient digestibility and carcass quality of broilers. *The Journal of Poultry Science*, 0130022.
- Küçükyılmaz, K., Bozkurt, M., Çatli, A. U., Herken, E. N., Çınar, M., & Bintaş, E. (2012). Chemical composition, fatty acid profile and colour of broiler meat as affected by organic and conventional rearing systems. *South African Journal of Animal Science*, 42(4), 361-368.
- Laudadio, V., Ceci, E., Lastella, N. M. B., & Tufarelli, V. (2014). Effect of feeding low-fiber fraction of air-classified sunflower (*Helianthus annuus* L.) meal on laying hen productive performance and egg yolk cholesterol. *Poultry science*, 93(11), 2864-2869.
- Mahfoudh, M., Trabelsi, H., Sebei, K., & Boukhchina, S. (2016). Effects of adding different proportions of sunflower seeds on fatty acid composition of chicken tissues. *Journal of Food Processing and Technology*, 7(3).
- Mandal, A. B., Biswas, A., Yadav, A. S., & Biswas, A. K. (2014). Effect of dietary *Moringa oleifera* leaves powder on growth performance, blood chemistry, meat quality and gut microflora of broiler chicks. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 14(2), 349-357
- Mera-Zúñiga, F., Pro-Martínez, A., Zamora-Natera, J. F., Sosa-Montes, E., Guerrero-Rodríguez, J. D., Mendoza-Pedroza, S. I., Cuca-García, J. M., López-Romero, R. M., Chan-Díaz, D., Becerril-Pérez, C.M., Vargas-Galicia, A. J. and Bautista-Ortega, J. (2019). Soybean meal substitution by dehulled lupine (*Lupinus angustifolius*) with enzymes in broiler diets. *Asian-Aust J. Animal Science*, 32(4), 564-573.
- Moreno, F. L. V., Ton, A. P. S., Rosa, C. M. G., & de Freitas, L. W. (2021). Uso de insectos como alternativa en la nutrición avícola: revisión. *Research, Society and*

Development, 10(3).

- Nalle, C. L., Ravindran, V., & Ravindran, G. (2012). Nutritional value of narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius*) for broilers. *British Poultry Science*, 1668. <https://doi.org/10.1080/00071668.2011.639343>
- Nduku, X. P., Mabusela, S. P., & Nkukwana, T. T. (2020). Growth and meat quality of broiler chickens fed Moringa oleifera leaf meal, a probiotic and an organic acid. *South African Journal of Animal Science*, 50(5), 710-718.
- Nkukwana, T. T., Muchenje, V., Masika, P. J., Hoffman, L. C., Dzama, K., & Descalzo, A. M. (2014). Fatty acid composition and oxidative stability of breast meat from broiler chickens supplemented with Moringa oleifera leaf meal over a period of refrigeration. *Food Chemistry*, 142, 255-261.
- Ouyang, K., Xu, M., Jiang, Y., & Wang, W. (2016). Effects of alfalfa flavonoids on broiler performance, meat quality, and gene expression. *Canadian Journal of Animal Science*, 96(3), 332-341.
- Pekel, A. Y., Demirel, G., Midilli, M., Yalcintan, H., Ekiz, B., & Alp, M. (2012). Comparison of broiler meat quality when fed diets supplemented with neutralized sunflower safpstock or soybean oil. *Poultry Science*, 91(9), 2361-2369.
- Pereira, A. L. F., Vidal, T. F., Teixeira, M. C., Oliveira, P. F. D., Pompeu, R. C. F. F., Vieira, M. M. M., & Zapata, J. F. F. (2011). Antioxidant effect of mango seed extract and butylated hydroxytoluene in bologna-type mortadella during storage. *Food Science and Technology*, 31(1), 135-140.
- Pestana, J. M., Puerta, B., Santos, H., Madeira, M. S., Alfaia, C. M., Lopes, P. A., Pinto, R.M.A., Lemos-Fuentes, J.P.C., Lordelo, M.M. & Prates, J. A. M. (2020). Impact of dietary incorporation of Spirulina (*Arthrospira platensis*) and exogenous enzymes on broiler performance, carcass traits, and meat quality. *Poultry science*, 99(5), 2519-2532.
- Ponte, P. I. P., Alves, S. P., Bessa, R. J. B., Ferreira, L. M. A., Gama, L. T., Brás, J. L. A., , Fontes C. M. G. A., Prates, J. A. M. (2008b). Influence of Pasture Intake on the Fatty Acid Composition, and Cholesterol, Tocopherols, and Tocotrienols Content in Meat from Free-Range Broilers. *Poultry Science*, 87(1), 80–88. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00148>.
- Ponte, P. I. P., Prates, J. A. M., Crespo, J. P., Crespo, D. G., Mourão, J. L., Alves, S. P., R. Bessa, J. B., Chaveiro-Soares, M. A., Gama, L. T., Ferreira, L. M. A., Fontes, C. M. G. A. (2008a). Restricting the Intake of a Cereal-Based Feed in Free-Range-Pastured Poultry: Effects on Performance and Meat Quality. *Poultry Science*, 87(10), 2032–2042. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00522>
- Ponte, P. I. P., Prates, J. A. M., Crespo, J. P., Crespo, D. G., Mourão, J. L., Alves, S. P., R. Bessa, J. B., Chaveiro-Soares, M. A., Gama, L. T., Ferreira, L. M. A., Fontes, C. M. G. A. (2008a). Restricting the Intake of a Cereal-Based Feed in Free-Range-Pastured Poultry: Effects on Performance and Meat Quality. *Poultry Science*, 87(10), 2032–2042.

<https://doi.org/10.3382/ps.2007-00522>

- Rama Rao, S. V., Raju, M. V. L. N., Panda, A. K., & Reddy, M. R. (2006). Sunflower seed meal as a substitute for soybean meal in commercial broiler chicken diets. *British Poultry Science*, 47(5), 592-598.
- Reis, T. L., & Dias, A. C. C. (2020). Farinha de insetos na alimentação de não ruminantes, uma alternativa alimentar. *Veterinária e Zootecnia*, 27, 1-17. 10.35172/rvz.2020.v27.428
- Rodríguez-Ortega, L. T., Juárez-Juárez, G., Pro-Martínez, A., Sosa-Montes, E., Bautista-Ortega, J., González-Cerón, F., Vargas-Galicia, A.J., Chan-Díaz, D., Moreno-Medina, D., Gallegos-Sánchez, J. and Rodríguez-Ortega, A. (2017). Lipid Peroxidation in the Plasma, Lungs, Heart and Liver of Broilers Fed a Grape Seed Extract and Raised at 2278 m of Altitude. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 19(3), 465–470
- Rubab, M., Chelliah, R., Saravanakumar, K., Barathikannan, K., Wei, S., Kim, JR., Yoo D., Wang MH., and Oh, DH (2020). Bioactive Potential of 2-Methoxy-4-vinylphenol and Benzofuran from Brassica oleracea L. var. capitata f, rubra (Red Cabbage) on Oxidative and Microbiological Stability of Beef Meat. *Foods* 9 (5), 568.
- Schiavone, A, Cullere, M., Marco, M., Meneguz, M., Biasato, I., Bergagna, S., & Gasco, L. (2016). Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Italian Journal of Animal Science*, 16(1), 93–100. 10.1080/1828051X.2016.1249968
- Sebola, N. A., Mlambo, V., Mokoboki, H. K., Hugo, A., & Muchenje, V. (2018). Comparison of meat quality parameters in three chicken strains fed Moringa oleifera leaf meal-based diets. *Journal of Applied Poultry Research*, 27(3), 332-340.
- Sredanović, S., Lević, J., & Đuragić, O. (2011). Upgrade of sunflower meal processing technology/adelanto del procredimento tecnologicode acabado de la harina de aceite de semilla de girasol/promotion du procédé technologique de fabrication du tourteau de tournesol. *Helia*, 34(54), 139-146.
- Stadig, L. M., Rodenburg, T. B., Reubens, B., Aerts, J., Duquenne, B., & Tuytens, F. A. (2016). Effects of free-range access on production parameters and meat quality, composition and taste in slow-growing broiler chickens. *Poultry science*, 95(12), 2971-2978.
- Sugiharto, S., Yudiarti, T., & Isroli, I. (2015). Functional properties of filamentous fungi isolated from the Indonesian fermented dried cassava, with particular application on poultry. *Mycobiology*, 43(4), 415-422.
- Sugiharto, S., Yudiarti, T., Isroli, I., Widiastuti, E., & Putra, F. D. (2017). Effects of feeding cassava pulp fermented with *Acremonium charticola* on growth performance, nutrient digestibility and meat quality of broiler chicks. *South African Journal of Animal Science*, 47(2), 130-137.

- Sun, T., Long, R., & Liu, Z. (2013). The effect of a diet containing grasshoppers and access to free-range on carcass and meat physicochemical and sensory characteristics in broilers. *British poultry science*, 54(1), 130-137. 10.1080/00071668.2012.756575
- Temesgen, M., Retta, N., & Tesfaye, E. (2017). Nutrient Composition and Digestibility of Taro Leaf in the Diets of Chicken and Effects on the Meat Quality. *J Nutr Health Food Eng*, 7(3), 00238.
- Valipour, M., Ziatabar, A. M., & Raeni-sarjaz, M. (2015). Agricultural water management in the world during last half century. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 61(5), 657–678. 10.1080/03650340.2014.944903
- Van Broekhoven, S., Oonincx, D. G., Van Huis, A., & Van Loon, J. J. (2015). Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Journal of insect physiology*, 73, 1-10.
- Van Huis, A., Vangurp, H., Dicke, M., Takken-kaminker, F., & Blumenfeld-schaap, D. (2014). The insect cook book: Food for a sustainable planet (pp. 196). *Columbia University Press*.
- Veldkamp, T., Van Duinkerker, G., Van Huis, A., Iakemond, C. M. M., Ottevanger, E., Bosch, G., & Van Boekel, M. A. J. S. (2012). Insects as a Sustainable Feed Ingredient in Pig and Poultry Diets – a feasibility Study (pp. 48). *Wageningen UR Livestock Research*.
- Wang, L. Hua, & Huo, G. cheng. (2010). The Effects of Dietary Fatty Acid Pattern on Layer's Performance and Egg Quality. *Agricultural Sciences in China*, 9(2), 280–285. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(09\)60094-8](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60094-8)
- Wu, Y., Perry, A. K., & Klein, B. P. (1992). Vitamin C and β -carotene in fresh and frozen green beans and broccoli in a simulated system. *Journal of Food Quality*, 15(2), 87-96.
- Xu, Q. Q., Yan, H., Liu, X. L., Lv, L., Yin, C. H., & Wang, P. (2014). Growth performance and meat quality of broiler chickens supplemented with *Rhodopseudomonas palustris* in drinking water. *British poultry science*, 55(3), 360-366.
- Wang, S., Zhang, L., Li, J., Cong, J., Gao, F., & Zhou, G. (2017). Effects of dietary marigold extract supplementation on growth performance, pigmentation, antioxidant capacity and meat quality in broiler chickens. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 30(1), 71.

CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA CARNE DE POLLOS EN PASTOREO ALIMENTADOS CON SEMILLA DE GIRASOL PARCIALMENTE DESCASCARILLADAQ

1.1. RESUMEN

Se evaluó el efecto de incluir semilla de girasol parcialmente descascarillada en la dieta de pollos en pastoreo sobre la calidad de la carne. Se utilizaron doscientos cuarenta pollos Ross 308 de un día de edad, distribuidos al azar en cuatro tratamientos con seis repeticiones de 10 aves cada una. Setenta y dos aves se mataron a las siete semanas de edad, 18 por tratamiento, extrayéndose el músculo *Pectoralis major* para el análisis de calidad en la carne. Los tratamientos fueron asignados completamente al azar en un arreglo factorial 2x2, donde tipo de crianza (confinamiento o pastoreo) y dieta (dieta base o dieta base sustituyendo 10% pasta soya por semilla de girasol parcialmente descascarillada), fueron las variables independientes. Las variables analizadas fueron pH, color, CRA, Aw, RC, grasa, PC, MS, humedad, colágeno y perfil de ácidos grasos, se analizaron con el procedimiento GLM. Adicionalmente para capacidad antioxidante se utilizó un diseño con medidas repetidas en el tiempo utilizando PROC MIXED. Las medias se compararon usando la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Los pollos en pastoreo estuvieron 8 h diarias en una pradera de Trébol blanco (*Trifolium repens*). Incluir semilla de girasol mejoró ($P < 0.05$) el color y la proteína cruda (PC) en la pechuga ($P < 0.05$), en tanto el pastoreo aumentó ($P < 0.05$) PC, materia seca (MS) y resistencia al corte (RC), y disminuyó ($P < 0.05$) el porcentaje de grasa en pechuga hasta en 50%. Adicionalmente, el pastoreo incrementó ($P < 0.05$) los ácidos grasos saturados (AGS) y redujo ($P < 0.05$) la oxidación lipídica hasta 50%. Sustituir parcialmente la pasta de soya por semilla de girasol parcialmente descascarillada en la dieta de pollos pastoreando trébol blanco mejora las características físico-químicas y calidad nutricional de la pechuga, además disminuye la oxidación lipídica, alargando la vida en anaquel de la carne.

Palabras claves: oxidación lipídica, pechuga, semilla de girasol descascarillada, trébol blanco.

1.2. ABSTRACT

The effect of including partially dehulled sunflower seeds in the diet of grazing chickens on meat quality was evaluated. Two hundred and forty, one-day-old, Ross 308 chickens were used, randomly distributed into four treatments with six replicates of 10 birds each. Seventy-two birds were slaughtered at seven weeks of age, 18 per treatment, extracting the *Pectoralis major* muscle to analyse meat quality. The treatments were completely randomized in a 2x2 factorial arrangement, where type of rearing (confinement or grazing) and diet (base diet or base diet substituting 10% soybean meal for partially dehulled sunflower seeds) were the independent variables. The variables analysed were pH, colour, water holding capacity (WHC), Water activity (Aw), shear force (SF), fat, crude protein (CP), dry matter (DM), moisture, collagen, and fatty acid profile; they were analysed with the GLM procedure. Additionally, for antioxidant capacity, a design with repeated measures over time using PROC MIXED was used. The means were compared using Tukey's test ($P < 0.05$). The grazing chickens spent 8 hours a day in a white clover (*Trifolium repens*) paddock. Including sunflower seeds improved ($P < 0.05$) the colour and CP in breast meat ($P < 0.05$), while pasturing increased ($P < 0.05$) CP, DM, and SF, and the percentage of breast fat decreased ($P < 0.05$) by up to 50%. Additionally, pasturing increased ($P < 0.05$) saturated fatty acids (SFA) and reduced ($P < 0.05$) lipid oxidation by up to 50%. Partially replacing soybean meal with partially dehulled sunflower seeds in the diet of grazing chickens with white clover improves the physicochemical characteristics and nutritional quality of the breast meat; it also decreases lipid oxidation, extending the shelf life of the meat.

Key words: breast meat, dehulled sunflower seeds, grazing chickens, lipid oxidation, white clover.

1.3. INTRODUCCIÓN

La carne de pollo, principalmente la pechuga (*Pectoralis major*), es uno de los productos con mayor demanda en la industria cárnica a nivel mundial, y normalmente proviene de sistemas de producción intensivos, donde la crianza se realiza en confinamiento con alimentación a base de pasta de soya y maíz. El pastoreo puede ser una alternativa para este sistema de producción, ya que además de disminuir los costos de producción (Rocchi et al., 2019), permite obtener productos inocuos y de mejor calidad nutricional (Küçükyilmaz et al., 2012; Fernandes da Silva et al., 2017). En este sentido, el trébol blanco (*Trifolium repens*), por su alto contenido de proteína (23-25%) (Ponte et al., 2008a), resistencia al pastoreo y buena palatabilidad, es una excelente alternativa en la alimentación de aves en pastoreo, ya que según reportes, aumenta los niveles de ácido eicosapentaenoico (20:5n-3) en la carne, induciendo mayor cantidad de ácido α -linolénico, esencial para el organismo (Ponte et al., 2008b; Stadig et al., 2016). Adicionalmente, si se complementa la dieta de aves con oleaginosas, la calidad de la carne puede mejorarse aún más (Tsuzuki et al., 2003). De esta manera, la semilla de girasol (*Helianthus annuus* L.), por su alto contenido de aceite (30-45%) y proteína (21%), puede ser una alternativa al uso de la pasta de soya, con la desventaja de su alto contenido de fibra (26.2%) (Kalmendal et al., 2011), por lo que se recomienda no usar más del 25%, o alternativamente, descascarillarla para mejorar su digestibilidad. Se ha evidenciado que la inclusión de semilla de girasol en dieta de aves de postura aumenta el contenido de Ω -3 en huevo (Wang & Huo, 2010; Laudadio et al., 2014), mejora la estabilidad oxidativa y calidad sensorial de la carne (Guyon et al., 2016), y aumenta los ácidos grasos insaturados (Mahfoudh et al., 2016). Por tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad de la carne de pollos pastoreando trébol blanco, y alimentados con semilla de girasol parcialmente descascarillada como sustituto parcial de la pasta de soya.

1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Nutrición Animal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos, ubicado en Texcoco, Estado de México (19° 29'N, 98°53'O a 2250 msnm).

Pollos, diseño experimental y tratamientos

Se utilizaron doscientos cuarenta pollos de engorda Ross 308 de un día de edad, distribuidos en cuatro tratamientos con seis repeticiones cada uno, y 10 aves por repetición. Los tratamientos se basaron en dos tipos de crianza (confinamiento o pastoreo) y dos dietas (dieta base o dieta base sustituyendo 10% pasta soya por semilla de girasol parcialmente descascarillada). La dieta base estuvo compuesta por pasta de soya y sorgo (Cuadros 1.1 y 1.2). Las aves en confinamiento recibieron alimento *ad libitum*, y aquellas en pastoreo, se les restringió en 40% para inducir el consumo del trébol blanco. El agua se ofreció *ad libitum* en bebederos de plástico. Las aves en pastoreo estuvieron tres semanas en confinamiento al inicio del experimento, y posteriormente cuatro semanas en pastoreo hasta finalización. El tiempo de pastoreo fue 8 h diarias (de 8:00 a 16:00 h) en una pradera de Trébol blanco (*Trifolium repens*) de 3.5 meses de establecida, cuya composición química se presenta en el Cuadro 1.2.

Matanza

A las siete semanas de edad se seleccionaron aleatoriamente 72 aves para la matanza, 18 por tratamiento, extrayendo el músculo *Pectoralis major* para análisis de las características físico-químicas y de calidad. La matanza se realizó de acuerdo a la norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995 (Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres).

El pH en la pechuga se midió 4 y 24 h *postmortem* utilizando un potenciómetro portátil con electrodo de penetración (HANNA, mod. HI99163). El color de la pechuga se obtuvo con el

medidor de colorimetría CR-400 Minolta (Chroma Meter CR 200, Tokio, Japón), registrando valores de *L* (luminosidad), *a* (rojo-verde) y *b* (amarillo-azul), con base al sistema CIE (Robertson, 1977). Posteriormente las pechugas se almacenaron a -20°C, hasta su análisis.

Cuadro 1.1. Composición de las dietas experimentales proporcionada a los pollos de engorda

Ingrediente (%)	Confinamiento		Pastoreo	
	PS	PSG	PS	PSG
Sorgo	60.62	62.36	61.23	61.82
Pasta de soya	30.13	23.20	30.01	24.12
G*	0.00	10.00	0.00	10.00
Aceite vegetal	5.00	0.00	4.81	0.00
Fosfato dicálcico	1.58	1.54	1.58	1.53
Carbonato de calcio	0.93	0.98	0.94	0.98
L-lisina HCl	0.37	0.55	0.38	0.50
DL-metionina	0.34	0.32	0.34	0.31
**Premezcla de vitaminas y minerales	0.30	0.30	0.30	0.30
Pigmento	0.30	0.30	0.00	0.00
Cloruro de sodio (NaCl)	0.30	0.30	0.30	0.30
L-treonina	0.08	0.11	0.08	0.09
Coccidiostato (Salinomycin 12%)	0.05	0.05	0.05	0.05
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

G*: Semilla de girasol parcialmente descascarillada. ******Aporta por kg de alimento: vitamina A, 12,000 UI; vitamina D3, 1,000 UI; vitamina E, 60 UI; vitamina K, 5.0 mg; vitamina B2, 8.0 mg; vitamina B12, 0.030 mg; ácido pantoténico, 15 mg; niacina, 50 mg; ácido fólico, 1.5 mg; colina, 300 mg; biotina, 0.150 mg; tiamina, 3.0 mg. Minerales: Fe, 50.0 mg; Zn, 110 mg; Mn, 100 mg; Cu, 12.0 mg; Se, 0.3 mg; I, 1.0 mg. **PS**: Dieta base dieta base de pasta soya-sorgo ; **PSG**: Dieta base sustituyendo 10% pasta soya por semilla de girasol parcialmente descascarillada.

Cuadro 1.2. Composición química de las dietas experimentales y el trébol blanco proporcionada a los pollos de engorda.

Componente	PS	PSG	Trébol blanco
Materia seca (%)	89.03	89.02	14.39
Proteína cruda (%)	19.40	19.10	24.01
Extracto etéreo (%)	7.56	7.76	5.71
Fibra cruda (%)	2.39	2.64	13.92
Cenizas (%)	5.13	5.50	11.68
FDN (%)	14.50	15.32	29.21
FDA (%)	7.39	8.65	23.34
Lignina (%)	3.19	3.78	2.98
DPPH ($\mu\text{mol/kg}$)	2.63	2.68	-
Perfil de ácidos grasos (%)			
Palmítico (C16:0)	14.16	10.04	18..07
Esteárico (C18:0)	2.98	4.78	-
Oleico (C18:1n-9)	22.21	24.50	-
Linoleíco (C18:2)	53.60	59.38	16.59
Linolenico (C18:3)	5.0	1.30	47.81
ΣAGS	17.14	14.82	20.20
ΣAGI	80.81	85.18	68.16

PS: Dieta base de pasta soya-sorgo; **PSG:** Dieta base sustituyendo 10% pasta soya por semilla de girasol parcialmente descascarillada; **DPPH:** 2,2-difenil-1-picrylhydrazyl; **AGS:** Ácidos grasos saturados; **AGI:** Ácidos grasos insaturados.

Características físico-químicas de la carne

La capacidad de retención de agua (CRA) se determinó utilizando 5 g de pechuga finamente picada y mezclada con 8 mL de solución de cloruro de sodio 0.6 M. La carne y el NaCl se colocaron en tubos para centrifuga y se agitaron con una varilla de vidrio, posteriormente se colocaron en baño de hielo por 30 min. En seguida se centrifugaron durante 15 min a 10,062 g (Beckman Coulter J2-HS, USA). El volumen del sobrenadante se decantó y la diferencia se reportó como mL de solución de NaCl retenidos por 100 g de carne. La actividad de agua (Aw) se determinó usando el equipo Rotronic HygroLab (C1-SET-40 CH-8303 Bassersdorf, Switzerland).

La resistencia al corte (RC) se obtuvo con el medidor de textura (TA-XSGCi Stable Micro Systems, Godalming, England) y la cuchilla Warner-Bratzler (Blade Set with 'V' slot blade for USDA Standard). La grasa, PC, MS, humedad y colágeno se determinaron utilizando el espectrofotómetro FoofScam™ meat analyser (Foss, Copenhagen, Dinamarca). La capacidad antioxidante se determinó por el método de DPPH (2,2-difenil-1-picrylhydrazyl) (Brand-Williams, Cuvelier, & Berset, 1995), a los días 0, 3, 5 y 9 en refrigeración, por espectrofotometría (Espectrofotómetro visible Varian Cary 1E UV, USA) a 517 nm.

El perfil de ácidos grasos se determinó en muestras de pechuga liofilizada (Labconco FreeZone 6, USA), usando la técnica de metilación (Sukhija and Palmquist 1988; Palmquist and Jenkins 2003; Jenkins 2010), en la cual los ácidos grasos se presentan en forma de metil-ésteres. Para la lectura de las muestras se utilizó un cromatógrafo (Hewlett Packard 6890 USA), Detector FID e Inyector automático G2613A, columna capilar de sílice (100m x 0.25mm x 0.20µm de grosor, SPTM-2560, Supelco). Para la cromatografía se consideró como gas acarreador Helio Split ratio 10, temperatura del inyector 250 °C y temperatura del detector 260 °C. Finalmente se realizó la integración e identificación de los ácidos grasos en los cromatogramas obtenidos, para lo cual se comparó el tiempo de retención del estándar Supelco 37 Components FAME (Fatty Acids Methyl Esters) con el de la muestra.

Análisis estadístico

Los resultados de las variables pH, color, RC, CRA, Aw, grasa, PC, MS, colágeno, humedad y perfil de ácidos grasos, se analizaron utilizando un diseño completamente al azar con

arreglo factorial 2x2 con el procedimiento GLM (SAS, 1999), donde el factor A fue tipo crianza (pastoreo o confinamiento) y factor B tipo de dieta (dieta base o dieta base sustituyendo 10% de pasta de soya por semilla de girasol). Para capacidad antioxidante, además, se utilizó un diseño con medidas repetidas en el tiempo utilizando PROC MIXED. Las medias se compararon usando la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

El modelo estadístico fue $Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + E_{ijk}$, donde Y_{ijk} = Variable respuesta en la repetición k nivel j de factor A, nivel i del factor B; μ = Media general; A_i = Efecto del factor A en el nivel i; B_j = Efecto del factor B en el nivel j; $(AB)_{ij}$ = Efecto de la interacción AB en el nivel i,j; E_{ijk} = Error aleatorio.

1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características fisicoquímicas de la carne

El pH, Aw y CRA no mostraron cambios entre los tratamientos evaluados ($P > 0.05$), pero sí hubo diferencia en el color y resistencia al corte por el factor crianza ($P < 0.05$), y en color, por el factor alimento ($P < 0.05$) (Cuadro 1.3). Los valores promedios de pH a las 4 y 24 h, 6.41 y 5.62 respectivamente, coinciden con los reportados en la literatura para carne de pollo, 6.4 y 5.7, respectivamente (Ponte *et al.*, 2008d).

La luminosidad (L) de la pechuga sólo fue diferente entre tratamientos ($P < 0.05$) cuando se incluyó semilla de girasol parcialmente descascarillada, incrementando su valor ($P = 0.035$), debido al efecto de reflexión por el alto contenido de grasa, principalmente en aquellas muestras provenientes de animales en confinamiento (Luciano *et al.*, 2009). El valor de a , que representan tonalidades rojizas a azules, fluctuó de 9.31 a 12.6. Similar comportamiento fue para b , que implica tonalidades amarillas a azul, cuyos valores registrados fueron de 9.58 a 15.4. Esta respuesta en color está directamente relacionada con la cantidad de pigmentos en el alimento, como se evidencia con la pechuga de pollos en confinamiento, donde el alimento suministrado contenía carotenoides provenientes del cempasúchil (*Tagetes erecta*), causando una tonalidad más roja y amarilla. A diferencia del Trébol blanco, a pesar de contener carotenos y xantofilas (Stødkilde *et al.*, 2018), la cantidad consumida por las aves en pastoreo no fue suficiente para causar cambios invidentes en a y b (Bampidis *et al.*, 2019), ya que su consumo fue apenas de 19.9 g de MS/día/ave (González-León *et al.*, 2019), y en consecuencia disminuyó el consumo de pigmentos. Además, es importante mencionar que el alimento proporcionado a las aves de este tratamiento no contenía pigmentos adicionales. Al respecto, Ponte *et al.* (2008d) reportaron incremento de hasta 60% en las tonalidades amarillas en pechuga de pollo, cuando las aves pastorearon una pradera de *Trifolium subterraneum* y *Trifolium repens*, comparados con aquellos en confinamiento, a pesar que las aves solo pastorearon 28 días previos a la matanza, pero sin restringir el alimento concentrado que contenía pigmentos adicionales. En nuestro estudio, incluir semilla de girasol en la dieta de pollos en confinamiento, aumentó 1.06 unidades porcentuales el valor de a y redujo 2.02 el valor de b , debido a que la semilla aportó pigmento extra, cuya mayor concentración se encontraba en el cotiledón de la semilla, aportando clorofila y carotenoides, $30 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$,

y 10 mg kg⁻¹ MS, respectivamente (Sağlam, 2009; Weisz *et al.*, 2013; Pająk *et al.*, 2014). El descascarillado de la semilla de girasol mejoró la disponibilidad de pigmentos para su absorción y deposición en la carne, debido a un incremento de alrededor de 17% de pigmentos, en relación a la utilización de semilla completa (Weisz *et al.*, 2009).

El valor promedio de Aw encontrado (0.94) no corresponde al valor promedio en carne fresca (0.98), modificando consecuentemente la CRA (Jiang *et al.*, 2018), con valores menores en este estudio (26.57 mL/g) en comparación a lo reportado por Carvalho *et al.* (2017).

La resistencia al corte de la pechuga de aves en pastoreo fue mayor respecto aquellas provenientes de aves en confinamiento, con promedios de 27.7 vs 10.44 N, respectivamente, clasificada como carne extremadamente dura (Jiang *et al.*, 2018). Esta respuesta se debe a la actividad física de los pollos en pastoreo, los cuales demandan mayor cantidad de energía en la búsqueda, selección, consumo y digestión de alimento, restando energía para acumulación de grasa en músculo, por tanto menor ternura (Ponte *et al.*, 2008b; Englmaierová *et al.*, 2020), toda vez que el contenido de grasa está relacionado positivamente con la suavidad de la carne. Adicionalmente, el hecho de disminuir el contenido de grasa, provoca un efecto de dilución en las fibras musculares, actina y miocina, compactándolas y por tanto, haciéndolas más resistentes al corte (Fernandes da Silva *et al.*, 2017).

Cuadro 1.3. Características físico-químicas de la pechuga de pollos de engorda criados en pastoreo o confinamiento, y con o sin sustitución de pasta de soya por semilla de girasol parcialmente descascarillada

Característica	Confinamiento		Pastoreo		Valor de P			EEM
	PS	PSG	PS	PSG	FA	FB	FA*FB	
pH (4 h postmortem)	6.43	6.49	6.29	6.43	0.847	0.080	0.520	0.14
pH (24 h postmortem)	5.62	5.71	5.52	5.64	0.847	0.080	0.520	0.14
L	50.87 ^a	48.19 ^b	48.54 ^{ab}	48.34 ^b	0.102	0.035	0.065	1.56
Color a	11.54 ^{ab}	12.60 ^a	9.31 ^b	11.11 ^{ab}	0.003	0.020	0.518	1.39
b	15.40 ^a	13.38 ^b	10.01 ^c	9.58 ^c	<0.001	0.038	0.071	1.20
CRA (mL/g)	25.76	22.21	28.73	29.61	0.052	0.601	0.388	6.16
Aw	0.94	0.95	0.95	0.94	0.316	0.694	0.073	0.01
RC (N)	10.49 ^b	10.40 ^b	26.28 ^a	29.12 ^a	<0.001	0.346	0.329	3.49

^{abc} Medias con distinta literal en la misma fila son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$); **FA**: tipo de crianza (confinamiento o pastoreo); **FB**: con o sin semilla de girasol parcialmente descascarillada como parte de la dieta; **EEM** Error estándar de la media; **PS**: Dieta base de pasta soya-sorgo; **PSG**: Dieta base sustituyendo 10% pasta soya por semilla de girasol parcialmente descascarillada; **FA*FB**: interacción Factor A por Factor B; **FA**: tipo de crianza; **FB**: tipo alimentación; **L**: indicador de luminosidad en el color; **a**: indicador de color rojo a verde; **b**: indicador de color amarillo a azul; **CRA**: capacidad de retención de agua dado en mL de NaCl retenidos en 100g de carne; **Aw**: actividad del agua; **RC**: resistencia al corte.

Características nutricionales de la pechuga

El porcentaje de grasa, proteína cruda, materia seca y humedad de la pechuga fueron diferentes entre tratamientos por efecto del factor crianza ($P < 0.05$), pero no el colágeno ($P > 0.05$) (Cuadro 1. 4). La interacción crianza x dieta tuvo efecto significativo en el contenido de proteína cruda ($P < 0.05$), la cual aumentó a 26.95 en aquellas muestras provenientes de aves en pastoreo, independientemente del tipo de dieta. Este resultado se debe a un efecto complementario en el aporte de aminoácidos en la dieta, proporcionados por la semilla de girasol y el trébol blanco, mientras que el primero es deficiente en lisina, el segundo aporta hasta el 7% del total de aminoácidos incluyendo lisina ($120-127 \text{ g kg}^{-1}\text{MS}$) (San Juan & Villamide, 2001). Adicionalmente la disminución de grasa en la carne conlleva a aumentar el porcentaje de proteína. En el caso de las aves en confinamiento el contenido de proteína fue mayor en las alimentadas con dieta base en comparación con aquellas complementadas con semilla de girasol parcialmente descascarillada.

El contenido de grasa disminuyó 0.4 unidades porcentuales en pechuga proveniente de aves en pastoreo, independientemente del tipo de dieta, debido a que las actividades de las aves en pastoreo demandaban mayor energía en comparación con aquellas en confinamiento, en consecuencia la acumulación de grasa en el músculo de las aves en pastoreo fue menor debido a las diferentes actividades que implicaba su mantenimiento (Fernandes da Silva *et al.*, 2017). En tanto que la materia seca en la pechuga aumentó 2.01 unidades porcentuales ($P < 0.05$) en aquellas aves en pastoreo, como resultado de la actividad física que causa mayor pérdida de agua para efecto de termorregulación (Ponte *et al.*, 2008b). Es importante mencionar que la demanda actual de carne exige productos magros provenientes de sistemas sustentables, donde el bienestar animal es un factor importante a considerar, obteniéndose así productos de mejor calidad e inocuos (Küçükyilmaz *et al.*, 2012; Stubbs *et al.*, 2018).

Cuadro 1.4. Características nutricionales de pechuga de pollo criado en pastoreo y complementado con semilla de girasol parcialmente descascarillada

Característica (% base húmeda)	Confinamiento		Pastoreo		Valor de P			EEM
	PS	PSG	SS	PSG	FA	FB	FA*FB	
Grasa	1.58 ^a	1.56 ^a	1.12 ^b	1.23 ^b	<0.001	0.582	0.402	0.18
PC	24.23 ^c	25.02 ^b	26.97 ^a	26.94 ^a	<0.001	0.031	0.020	0.40
MS	26.14 ^b	26.86 ^b	28.55 ^a	28.47 ^a	<0.001	0.144	0.070	0.52
Humedad	73.85 ^a	73.13 ^a	71.44 ^b	71.53 ^b	<0.001	0.144	0.070	0.52
Colágeno	0.71	0.65	0.66	0.65	0.536	0.461	0.589	0.10

^{abc} Medias con distinta literal en la misma fila son diferentes (P<0.05); **FA:** tipo de crianza (confinamiento o pastoreo); **FB:** presencia o ausencia de semilla de girasol parcialmente descascarillada como parte la dieta; **EEM:** Error estándar de la media; **PS:** Dieta base de pasta soya-sorgo; **PSG:** Dieta base sustituyendo 10% pasta soya por semilla de girasol parcialmente descascarillada; **FA*FB:** interacción Factor A por Factor B; **FA:** tipo de crianza; **FB:** tipo alimentación; **PC:** proteína cruda; **MS:** materia seca.

Perfil de ácidos grasos y oxidación lipídica

El perfil de ácidos grasos en carne de pollo fue diferente entre tratamientos ($P < 0.05$) excepto C22:6. Las interacciones crianza x dieta fueron significativas, específicamente para C16:0, C18:0 y C20:0 (Cuadro 1.5). La inclusión de semilla de girasol parcialmente descascarillada en la dieta incrementó el porcentaje de C14:0 y C18:2, y disminuyó C18:0. Los porcentajes de C18:0 fueron más bajos en pechuga de aves alimentadas con la dieta que contenía semilla de girasol, específicamente en aves en confinamiento. Además, aumentó el porcentaje de C14:0, C18:2 y AGI. En el caso particular del de C18:2, incrementó 6.44 unidades porcentuales en aquellas muestras de pechuga de aves en confinamiento, en tanto tal incremento fue de 3.2 unidades porcentuales en la carne de aves en pastoreo, debido al mayor contenido de este ácido en la dieta al incluir semilla de girasol. Este fenómeno se debe a la estructura química, apolaridad y punto de fusión que tienen los AGI, ya que los dobles enlaces en su estructura disminuye el punto de fusión y aumenta su apolaridad haciéndolos más digestibles (Pajač et al., 2014) y absorbibles para el organismo, depositándose en mayor porcentaje en la carne (Mikulski et al., 2011). Adicionalmente el descascarillado facilita la degradación de la semilla y en consecuencia la absorción de los AG incrementa al disminuir el porcentaje de fibra (Pajač et al., 2014). Sin embargo, C18:1 a pesar de su alto contenido (70%) en la semilla de girasol (De Figueiredo *et al.*, 2019), no incrementó en la carne.

El consumo de trébol por las aves en pastoreo, aumentó significativamente C16:0, C18:0, C20:0 y en general los AGS en la pechuga de pollos, con efecto contrario en C14:0, C16:1, C18:1n-9, C18:2 y AGI (Cuadro 1.5). Tales resultados son opuestos a los reportados por Ponte *et al.*, (2008a) y Englmaierová *et al* (2020), quienes encontraron que el consumo de forraje verde aumenta el contenido de AGI en la carne, siempre y cuando tengan acceso libre a pastos de alta calidad. De acuerdo a lo reportado por González-León *et al* (2019), este resultado se debe a un bajo consumo de trébol blanco, lo que supone menor cantidad de AGI consumidos, consecuentemente el porcentaje de AGI en la pechuga de pollo fue menor, particularmente, C16:1 y C18:1n-9.

La actividad antioxidante en la carne fue diferente entre tratamientos ($P < 0.005$), donde el factor crianza tuvo mayor influencia, disminuyó 50% en muestras de carne provenientes de

aves en pastoreo comparado con aquellas en confinamiento (Figura 1). Las aves en pastoreo incluyeron en su dieta algunos compuestos como polifenoles, tocoferoles, tocotrienoles (Dal Bosco et al., 2014), carotenoides, vitamina C y tirosol (Mugnai et al., 2013; Ahmad *et al.*, 2019) contenidos en el trébol blanco (Ganhão *et al.*, 2010; Young *et al.*, 2002), cuya concentración es de hasta 62.06 mg g⁻¹ (Vlaisavljević *et al.*, 2017). El consumo individual de trébol blanco de las aves utilizadas en esta investigación fue aproximadamente de 19.9 g MS d⁻¹ ave⁻¹, equivalente a consumir 1.23 g MS d⁻¹ ave⁻¹ de polifenoles (González-León et al., 2019), los cuales funcionan como antioxidantes naturales (Ahmad *et al.*, 2019), retardando y contrarrestando los procesos de oxidación lipídica en la carne (Karre et al., 2013). Es importante mencionar que la oxidación lipídica en la carne está altamente correlacionada con el perfil de ácidos grasos (Soyer et al., 2010; Guyon, et al., 2016), donde a mayor consumo de AGI por las aves, incrementa la porción de estos en las membranas celulares del organismo, incluyendo las fibras musculares de la carne, aumentando la estabilidad oxidativa (Narciso-Gaytán *et al.*, 2011), lo cual concuerda con lo observado en la presente investigación, donde el contenido de AGI en la carne de aves en pastoreo fue menor (55.77%) en comparación con la carne de aves en confinamiento (61.09%) (Cuadro 1.5) presentándose menor oxidación lipídica en la primera.

La inclusión de semilla de girasol parcialmente descascarillada en la dieta de las aves, no indujo cambios significativos en la actividad antioxidante de la carne (P<0.05) (Cuadro 1.6), a pesar del incremento del contenido de AGI en la carne, independientemente del tipo de crianza (Cuadro 1.5). Y de acuerdo al contenido de compuestos fenólicos en la semilla de girasol como el ácido clorogénico, quínico y cafeico (Weisz *et al.*, 2009), se esperaba reducción en el proceso de oxidación en la carne, pero no fue así, lo que supone que la cantidad de semilla consumida por las aves fue insuficiente para causar cambios evidentes en la carne.

Cuadro 1.5. Composición de ácidos grasos de pechuga de pollos de engorda alimentados con semilla de girasol descascarillada criados en pastoreo.

Ácido graso (%)	Confinamiento		Pastoreo		Valor P			
	PS	PSG	PS	PSG	FA	FB	FA*FB	EEM
Mirístico (C14:0)	0.33 ^b	0.45 ^a	0.13 ^c	0.23 ^{bc}	<0.001	0.002	0.790	0.07
Palmítico (C16:0)	19.00 ^b	19.25 ^b	21.13 ^a	21.42 ^a	0.034	0.014	0.002	0.79
Palmitoleico (C16:1)	1.18 ^a	1.62 ^a	0.33 ^b	0.67 ^b	<0.001	0.002	0.653	0.27
Estearico (C18:0)	12.67 ^a	9.75 ^b	14.25 ^a	14.07 ^a	<0.001	0.001	0.003	0.10
Oleico (C18:1n-9)	22.68 ^a	23.67 ^a	18.05 ^b	19.20 ^b	<0.001	0.140	0.905	1.70
Linoleico (C18:2)	26.23 ^b	32.67 ^a	24.35 ^b	27.55 ^b	<0.001	<0.001	0.076	2.12
Linolénico (C18:3)	1.08 ^a	0.78 ^{ab}	0.50 ^{ab}	0.18 ^b	0.012	0.166	0.969	0.53
Araquídico (C20:0)	6.00 ^{bc}	4.48 ^c	9.08 ^a	8.00 ^{ab}	<0.001	<0.001	<0.001	1.40
Docosahexaenoico (C22:6)	0.85 ^a	0.92 ^a	0.70 ^a	0.98 ^a	0.680	0.094	0.289	0.24
∑AGS	31.98 ^b	29.45 ^b	35.50 ^a	35.72 ^a	<0.001	<0.001	<0.001	0.30
∑AGI	58.05 ^b	64.13 ^a	53.00 ^c	56.55 ^{bc}	<0.001	<0.001	0.704	2.70

^{abc} Medias con distinta literal en la misma fila son diferentes (P<0.05); **EEM**: Error estándar de la media; **PS**: Dieta base de pasta soya-sorgo; **PSG**: Dieta base sustituyendo 10% pasta soya por semilla de girasol parcialmente descascarillada; **AGS**: Ácidos grasos saturados; **AGI**: Ácidos grasos insaturados;. Los resultados son expresados en porcentaje en base al contenido total de AG; **FA*FB**: interacción Factor A por Factor B; **FA**: tipo de crianza; **FB**: tipo alimentación.

Cuadro 1.6. Actividad antioxidante – DPPH (μM Trolox /100g de carne base seca), en pechuga de pollos criados en confinamiento y pastoreo y suplementados con semilla de girasol parcialmente descascarillada por tratamiento y periodo de tiempo.

DPPH	Tratamientos				EEM	Periodo (días)				EMM	Valor de P		
	Confinamiento		Pastoreo			0	3	5	9		T*	P**	TP
	PS	PSG	PS	PSG									
$\mu\text{mol/kg}$	5.75 ^a	6.19 ^a	3.42 ^b	3.47 ^b	0.25	4.54 ^b	4.30 ^{bc}	5.90 ^a	4.08 ^c	0.17	<0.001	<0.001	<0.001

^{ab} Medias con diferente superíndice en la misma fila son diferentes ($P < 0.05$). **DPPH:** 2, 2 –difenil-1 picrilhidrazil; **PS:** Dieta base dieta base de pasta soya-sorgo; **PSG:** Dieta base sustituyendo 10% pasta soya por semilla de girasol parcialmente descascarillada; **EEM:** Error estándar de la media; **T*:** valor de P entre tratamientos; **P**:** valor de P entre periodo; **TP:** valor de P de la interacción tratamiento-periodo.

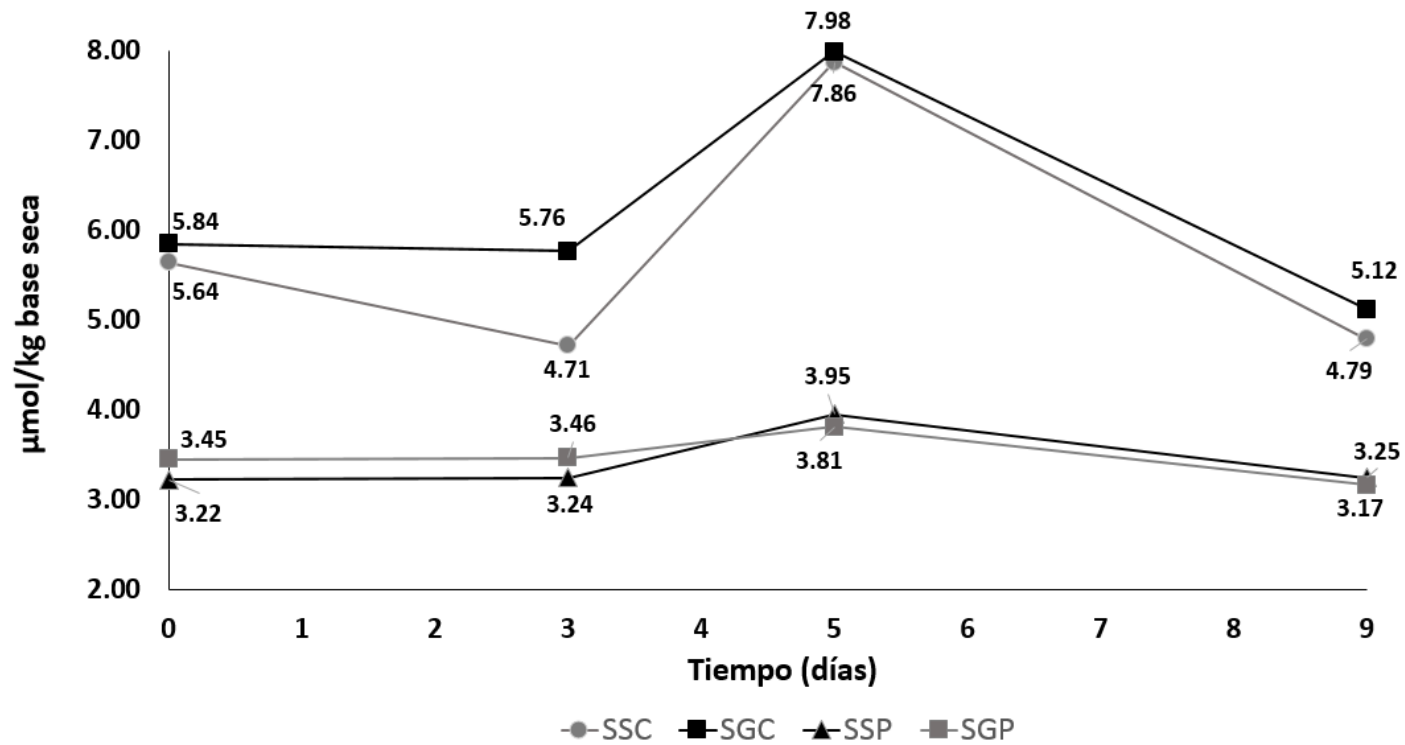


Figura 1.1. Comportamiento del coeficiente de inhibición DPPH (μM Trolox /100g de carne base seca), en pechuga de pollos criados en confinamiento y pastoreo y suplementados con semilla de girasol parcialmente descascarillada por tratamiento. **SSC:** dieta base con crianza en confinamiento; **SGC:** dieta base y semilla de girasol con crianza en confinamiento; **SSP:** dieta base con tipo de crianza en pastoreo; **SGP:** dieta base y semilla de girasol con tipo de crianza en pastoreo.

1.6. CONCLUSIÓN

Sustituir pasta de soya por semilla de girasol parcialmente descascarillada en un máximo de 10% en aves de engorda pastoreando Trébol blanco, ofrece beneficios en calidad de la carne al mejorar el contenido de proteína cruda y el porcentaje de ácidos grasos insaturados. Adicionalmente el trébol blanco confiere mejorías en la estabilidad oxidativa de las grasas.

1.7. LITERATURA CITADA

- Ahmad, S., Zeb, A., Ayaz, M., & Murkovic, M. (2019). Characterization of phenolic compounds using UPLC – HRMS and HPLC – DAD and anti - cholinesterase and anti - oxidant activities of *Trifolium repens* L. leaves. *European Food Research and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03416-8>
- Bampidis, V., Azimonti, G., Bastos, M. D. L., Christensen, H., Dusemund, B., Kouba, M., Kos, D.M., López-Alonso, M., López, P.S., Marcon, F., Mayo, B., Pechová, A., Petkova, M., Ramos, F., Sanz Y., Villa R. E., Woutersen R., Bories G., Guido C. L., Gropp, J., Lundebye A.K., Renshaw D., Holczknecht O., Vittoria V. M., and Auilina, G. (2019). Safety and efficacy of lutein and lutein / zeaxanthin extracts from *Tagetes erecta* for poultry for fattening and laying (except turkeys). *European Food Research and Technology*, 17(April). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5698>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *The Microflow E-Book*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Carvalho, R. H., Ida, E. I., Madruga, M. S., Martínez, S. L., Shimokomaki, M., & Estévez, M. (2017). Underlying connections between the redox system imbalance, protein oxidation and impaired quality traits in pale, soft and exudative (PSE) poultry meat. *Food chemistry*, 215, 129-137.
- Dal Bosco, A., Mugnai, C., Mattioli, S., Rosati, A., Ruggeri, S., Ranucci, D., & Castellini, C. (2016). Transfer of bioactive compounds from pasture to meat in organic free-range chickens. *Poultry Science*, 95(10), 2464-2471.
- De Figueiredo, A. K., Fernández, M. B., & Nolasco, S. M. (2019). Extraction of high stearic high oleic sunflower oil (hsho): Effect of dehulling and hydrothermal pretreatment. *Journal of Food Engineering*, 240, 49-55.
- Englmaierová, M., Skřivan, M., Taubner, T., & Skřivanová, V. (2020). Performance and Meat Quality of Dual-Purpose Cockerels of Dominant Genotype Reared on Pasture. *Animals*, 10(3), 387.
- Fernandes da Silva, D. C., Valera de Arruda, A. M., Goncalves, A. A. (2017). Características de calidad de la carne de pollo de engorde del sistema avícola industrial y de corral para los consumidores. *Journal Food Sci Technol* (June, 54 (7), 1818-1826.
- Ganhão, R., Morcuende, D., & Estévez, M. (2010). Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts : Influence on colour and texture deterioration during chill storage. *Meat Science*, 85(3), 402–409. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.02.008>
- González-León, M. A., González-Cerón, F., Pro-Martínez, A., Sosa-Montes, E., Martínez-Martinez, U., & Rivas-Jacobo, M. A. (2019). Productive performance and welfare indicators in pastured broiler chickens Comportamiento productivo e indicadores de

- bienestar en pollos de engorda en pastoreo. *Agroproductividad*, 12(8), 35–39.
- Guyon, C., Meynier, A., & de Lamballerie, M. (2016). Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasis on high-pressure treatments. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 131-143.
- Jenkins, T. C. (2010). Technical note: Common analytical errors yielding inaccurate results during analysis of fatty acids in feed and digesta samples. *Journal of Dairy Science*, 93(3), 1170–1174. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2509>
- Jiang, H., Yoon, S. C., Zhuang, H., Wang, W., Lawrence, K. C., & Yang, Y. (2018). Tenderness classification of fresh broiler breast fillets using visible and near-infrared hyperspectral imaging. *Meat Science*, 139, 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.01.013>
- Kalmendal, R., Elwinger, K., Holm, L., & Tauson, R. (2011). High-fibre sunflower cake affects small intestinal digestion and health in broiler chickens. *British Poultry Science*, 52(1), 86–96. <https://doi.org/10.1080/00071668.2010.547843>
- Küçükylmaz, K., Bozkurt, M., Çatli, A. U., Herken, E. N., Çınar, M., & Bintaş, E. (2012). Chemical composition, fatty acid profile and colour of broiler meat as affected by organic and conventional rearing systems. *South African Journal of Animal Science*, 42(4), 361-368.
- Laudadio, V., Ceci, E., Lastella, N. M. B., & Tufarelli, V. (2014). Effect of feeding low-fiber fraction of air-classified sunflower (*Helianthus annuus* L.) meal on laying hen productive performance and egg yolk cholesterol. *Poultry Science*, 93(11), 2865–2869. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04204>
- Luciano, G., Monahan, F. J., Vasta, V., Pennisi, P., Bella, M., & Priolo, A. (2009). Lipid and colour stability of meat from lambs fed fresh herbage or concentrate. *Meat Science*, 82(2), 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.01.010>
- Mahfoudh, M., Trabelsi, H., Sebei, K., & Boukhchina, S. (2016). Effects of Adding Different Proportions of Sunflower Seeds on Fatty Acid Composition of Chicken Tissues. *Journal of Food Processing & Technology*, 07(03), 3–8. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000569>
- Mikulski, D., Celej, J., Jankowski, J., Majewska, T., & Mikulska, M. (2011). Growth performance, carcass traits and meat quality of slower-growing and fast-growing chickens raised with and without outdoor access. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(10), 1407–1416. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.11038>
- Mugnai, C., Sossidou, E. N., Dal Bosco, A., Ruggeri, S., Mattioli, S., & Castellini, C. (2013). The effects of husbandry system on the grass intake and egg nutritive characteristics of laying hens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(3), 459-467.
- 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.

- Pajak, P., Socha, R., Gałkowska, D., Rożnowski, J., & Fortuna, T. (2014). Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food Chemistry*, *143*, 300–306. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.064>
- Palmquist, D. L., & Jenkins, T. C. (2003). Challenges with fats and fatty acid methods. *Journal of Animal Science*, *81*(12), 3250–3254. <https://doi.org/10.2527/2003.81123250x>
- Ponte, P. I. P., Alves, S. P., Bessa, R. J. B., Ferreira, L. M. A., Gama, L. T., Brás, J. L. A., , Fontes C. M. G. A., Prates, J. A. M. (2008b). Influence of Pasture Intake on the Fatty Acid Composition, and Cholesterol, Tocopherols, and Tocotrienols Content in Meat from Free-Range Broilers. *Poultry Science*, *87*(1), 80–88. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00148>
- Ponte, P. I. P., Prates, J. A. M., Crespo, J. P., Crespo, D. G., Mourão, J. L., Alves, S. P., R. Bessa, J. B., Chaveiro-Soares, M. A., Gama, L. T., Ferreira, L. M. A., Fontes, C. M. G. A. (2008a). Restricting the Intake of a Cereal-Based Feed in Free-Range-Pastured Poultry: Effects on Performance and Meat Quality. *Poultry Science*, *87*(10), 2032–2042. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00522>
- Ponte, P. I. P., Prates, J. A. M., Crespo, J. P., Crespo, D. G., Mourão, J. L., Alves, S. P., R. Bessa, J. B., Chaveiro-Soares, M. A., Ferreira, L. M. A. Fontes, C. M. G. A. (2008d). Improving the Lipid Nutritive Value of Poultry Meat Through the Incorporation of a Dehydrated Leguminous-Based Forage in the Diet for Broiler Chicks. *Poultry Science*, *87*(8), 1587–1594. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00446>
- Ponte, P. I. P., Rosado, C. M. C., Crespo, J. P., Crespo, D. G., Mourão, J. L., Chaveiro-Soares, M. A., Bra's, J. L. A., Mendes, I., Gama, L. T., Prates, J. A. M., Ferreira, L. M. A., Fontes, C. M. G. A. (2008c). Pasture Intake Improves the Performance and Meat Sensory Attributes of Free-Range Broilers. *Poultry Science*, *87*(1), 71–79. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00147>
- Qiao, M., Fletcher, D. L., Northcutt, J. K., & Smith, D. P. (2002). The Relationship Between Raw Broiler Breast Meat Color and Composition. *Poultry Science*, *81*, 422–427.
- Robertson, A. R. (1977). The CIE 1976 Color-Difference Formulae. *Color Research & Application*, *2*(1), 7–11. <https://doi.org/10.1002/j.1520-6378.1977.tb00104.x>
- Rocchi, L., Paolotti, L., Rosati, A., Boggia, A., & Castellini, C. (2019). Assessing the sustainability of different poultry production systems: A multicriteria approach. *Journal of Cleaner Production*, *211*, 103-114.
- Sağlam, N. G. (2009). Effect of epibrassinolide on pigment content, total protein amount and peroxidase activity in excised cucumber cotyledons. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, *41*(5), 2297–2303. <https://doi.org/10.5504/BBEQ.2012.0123>
- San Juan, L. D., & Villamide, M. J. (2001). Nutritional Evaluation of Sunflower Products for Poultry as Affected by the Oil Extraction Process. *Poultry Science*, *80*(4), 431–437.

<https://doi.org/10.1093/ps/80.4.431>

- Soyer, A., Özalp, B., Dalmış, Ü., & Bilgin, V. (2010). Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat. *Food Chemistry*, 120(4), 1025-1030.
- Stadig, L. M., Bas Rodenburg, T., Reubens, B., Aerts, J., Duquenne, B., & Tuytens, F. A. M. (2016). Effects of free-range access on production parameters and meat quality, composition and taste in slow-growing broiler chickens. *Poultry Science*, 95(12), 2971–2978. <https://doi.org/10.3382/ps/pew226>
- Stødkilde, L., Damborg, V. K., Jørgensen, H., Lærke, H. N., & Jensen, S. K. (2018). White clover fractions as protein source for monogastrics: dry matter digestibility and protein digestibility-corrected amino acid scores. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(7), 2557–2563. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8744>
- Stubbs, R. J., Scott, S. E., & Duarte, C. (2018). Responding to food, environment and health challenges by changing meat consumption behaviours in consumers. *British Nutrition Foundation*, 43 (2), 125-134.
- Sukhija, P. S., & Palmquist, D. L. (1988). Rapid Method for Determination of Total Fatty Acid Content and Composition of Feedstuffs and Feces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 36(6), 1202–1206. <https://doi.org/10.1021/jf00084a019>
- Tsuzuki, E., Garcia, E. de M., Murakami, A., Sakamoto, M., & Galli, J. (2003). Utilization of Sunflower Seed in Laying Hen Rations. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 5(3), 179–182. <https://doi.org/10.1590/s1516-635x2003000300004>
- Viveros, A., Chamorro, S., Pizarro, M., Arija, I., Centeno, C., & Brenes, A. (2011). Effects of dietary polyphenol-rich grape products on intestinal microflora and gut morphology in broiler chicks. *Poultry Science*, 90, 566–578. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00889>
- Vlaisavljević, S., Kaurinović, B., Popović, M., & Vasiljević, S. (2017). Profile of phenolic compounds in *Trifolium pratense* L. extracts at different growth stages and their biological activities. *International Journal of Food Properties*, 20(12), 3090–3101. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1273235>
- Wang, L. hua, & Huo, G. cheng. (2010). The Effects of Dietary Fatty Acid Pattern on Layer's Performance and Egg Quality. *Agricultural Sciences in China*, 9(2), 280–285. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(09\)60094-8](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60094-8)
- Weisz, G. M., Carle, R., & Kammerer, D. R. (2013). Sustainable sunflower processing - II. Recovery of phenolic compounds as a by-product of sunflower protein extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 17, 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.09.009>
- Weisz, G. M., Kammerer, D. R., & Carle, R. (2009). Identification and quantification of phenolic compounds from sunflower (*Helianthus annuus* L.) kernels and shells by HPLC-DAD/ESI-MSn. *Food Chemistry*, 115(2), 758–765. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.074>

Young, J. F., Steffensen, C. L., Nielsen, J. H., Jensen, SØ. K., & Stagsted, J. (2002). Chicken Model for Studying Dietary Antioxidants Reveals that Apple (Cox's Orange)/ Broccoli (*Brassica oleracea* L . var . italica) Stabilizes Erythrocytes and Reduces Oxidation of Insoluble Muscle Proteins and Lipids in Cooked Liver. *Agricultural and Food Chemistry*, 50, 5058–5062

CAPÍTULO II. CÓCTEL DE ENZIMAS Y SEMILLA DE LUPINUS (LUPINUS ANGUSTIFOLIUS) EN DIETA DE POLLOS DE ENGORDA: EFECTO EN CALIDAD DE LA CARNE.

2.1. RESUMEN

Se evaluó la calidad de la carne de pollos de engorda alimentados con semilla de *Lupinus* como sustituto de pasta de soya como fuente de proteína, y suplementados con un cóctel de enzimas. Se utilizaron trescientos pollos de la línea Ross 308 distribuidos al azar en cinco tratamientos, con 6 repeticiones de 10 aves cada uno. Se seleccionaron al azar 18 aves por tratamiento para la matanza, y se extrajo el músculo *Pectoralis major* para los análisis de calidad de la carne. Los tratamientos fueron: **MSB**, maíz-pasta de soya (testigo); **MSDL**, maíz + semilla de *Lupinus*; **MSDL1**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 1; **MSDL2**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 2; y **MSDL3**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 3. Los cócteles de enzimas 1 y 2 estuvieron constituidas con xilanasa, proteasa y fitasa con diferentes métodos de obtención, y el cóctel 3 de pectinasa, proteasa y fitasa. Las variables analizadas fueron pH, color, capacidad de retención de agua (CRA), actividad de agua (Aw), resistencia al corte (RC), grasa, proteína cruda (PC), materia seca (MS), humedad, colágeno y perfil de ácidos grasos, se analizaron utilizando el procedimiento GLM. Adicionalmente, para la capacidad antioxidante se utilizó un diseño con medidas repetidas en el tiempo utilizando PROC MIXED. Las medias se compararon usando la prueba de Tukey ($P < 0.05$). La sustitución de pasta de soya por semilla de *Lupinus* aumentó el porcentaje de humedad, y la concentración de C14:0, C16:0, C16:1, C18:1 cis y C18:1 $trans$ en la pechuga, pero disminuyó MS, y C17, C18:2, C20:0, C20:2 y C20:4 ($P < 0.05$). El cóctel de enzimas en el alimento con semilla de *Lupinus* mejoraron el contenido de proteína y MS ($P < 0.05$) en la carne; además el perfil de ácidos grasos y la oxidación lipídica no fueron diferentes entre tratamientos. Incluir semilla de *Lupinus* con un cóctel de enzimas puede ser una alternativa en pollos de engorda, sin afectar de manera significativa las mayoría de las características de la calidad de la carne.

Palabras claves: Alimento no convencional, fitasa, pechuga, pectinasa, proteasa, xilanasa

COCKTAIL OF ENZYMES AND LUPINUS SEEDS (LUPINUS ANGUSTIFOLIUS) IN BROILER CHICKEN DIET: EFFECT ON MEAT QUALITY.

2.2. ABSTRACT

It was evaluated the quality of the meat of broilers fed with *Lupinus* seed as a substitute of soybean paste as a protein source, and supplemented with an enzyme cocktail. Three hundred chickens of the Ross 308 line were used randomly distributed in five treatments, with 6 repetitions of 10 birds each. Eighteen birds per treatment were randomly selected for slaughter, and the *Pectoralis major* muscle was removed for meat quality analyzes. The treatments were: **MSB**, corn-soybean paste (control); **MSDL**, corn + *Lupinus* seed ; **MSDL1** , corn + *Lupinus* seed + enzyme cocktail 1; **MSDL2** , corn + *Lupinus* seed + enzyme cocktail 2; and **MSDL3**, corn + *Lupinus* seed + enzyme cocktail 3. Enzyme cocktails 1 and 2 consisted of xylanase, protease and phytase with different methods of obtaining, and cocktail 3 of pectinase, protease and phytase. The variables analyzed were pH, color, water holding capacity (WHC), water activity (Aw), shear resistance (SR), fat, crude protein (CP), dry matter (DM), moisture, collagen and fatty acids profile were analyzed using the GLM procedure. Additionally, for the antioxidant capacity a design with repeated measures in time using PROC MIXED was used. Means were compared using Tukey's test ($P < 0.05$). The substitution of soybean paste for *Lupinus* seed increased the percentage of moisture, and the concentration of C14: 0, C16: 0. C16: 1, C18: 1 *cis* and C18: 1 *trans* in breast, but decreased MS, and C17, C18: 2, C20: 0, C20: 2 and C20: 4 ($P < 0.05$). The enzyme cocktail in the *Lupinus* seed food improved the protein content and MS ($P < 0.05$) in the meat; furthermore, the fatty acids profile and lipid oxidation were not different between treatments. Including *Lupinus* seed with an enzyme cocktail can be an alternative in broiler chicken, without significantly affecting most of the quality characteristics of the meat.

Keywords: breast, pectinase, phytase, protease, unconventional food, xylanase

2.3. INTRODUCCIÓN

Debido a la alta demanda de la carne de pollo a nivel mundial, se han implementado sistemas de producción intensivos, donde los costos por concepto de alimentación son altos, por lo que es necesario el uso de ingredientes alternativos para disminuirlos. La semilla de *Lupinus* representa una alternativa para la alimentación de pollos de engorda, debido a su alto contenido de aceite (11%) y proteína (34-55%) y ácidos grasos insaturados (Vicenti et al., 2009; Cazzato et al., 2012), pero contiene 18% de fibra (Martínez - Villaluenga et al., 2006; Villarino et al., 2016). Además, la semilla de *Lupinus* contiene compuestos fenólicos, entre ellos, los derivados del ácido *p*-cumárico (0.74-1.61 y 0.66-1.63. mg / g dm) y apigenina-6,8-di- *C*-glucósido (1.13–1.31 mg / g dm) (Khan et al., 2015; Karamac et al., 2018), potentes antioxidantes que pudieran retardar el proceso de oxidación lipídica en la carne. La desventaja de la semilla de *Lupinus* es el contenido de alcaloides en la cubierta seminal, que contribuyen a la disminución de la palatabilidad y aprovechamiento de los nutrientes (Nalle et al., 2012), por lo que su descascarillado es esencial a fin de mejorar su digestibilidad y aprovechamiento. Además al descascarillar la semilla se incrementa el contenido de PC de 25 a 31% y la energía metabolizable (EM) de 1409.19 a 2101.84 kcal de EM/kg (Mera-Zúñiga et al., 2019). Incluir semilla de *Lupinus* descascarillada en la dieta de las aves disminuye la grasa abdominal, lípidos totales y colesterol en la carne, además, aumenta la capacidad de retención de agua, concentración de AGI y color (Tufarelli et al., 2015). La adición de enzimas a una dieta con semilla de *Lupinus*, mejorara la absorción de nutrientes, y evidentemente mejoraría la calidad de la carne (Tabook, et al., 2006), aumentando el porcentaje de materia seca, cenizas y proteína cruda (Pestana et al., 2020; Zakaria et al, 2010). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad de la carne en pollos de engorda alimentados con semilla de *Lupinus* como sustituto de pasta de soya, y suplementados con diferentes cócteles de enzimas.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Nutrición Animal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos, ubicado en Texcoco, Estado de México (19° 29'N, 98°53'O a 2250 msnm).

Pollos, tratamientos y diseño experimental

Se utilizaron trescientos pollos de engorda de la línea Ross 308 de un día de edad, distribuidos en cinco tratamientos con seis repeticiones cada uno, y 10 aves por repetición. Los animales se mantuvieron en corrales de 2 m² con cama de viruta de madera, con agua y alimento *ad libitum*. Los tratamientos fueron: **MSB**, maíz-pasta de soya (testigo); **MSDL**, maíz + semilla de *Lupinus*; **MSDL1**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 1; **MSDL2**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 2; y **MSDL3**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 3.

Los cócteles de enzimas se incluyeron en las dietas durante el mezclado de los micronutrientes (aminoácidos, vitaminas y minerales), y estuvieron constituidos de la siguiente manera: **Cóctel 1**: xilanasa (Danisco Xilanasa 40000 G) obtenida de *Trichoderma reesei* y contenía endo-1, 4-beta-xilanasa 40000 Units g⁻¹. **Cóctel 2**: xilanasa (Hostazym® X) obtenida de *Trichoderma longibrachiatum* y contenía 1,4-endo-β Xilanasa (15000 EPUg⁻¹), 1,4-endo-β glucanasa (137.5-225 Units g⁻¹), 1,3(4)-α-glucanasa (60-110 Units g⁻¹), α-amilasa (185-263 units g⁻¹). **Cóctel 3**, pectinasa (Zimapect® 100 XL) obtenida de *Aspergillus niger* con actividad de 100,000 ADJU ml⁻¹. Adicionalmente los tres cócteles contenían fitasa (Physame® XP 5000G) obtenida por fermentación de *Schizosaccharomyces pombe* con una actividad mínima garantizada 6-phytase (EC.3.1.3.26) 5000 FTU g⁻¹; y proteasa (Aextra® PRO 301 TPT) obtenida por fermentación de *Bacillus subtilis* con una actividad mínima garantizada de subtilisin (EC3.4.21.62) 80000 U g⁻¹. La composición de las dietas experimentales se muestra en los Cuadros 2.1 y 2.2.

Cuadro 2.1. Composición de las dietas experimentales

Ingrediente (%)	Iniciación					Finalización				
	MSB	MSLD	MSLD1	MSLD2	MSLD3	MSB	MSLD	MSLD1	MSLD2	MSLD3
Maíz	55.30	46.06	46.04	46.04	46.05	63.48	55.12	55.12	55.12	55.12
Pasta de soya	36.67	-	-	-	-	28.67	-	-	-	-
<i>Lupinus angustifolius L</i>	-	43.45	43.46	43.46	43.46	-	34.15	34.15	34.15	34.15
Aceite de soya	3.00	5.00	5.00	5.00	5.00	3.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Fosfato dicálcico	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Carbonato de calcio	1.90	1.32	1.31	1.31	1.31	1.90	1.97	1.95	1.94	1.95
L-Lisina HCl	0.29	0.90	0.90	0.90	0.90	0.19	0.66	0.66	0.66	0.66
DL-Metionina	0.38	0.49	0.49	0.49	0.49	0.28	0.37	0.37	0.37	0.37
L-Treonina	0.10	0.36	0.36	0.36	0.36	0.03	0.24	0.24	0.24	0.24
L-Triptófano	-	0.06	0.06	0.06	0.06	-	0.03	0.03	0.03	0.03
Sal (NaCl)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Pigmento	-	-	-	-	-	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Coccidiostato (Salinomycin 12%)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Vit+Min*	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

MSB, maíz-pasta de soya (testigo); **MSDL**, maíz + semilla de Lupinus; **MSDL1**, maíz + semilla de Lupinus + cóctel de enzimas 1; **MSDL2**, maíz + semilla de Lupinus + cóctel de enzimas 2; y **MSDL3**, maíz + semilla de Lupinus + cóctel de enzimas 3. **Vit + Min* por kg de alimento**: vitamina A, 12,000 UI; vitamina D3, 1,000 UI; vitamina E, 60 UI; vitamina K, 5.0 mg; vitamina B2, 8.0 mg; vitamina B12, 0.030 mg; ácido pantoténico, 15 mg; niacina, 50 mg; ácido fólico, 1.5 mg; colina, 300 mg; biotina, 0.150 mg; tiamina, 3.0 mg. Minerales: Fe, 50.0 mg; Zn, 110 mg; Mn, 100 mg; Cu, 12.0 mg; Se, 0.3 mg; I, 1.0 mg.

Cuadro 2.2 . Análisis calculado de las dietas experimentales

Ingrediente (%)	Iniciación					Finalización				
	MSB	MSDL	MSDL1	MSDL2	MSDL3	MSB	MSDL	MSDL1	MSDL2	MSDL3
EM (MCAL)	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10
PC	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Calcio	1.18	0.96	0.96	0.96	0.96	1.12	1.15	1.14	1.14	1.14
Fosforo	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Lisina	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Metionina	0.71	0.67	0.67	0.67	0.67	0.57	0.54	0.54	0.54	0.54
Met+cis	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Treonina	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
Triptofano	0.29	0.23	0.23	0.23	0.23	0.24	0.18	0.18	0.18	0.18
Leucina	1.92	1.60	1.60	1.60	1.60	1.72	1.46	1.46	1.46	1.46
Isoleucina	1.16	0.99	0.99	0.99	0.99	1.01	0.87	0.87	0.87	0.87
Valina	1.22	1.14	1.14	1.14	1.14	1.04	0.98	0.98	0.98	0.98
Arginina	1.43	1.46	1.46	1.46	1.46	1.21	1.24	1.24	1.24	1.24
Perfil de ácidos grasos (%)										
Palmítico (C16:0)	12.61	12.71	12.91	12.33	12.42	12.62	12.50	12.06	12.15	12.30
Estearico (C18:0)	3.39	4.20	4.13	4.03	4.15	3.38	3.79	3.83	3.83	3.94
Oleico (C18:1n-9)	26.64	25.63	25.93	25.70	25.00	24.91	24.22	25.14	24.23	24.95
Linoleico (C18:2n-6)	50.71	49.99	49.83	50.29	50.79	51.98	51.94	50.90	51.81	51.50
Linolénico (C18:3)	4.20	5.20	4.93	5.16	5.45	5.15	5.69	5.52	5.89	5.45
Behenico (C22:0)	-	0.53	0.47	0.43	0.52	-	0.43	0.41	0.43	0.43
∑AGS	16.40	17.75	17.83	17.14	17.38	16.32	16.96	16.66	16.69	16.91
∑AGI	83.60	82.25	82.17	82.86	82.62	83.68	83.04	83.34	83.31	83.09

MSB, maíz-pasta de soya testigo; MSDL, maíz + semilla de Lupinus; MSDL1, maíz + semilla de Lupinus + cóctel de enzimas 1; MSDL2, maíz + semilla de Lupinus + cóctel de enzimas 2; y MSDL3, maíz + semilla de Lupinus + cóctel de enzimas 3. AGS: Ácidos grasos saturados; AGI: Ácidos grasos insaturados.

Matanza

A las siete semanas de edad, se seleccionaron aleatoriamente 90 aves para la matanza, 18 por tratamiento, se extrajo el músculo *Pectoralis major* para los análisis de calidad en la carne. La matanza se realizó de acuerdo a la norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995 (Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres).

Características físico-químicas de la carne

El pH en la pechuga se midió 4 h *postmortem* utilizando un potenciómetro portátil con electrodo de penetración (HANNA, mod. HI99163). El color de la pechuga se obtuvo con el medidor de colorimetría CR-400 Minolta (Chroma Meter CR 200, Tokio, Japón), registrando valores de L^* (luminosidad), a^* (rojo-verde) y b^* (amarillo-azul), en base al sistema CIE (Robertson, 1977). Posteriormente las pechugas se almacenaron a -20°C , hasta su análisis.

La capacidad de retención de agua (CRA) se determinó utilizando 5 g de pechuga finamente picada y mezclada con 8 mL de solución de cloruro de sodio 0.6 M. La carne y la mezcla de NaCl se colocaron en tubos para centrifuga y se agitaron con una varilla de vidrio, posteriormente se colocaron en baño de hielo por 30 minutos. Enseguida se centrifugaron durante 15 min a 10,062 g (Beckman Coulter J2-HS, USA). El volumen del sobrenadante se decantó y la diferencia se reportó como mL de solución de NaCl retenidos por 100 g de carne. La actividad de agua (A_w) se determinó usando el equipo Rotronic HygroLab (C1-SET-40 CH-8303 Bassersdorf, Switzerland).

La resistencia al corte (RC) se obtuvo con el medidor de textura (TA-XSGCi Stable Micro Systems, Godalming, England) y la cuchilla Warner-Bratzler (Blade Set with 'V' slot blade for USDA Standard). La grasa, PC, MS, humedad y colágeno se determinaron utilizando el espectrofotómetro FoofScam™ meat analyser (Foss, Copenhagen, Dinamarca). La capacidad antioxidante se determinó por el método de DPPH (2,2-difenil-1-picrylhidrazil) (Brand-Williams, Cuvelier, & Berset, 1995), a los días 0, 3, 5 y 9 en refrigeración, por espectrofotometría (Espectrofotómetro visible Varian Cary 1E UV, USA) a 517 nm.

El perfil de ácidos grasos se determinó en muestras de pechuga liofilizada (Labconco FreeZone 6, USA), usando la técnica de metilación (Sukhija and Palmquist 1988; Palmquist and Jenkins 2003; Jenkins 2010), en la cual los ácidos grasos se presentan en forma de metil-

ésteres. Para la lectura de las muestras se utilizó un cromatógrafo (Hewlett Packard 6890 USA), Detector FID e Inyector automático G2613A, columna capilar de sílice (100m x 0.25mm x 0.20µm de grosor, SPTM-2560, Supelco). Para la cromatografía se consideró como gas acarreador Helio Split ratio 10, temperatura del inyector 250 °C y temperatura del detector 260 °C. Finalmente se realizó la integración e identificación de los ácidos grasos en los cromatogramas obtenidos, para lo cual se comparó el tiempo de retención del estándar Supelco 37 Components FAME (Fatty Acids Methyl Esters) con el de la muestra.

Análisis estadístico

Los resultados de pH, color, RC, CRA, Aw, grasa, PC, MS, humedad, colágeno y perfil de ácidos grasos, se analizaron con un modelo completamente al azar, usando el procedimiento GLM (SAS, 1999). Para capacidad antioxidante se utilizó un análisis de medidas repetidas en el tiempo utilizando PROC MIXED. Las medias se compararon usando la prueba de Tukey (P <0.05).

El modelo estadístico fue $Y_{ij} = \mu + t_i + E_{ij}$, donde Y_{ij} = Variable respuesta en el tratamiento i , repetición j ; μ = Media general; t_i = Efecto del tratamiento i ; E_{ij} = Error aleatorio.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características fisicoquímicas de la carne

El pH, resistencia al corte, CRA y valores de a^* y b^* , no fueron diferentes entre tratamientos ($P > 0.05$), pero sí luminosidad (L^*) y A_w ($P < 0.05$) (Cuadro 2.3). Las diferencias en L^* se encuentran en la carne de aves a las que se les adiciono en el alimento el cóctel de enzimas 1 y 2, siendo 48.42 el valor más alto correspondiente a aquellas alimentadas con el tratamiento MSLD2. La composición de ambos cócteles incluían proteasa, fitasa y xilanasas, esta última en diferentes concentraciones, siendo el cóctel de enzimas 1 con mayor concentración de xilanasas ($40000 \text{ Units g}^{-1}$) respecto al cóctel 2 ($15000 \text{ Units g}^{-1}$). La xilanasas es una enzima que potencializa el efecto de hidrolización reduciendo así la cantidad de humedad en la carne (Oyeagu et al., 2019) de aquellas aves alimentadas con el cóctel 1 (Cuadro 2.5). Adicionalmente, según Luciano *et al* (2009), el valor de L^* en carne está condicionado por factores como la cantidad de grasa y agua retenida en el músculo. Sin embargo, en la presente investigación, la grasa y CRA no mostraron diferencia entre tratamientos, por lo que el cambio en L^* se atribuye al porcentaje de humedad, variable que presento valor más alto (73.70) en aves alimentadas con el tratamiento MSLD2, ya que la humedad proporciona un efecto de reflexión sobre la misma, emitiendo más luminosidad (Luciano *et al.*, 2009).

Cuadro 2.3. Características físico-químicas de pechuga de pollos alimentados con dieta a base de *Lupinus angustifolius* y tres cócteles de enzimas exógenas.

Característica	MSB	MSLD	MSLD1	MSLD2	MSLD3	EEM	Valor de P
pH (24 h)	5.92	6.00	5.99	5.95	6.03	0.17	0.57
L*	46.13 ^{ab}	47.58 ^{ab}	45.34 ^b	48.42 ^a	47.80 ^{ab}	2.20	0.01
Color a*	11.74	11.09	12.52	10.73	11.86	1.97	0.21
b*	14.36	15.67	14.29	14.73	16.19	1.76	0.04
CRA (mL/g)	25.00	25.25	25.79	25.25	25.50	2.97	0.97
Aw	0.96 ^{ab}	0.96 ^{ab}	0.95 ^b	0.96 ^{ab}	0.97 ^a	0.01	0.02
Resistencia al corte (N)	13.92	16.89	14.86	16.82	13.56	3.76	0.09

^{ab}Medias con diferente superíndice en la misma fila son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$). **EEM:** Error estándar de la media. **MSB**, maíz-pasta de soya (testigo); **MSDL**, maíz + semilla de *Lupinus*; **MSDL1**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 1; **MSDL2**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 2; y **MSDL3**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 3. **L***: valor de luminosidad; **a***: valor de cromaticidad de rojo a verde; **b***: valor de cromaticidad de amarillo a azul; **CRA**: capacidad de retención de agua dado en mL de NaCl retenidos en 100g de carne; **Aw**: actividad del agua.

La diferencia en la actividad del agua (A_w) ($P=0.02$) por efecto de los tratamientos se atribuye a la pectinasa contenida en el cóctel de enzimas 3, ya que esta enzima tiene la propiedad de absorber agua, funcionando como estabilizante, espesante y gelatinizante, contribuyendo a conservar la humedad en los alimentos (Kocher *et al.*, 2000; Rangel-Rodríguez *et al.*, 2014), favoreciendo así la A_w .

Características nutricionales de la carne

El contenido de proteína, materia seca y humedad en la pechuga fue diferente entre tratamientos ($P < 0.05$), pero no con la grasa ni colágeno ($P > 0.05$) (Cuadro 2.4). El porcentaje de proteína en la carne de aves alimentadas con semilla de *Lupinus* aumentó de 22.44 a 23.62 unidades porcentuales al adicionar el cóctel de enzimas 1 que contenía xilanas, proteasa y fitasa (MSLD1). La proteasa rompe los enlaces péptidos de la proteína exponiendo los aminoácidos, además la fitasa rompe los enlaces entre los aminoácidos (Dalólio *et al.*, 2016),

por lo que mejora la absorción de los aminoácidos contenidos en el alimento y en consecuencia incrementa el contenido de proteína en la carne.

El porcentaje de MS en la pechuga fue diferente por efecto de tratamientos ($P < 0.05$), con mayores valores en aquellas provenientes del tratamiento testigo y MSLD1. Es pertinente mencionar que no hubo tendencia respecto al resto de los tratamientos y que el aumento de MS en la carne se dio específicamente cuando se adicionó el cóctel de enzimas 1. Este resultado se debe a que las enzimas mejoran la absorción de aminoácidos (Kocher *et al.*, 2000; Dalólio *et al.*, 2016, Scanes, 2018) debido a que rompen enlaces entre aminoácidos (Dalólio *et al.*, 2016), permitiendo que su digestión y absorción sea más eficiente, y en consecuencia mejor deposición en la carne.

Cuadro 2.4. Características nutricionales de pechuga de pollos alimentados con dieta a base de *Lupinus angustifolius* y enzimas exógenas

Característica (% base húmeda)	MSB	MSLD	MSLD1	MSLD2	MSLD3	EEM	Valor de P
Grasa	1.59	1.19	1.42	1.47	1.72	0.34	0.120
Proteína	23.05 ^{ab}	22.44 ^b	23.62 ^a	22.95 ^{ab}	23.41 ^{ab}	0.64	0.036
Materia seca	27.16 ^a	26.30 ^b	27.28 ^a	26.47 ^{ab}	26.66 ^{ab}	0.50	0.008
Humedad	72.84 ^b	73.70 ^a	72.72 ^b	73.70 ^a	73.34 ^{ab}	0.50	0.008
Colágeno	1.44	1.46	1.46	1.49	1.49	0.14	0.963

^{abc} Medias con diferente superíndice en la misma fila son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

EEM: Error estándar de la media; **MSB**, maíz-pasta de soya (testigo); **MSDL**, maíz + semilla de *Lupinus*; **MSDL1**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 1; **MSDL2**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 2; y **MSDL3**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 3.

Perfil de ácidos grasos y oxidación lipídica de la carne

Los componentes del perfil de ácidos grasos fueron diferentes entre tratamientos ($P < 0.05$), a excepción de C14:1, C18:3n6, C20:3n-9 y C22 (Cuadro 2.5). La sustitución de pasta de soya por semilla de *Lupinus* en la dieta modificó el porcentaje de AG, disminuyendo la cantidad de C14, C16, C16:1, C18:1 *trans* y C18:1n-9 y aumentando C17:1, C18:2 y C20. En particular referencia al C:16, coincide con lo reportado por Laudadio *et al* (2011), quienes demostraron que agregar semilla de *Lupinus* en la dieta de aves incrementa la concentración de este ácido graso en la carne, pero no las concentraciones de C14, C18:1n-9 y C18:2, como sucedió en nuestro estudio.

La adición de enzimas exógenas en el alimento que contenía semilla de *Lupinus*, aumentó el contenido de C15:0 y redujo C18:2 en la carne de pollo. El cóctel que contenía pectinasa, fitasa y proteasa (cóctel 3) aumentó C15:0, de 0.12 a 0.28 unidades porcentuales, mientras que en C18:2 y C18:3, los porcentajes disminuyeron de 35.45 a 31.40 y de 2.25 a 1.61, respectivamente. Este comportamiento se debe a la adición de enzimas, las cuales mejoran la digestión y absorción de grasas (Kocher *et al.*, 2000). Por ejemplo, la pectinasa ayuda a mejorar la degradación de los lípidos, reduciendo la cantidad de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y en consecuencia, aumenta las lipoproteínas de alta densidad (HDL) (Selim *et al.*, 2016). En tanto que la proteasa, xilanasa, fitasa y pectinasa, actúan en conjunto con las sales biliares y se unen a las moléculas de proteínas, grasas y carbohidratos, formando complejos enzima-sustrato, para finalmente desdoblar a moléculas más simples y mejorar su absorción y deposición en la carne (Viveros *et al.*, 2011).

La estabilidad oxidativa de la carne no fue diferente entre tratamientos ($P < 0.05$) (Cuadro 2.6). Los porcentajes de ácidos grasos saturados e insaturados en la carne, suelen ser determinantes durante el proceso de oxidación de la carne. Sin embargo, en la presente investigación no hubo alguna relación entre el porcentaje de los AG y la oxidación de la carne, concretamente en aves alimentadas con la dieta testigo (MSB) y MSLD1, donde se encontró una menor concentración de AGS en MSLD1 (27.08%) en comparación con el testigo (30.33%).

En la presente investigación la semilla de *Lupinus* y la adición de enzimas no provocaron efecto en la oxidación lipídica, a pesar que la semilla contiene compuestos fenólicos derivados del ácido *p*-cumárico (0.74-1.61 y 0.66-1.63 mg/g dm) y apigenina-6,8-di-*C*-

glucósido (1.13–1.31 mg / g dm) (Karamác *et al.*, 2018), los cuales podrían retardar el proceso de oxidación lipídica en la carne al ser hidrolizados y liberados por las reacciones enzimáticas (Kapasakalidis *et al.*, 2009). Además, se ha reportado que la utilización de enzimas carbohidrasas en la dieta de aves aumenta la actividad antioxidante en carne, debido a que libera de polifenoles y polisacáridos contenidos en la pared celular de la semilla de Lupinus (Chamorro *et al.*, 2012; Chamorro *et al.*, 2015). De acuerdo a Pablo-Pérez *et al* (2015) la concentración de polifenoles en pericarpio y semilla de Lupinus es de 362 a 590 mg/100 g MS y 221 a 554 mg/100 g MS, respectivamente, concentraciones que pueden cambiar de acuerdo a las condiciones en las que se desarrolla el cultivo (Straková *et al.*, 2010). Sin embargo, es probable que la cantidad consumida por las aves no fue suficiente para causar diferencia en la oxidación lipídica de la carne.

Cuadro 2.5. Composición porcentual de ácidos grasos en pechuga de pollo alimentado con *Lupinus Angustifolius* L y tres cócteles de enzimas

<i>Ácido graso</i>	MSB	MSLD	MSLD1	MSLD2	MSLD3	EEM	Valor de P
NI	2.98	2.78	2.74	2.95	3.54	0.74	0.076
C14 (Mirístico)	0.39 ^a	0.29 ^b	0.28 ^b	0.27 ^b	0.25 ^b	0.05	<0.001
C14:1 (Miristoleico)	0.08	0.08	0.08	0.09	0.13	0.08	0.373
C15 (Pentadecanoico)	0.16 ^{ab}	0.12 ^b	0.22 ^{ab}	0.20 ^{ab}	0.28 ^a	0.12	0.023
C16:0 (Palmítico)	21.46 ^a	18.17 ^b	17.61 ^b	18.54 ^b	18.29 ^b	1.09	<0.001
C16:1 (Palmitoleico)	2.75 ^a	1.14 ^b	1.09 ^b	1.10 ^b	0.89 ^b	5.53	<0.001
C17:1 (Heptadecanoico)	0.12 ^b	0.18 ^a	0.18 ^a	0.19 ^a	0.19 ^a	0.02	<0.001
C18:0 (Esteárico)	8.09 ^b	9.05 ^{ab}	8.51 ^b	9.49 ^{ab}	10.33 ^a	1.51	0.006
C18:1 <i>trans</i> (Elaídico)	0.16 ^a	0.09 ^{bc}	0.11 ^b	0.10 ^{bc}	0.07 ^c	0.02	<0.001
C18:1n-9 (Oleico)	29.63 ^a	25.44 ^b	26.55 ^b	25.50 ^b	25.01 ^b	1.68	<0.001
C18:2 (Linoleico)	28.83 ^c	35.45 ^a	35.85 ^a	34.39 ^{ab}	31.40 ^{bc}	2.63	<0.001
C18:3 n6 (Gamma linolénico)	0.17	0.15	0.16	0.15	0.13	0.03	0.095
C18:3 (Linolénico)	1.65 ^{bc}	2.25 ^{ab}	2.32 ^a	1.02 ^{abc}	1.61 ^c	0.53	0.002
C20 (Araquídico)	0.06 ^b	0.08 ^a	0.08 ^a	0.08 ^a	0.07 ^{ab}	0.01	<0.001
C20:2 (Eicosadienoico)	0.37 ^b	0.48 ^{ab}	0.49 ^{ab}	0.49 ^{ab}	0.62 ^a	0.13	0.001
C20:3n-9 (Eicosatrienoico)	0.35	0.36	0.33	0.37	0.43	0.08	0.105
C20:4n-6 (Araquidónico)	2.66 ^b	3.14 ^{ab}	2.64 ^b	3.17 ^{ab}	4.33 ^a	1.21	0.008
C22 (Behénico)	0.08	0.11	0.05	0.05	0.07	0.05	0.152
C22:6 (Docosahexaenoico)	0.34 ^b	0.56 ^{ab}	0.44 ^{ab}	0. ^{ab}	1.02 ^a	0.59	0.063
ΣAGS	30.33 ^a	28.00 ^{ab}	27.08 ^b	28.91 ^{ab}	29.58 ^{ab}	2.19	0.005
ΣAGI	67.04 ^{ab}	69.19 ^{ab}	70.10 ^a	68.07 ^{ab}	66.68 ^b	2.74	0.017

^{abc} Medias con diferente superíndice en la misma fila son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$). **EEM**: Error estándar de la media; **MSB**: maíz-soya; **MSLD**: maíz-*Lupinus*; **MSB**, maíz-pasta de soya testigo; **MSDL**, maíz + semilla de *Lupinus*; **MSDL1**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 1; **MSDL2**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 2; y **MSDL3**, maíz + semilla de *Lupinus* + cóctel de enzimas 3; **NI**: Ácidos grasos no identificados; **ΣAGS**: sumatoria de Ácidos grasos saturados; **ΣAGI**: Sumatoria de ácidos grasos insaturados

Cuadro 2.6. Medias de la actividad antioxidante – DPPH (μM Trolox /100g de carne base seca), en pechuga de pollos alimentados con semilla de *Lupinus Angustifolius* L y adición de tres cócteles de enzimas, a través del tiempo.

DPPH	Tratamientos						EEM	Periodo				EE	Valor de P		
	MSB	MSL D	MSLD1	MSLD2	MSLD3	0		3	5	9	M		T	P	T*P
$\mu\text{mol/kg}$	4.67	4.93	4.60	5.00	4.80	0.20	1.89 ^d	6.39 ^a	4.82 _c	6.10 _b	0.14	0.58	<0.01	0.96	

^{abc} Medias con diferente superíndice en la misma fila son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). **EEM:** Error estándar de la media; **MSB**, maíz-pasta de soya testigo; **MSDL**, maíz + semilla de Lupinus; **MSDL1**, maíz + semilla de Lupinus + cóctel de enzimas 1; **MSDL2**, maíz + semilla de Lupinus + cóctel de enzimas 2; y **MSDL3**, maíz + semilla de Lupinus + cóctel de enzimas 3.

2.6. CONCLUSIÓN

Utilizar semilla de *Lupinus* descascarillada con cóctel de enzimas en la dieta de pollos de engorda es una alternativa al uso de pasta de soya, ya que iguala características de calidad en carne a las obtenidas convencionalmente.

2.7. LITERATURA CITADA

- Boschin, G., D'Agostina, A., Annicchiarico, P., & Arnoldi, A. (2009). Effect of genotype and environment on fatty acid composition of *Lupinus albus* L. seed. *Food Chemistry*, 108(2), 600-606.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *The Microflown E-Book*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Cazzato, E., Laudadio, V., Stellacci, A. M., Ceci, E., & Tufarelli, V. (2012). Influence of sulphur application on protein quality, fatty acid composition and nitrogen fixation of white lupin (*Lupinus albus* L.). *European Food Research and Technology*, 235(5), 963–969. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1817-5>
- Chamorro, S., Viveros, A., Alvarez, I., Vega, E., & Brenes, A. (2012). Changes in polyphenol and polysaccharide content of grape seed extract and grape pomace after enzymatic treatment. *Food Chemistry*, 133(2), 308-314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.031>
- Chamorro, S., Viveros, A., Rebolé, A., Rica, B. D., Arija, I., & Brenes, A. (2015). Influence of dietary enzyme addition on polyphenol utilization and meat lipid oxidation of chicks fed grape pomace. *Food research international*, 73, 197-203.
- Dalólio, F. S., Moreira, J., Vaz, D. P., Albino, L. F. T., Valadares, L. R., Pires, A. V., & Pinheiro, S. R. F. (2016). Exogenous enzymes in diets for broilers. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 17(2), 149-161.
- Jenkins, T. C. (2010). Technical note: Common analytical errors yielding inaccurate results during analysis of fatty acids in feed and digesta samples. *Journal of Dairy Science*, 93(3), 1170–1174. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2509>
- Kapasakalidis, P. G., Rastall, R. A., & Gordon, M. H. (2009). Effect of a cellulase treatment on extraction of antioxidant phenols from black currant (*Ribes nigrum* L.) pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(10), 4342-4351.
- Karamać, M., Orak, H. H., Amarowicz, R., Orak, A., & Piekoszewski, W. (2018). Phenolic contents and antioxidant capacities of wild and cultivated white lupin (*Lupinus albus* L.) seeds. *Food chemistry*, 258, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.041>
- Khan, M. K., Karnpanit, W., Nasar-Abbas, S. M., Huma, Z. E., & Jayasena, V. (2015). Phytochemical composition and bioactivities of lupin: a review. *International journal of food science & technology*, 50(9), 2004-2012.
- Kocher, A., Choct, M., Hughes, R. J., & Broz, J. (2000). *Effect of food enzymes on utilisation of lupin carbohydrates by broilers*. *British Poultry Science* 41(1), 75–82. <https://doi.org/10.1080/00071660086448>
- Laudadio, V., Ceci, E., & Tufarelli, V. (2011). Productive traits and meat fatty acid profile of broiler chickens fed diets containing micronized fava beans (*Vicia faba* L. var. minor) as the main protein source. *Journal of Applied Poultry Research*, 20(1), 12-20.
- Luciano, G., Monahan, F. J., Vasta, V., Pennisi, P., Bella, M., & Priolo, A. (2009). Lipid and

- colour stability of meat from lambs fed fresh herbage or concentrate. *Meat Science*, 82(2), 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.01.010>
- Martínez-Villaluenga, C., Frías, J., & Vidal-Valverde, C. (2006). Functional lupin seeds (*Lupinus albus* L. and *Lupinus luteus* L.) after extraction of α -galactosides. *Food Chemistry*, 98(2), 291-299.
- Mera-Zúñiga, F., Pro-Martínez, A., Zamora-Natera, J. F., Sosa-Montes, E., Guerrero-Rodríguez, J. D., Mendoza-Pedroza, S. I., Cuca-García, J. M., López-Romero, R. M., Chan-Díaz, D., Becerril-Pérez, C. M., Bautista-Ortega, J., & Vargas-Galicia, A. J. (2019). Soybean meal substitution by dehulled lupine (*Lupinus angustifolius*) with enzymes in broiler diets. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 32(4), 564.
- Nalle, C. L., Ravindran, V., & Ravindran, G. (2012). Nutritional value of narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius*) for broilers. *British Poultry Science*, 1668. <https://doi.org/10.1080/00071668.2011.639343>
- Oyeagu, C. E., Mlambo, V., Muchenje, V., & Marume, U. (2019). Effect of dietary supplementation of *Aspergillus xylanase* on broiler chickens performance. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 9(4), 693-708
- Pablo-Pérez, M., Lagunes-Espinoza, L. C., López-Upton, J., Aranda-Ibáñez, E. M., & Ramos-Juárez, J. (2015). Composición química de especies silvestres del género *Lupinus* del estado de Puebla, México. *Revista fitotecnica mexicana*, 38(1), 49-55.
- Palmquist, D. L., & Jenkins, T. C. (2003). Challenges with fats and fatty acid methods. *Journal of Animal Science*, 81(12), 3250–3254. <https://doi.org/10.2527/2003.81123250x>
- Pestana, J. M., Puerta, B., Santos, H., Madeira, M. S., Alfaia, C. M., Lopes, P. A., Pinto, R. M. A., Lemos, J. P. C., Fontes, C. M. G. A., Lordelo, M. M. and Prates, J. A. M. (2020). Impact of dietary incorporation of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) and exogenous enzymes on broiler performance , carcass traits , and meat quality. *Poultry Science*. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.069>
- Ponte, P. I. P., Rosado, C. M. C., Crespo, J. P., Crespo, D. G., Mourão, J. L., Chaveiro-Soares, M. A., Bra´s, J. L. A., Mendes, I., Gama, L. T., Prates, J. A. M., Ferreira, L. M. A., Fontes, C. M. G. A. (2008). Pasture Intake Improves the Performance and Meat Sensory Attributes of Free-Range Broilers. *Poultry Science*, 87(1), 71–79. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00147>
- Rangel-Rodríguez, A. M., Conxita, S., Susana, V., Flores-Gallardo, S. G., Contreras-Esquivel, J. C., & Licea-Jiménez, L. (2014). Immobilization of Pectinesterase in Genipin-Crosslinked Chitosan Membrane for Low Methoxyl Pectin Production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 174(8), 2941–2950. <https://doi.org/10.1007/s12010-014-1238-y>
- Robertson, A. R. (1977). The CIE 1976 Color-Difference Formulae. *Color Research & Application*, 2(1), 7–11. <https://doi.org/10.1002/j.1520-6378.1977.tb00104.x>
- Scanes, C. G. (2018). Animal products and human nutrition. *Animals and human society* (pp. 41-64). Academic Press
- Selim, N. A., Magied, A., Habeb, H. H., Waly, A. H., Fadl, A. A., & Shalash, S. M. (2016).

- Effect of pectinase enzyme supplementation and low energy corn-soybean meal diets on broiler performance and quality of carcass and meat. *Egyptian Poultry Science Journal*, 36(1), 319-335.
- Straková, E., Suchý, P., Herzig, I., Hudečková, P., & Ivanko, Š. (2010). Variation in fatty acids in chicken meat as a result of a lupin-containing diet. *Czech Journal of Animal Science*, 55(2), 75-82.
- Sukhija, P. S., & Palmquist, D. L. (1988). Rapid Method for Determination of Total Fatty Acid Content and Composition of Feedstuffs and Feces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 36(6), 1202–1206. <https://doi.org/10.1021/jf00084a019>
- Tabook, N. M., Kadim, I. T., Mahgoub, O., & Al-Marzooqi, W. (2006). The effect of date fibre supplemented with an exogenous enzyme on the performance and meat quality of broiler chickens. *British Poultry Science*, 47(1), 73–82. <https://doi.org/10.1080/0007166050047516>
- Tufarelli, V., Demauro, R., & Laudadio, V. (2015). Dietary micronized-dehulled white lupin (*Lupinus albus* L.) in meat-type Guinea fowls and its influence on growth performance, carcass traits and meat lipid profile. *Poultry Science*, 94(10), 2388–2394. <https://doi.org/10.3382/ps/pev218>
- Vicenti, A., Totada, F., Di Turi, L., Cocca, C., Perrucci, M., Melodia, L., & Ragni, M. (2009). Use of sweet lupin (*Lupinus albus* L. var. Multitalia) in feeding for Podolian young bulls and influence on productive performances and meat quality traits. *Meat science*, 82(2), 247-251.
- Villarino, C. B. J., Jayasena, V., Coorey, R., Chakrabarti-Bell, S., & Johnson, S. K. (2016). Nutritional, health, and technological functionality of lupin flour addition to bread and other baked products: Benefits and challenges. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(5), 835-857. [10.1080/10408398.2013.814044](https://doi.org/10.1080/10408398.2013.814044)
- Viveros, A., Chamorro, S., Pizarro, M., Arija, I., Centeno, C., & Brenes, A. (2011). Effects of dietary polyphenol-rich grape products on intestinal microflora and gut morphology in broiler chicks. *Poultry Science*, 90, 566–578. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00889>
- Zakaria, H. A. H., Jalal, M. A. R., & Ishmais, M. A. A. (2010). The Influence of Supplemental Multi-enzyme Feed Additive on the Performance , Carcass Characteristics and Meat Quality Traits of Broiler Chickens. *International Journal of Poultry Science*, 9(2), 126–133.

CAPITULO III. ADICIÓN DE ALICINA EN LA DIETA DE POLLOS DE ENGORDA Y SU EFECTO EN CALIDAD Y OXIDACIÓN LIPÍDICA DE LA CARNE.

3.1. RESUMEN

Se suministró alicina sintética en la dieta de pollos de engorda para evaluar su efecto en la calidad de la carne. Se utilizaron doscientos diez pollos Ross 308 de engorda de un día de edad, distribuidos al azar en tres tratamientos, con 7 repeticiones de 10 aves cada una. Los tratamientos fueron: **AL0, testigo**; **AL1**, 1 mg de alicina kg^{-1} de peso vivo (PV); y **AL2.5**, 2.5 mg de alicina kg^{-1} PV, administrados a partir del día 14 hasta los 27 días de edad, por medio de un catéter pediátrico de 5 Fr de 1.67 mm de diámetro. A las siete semanas de edad se mataron 36 aves al azar, 12 por tratamiento, y se extrajo el músculo *Pectoralis major* para los análisis de calidad en carne. Se evaluó grasa, proteína cruda (PC), materia seca (MS), humedad, perfil de ácidos grasos y oxidación lipídica. Para el análisis estadístico de las variables grasa, PC, MS, colágeno, humedad y perfil de ácidos grasos, se utilizó un modelo completamente al azar, usando el procedimiento GLM (SAS, 1999). Para capacidad antioxidante, además, se utilizó un diseño con medidas repetidas en el tiempo utilizando PROC MIXED. Las medias se compararon usando la prueba de Tukey ($P < 0.05$). La administración de alicina sintética a los pollos de engorda no modificó las características nutricionales en la carne, ni la oxidación lipídica ($P < 0.05$), pero disminuyó la concentración de C18:0 y C18:3n3. El consumo directo de alicina sintética en dosis de 1 y 2.5 mg de alicina kg^{-1} de PV no modificó las características de la calidad de la carne.

Palabras claves: *Allium sativum*, compuestos azufrados, nutracéutico, pechuga

ADDITION OF ALLICIN IN THE DIET OF BROILER CHICKEN AND ITS EFFECT ON THE QUALITY AND LIPID OXIDATION OF THE MEAT

3.2. ABSTRACT

Synthetic allicin was fed into the diet of broilers to evaluate its effect on meat quality. Two hundred and ten one-day-old Ross 308 broiler chicken were used, randomly distributed in three treatments, with 7 repetitions of 10 birds each. The treatments were: **AL0, control**; **AL1**, 1 mg of allicin kg⁻¹ live weight (LW); and **AL2.5**, 2.5 mg of allicin kg⁻¹LW, administered from day 14 to 27 days of age, through a pediatric 5 Fr catheter of 1.67 mm in diameter. At seven weeks of age, 36 birds were killed at random, 12 per treatment, and the *Pectoralis major* muscle was extracted for meat quality analyzes. Fat, crude protein (CP), dry matter (DM), moisture, fatty acids profile and lipid oxidation were evaluated. For the statistical analysis of the variables fat, PC, MS, collagen, moisture and fatty acids profile, a completely random model was used, using the GLM procedure (SAS, 1999). For antioxidant capacity, in addition, a design with repeated measures in time using PROC MIXED was used. Means were compared using Tukey's test (P <0.05). The supply of synthetic allicin to broilers did not modify the nutritional characteristics of the meat, nor the lipid oxidation (P <0.05), but it decreased the concentration of C18: 0 and C18: 3n3. The direct supply of synthetic allicin in doses of 1 and 2.5 mg of allicin kg⁻¹ of LW did not modify the characteristics of the quality of the meat.

Keywords: *Allium sativum*, breast, nutraceutical, sulfur compounds.

3.3. INTRODUCCIÓN

La necesidad por cubrir la demanda de carne de pollo ha llevado a los productores a establecer sistemas de producción intensivos con la consecuente generación de problemas de bienestar en los animales. Ante esta situación se han buscado alternativas para los sistemas de producción como la utilización de alimentos nutraceuticos que contrarresten algunos problemas, principalmente de salud en las aves. El ajo (*Allium sativum*), es considerado un alimento nutraceutico debido a que posee propiedades antioxidantes, antitrombóticas, antimicrobianas, hipolipidémicas, antihipertensivas y promotoras del crecimiento (Damini et al., 2019; Navidshad et al., 2018; Raeesi et al., 2010). El ajo contiene diferentes compuestos azufrados, como: alixina, aliína, adenosina, alil metano tiosulfonato, dialil disulfuro, dialil trisulfuro, alil metil trisulfonato, S-alil mercaptocisteína, 2-vinil-4H-1,2-ditiina, 5-alilcisteína y alicina (Shang et al., 2019), siendo este último el principal compuesto biológicamente activo y al que se atribuye el olor característico (Martins et al., 2016). La alicina deriva del procesamiento de la aliína o sulfóxido de S-alil-cisteína, compuesto azufrado que se encuentra disponible mientras el bulbo del ajo se encuentra intacto (Kopec et al., 2013; Martins et al., 2016), cabe mencionar que la aliína es una sustancia inestable y se encuentra aproximadamente 8 g de aliína por kg de ajo (Rahman 2007). Al machacar el bulbo de ajo se libera alicina por acción de la enzima alinasa (Jabbes et al., 2012; Kopec et al., 2013). Incluir ajo crudo en dieta de pollos de engorda reduce el porcentaje de grasa abdominal (Onibi et al., 2009), y conforme aumenta el nivel de inclusión de ajo en la dieta se intensifica el aroma y sabor en la carne. Además disminuye la oxidación lipídica (Onibi et al., 2009), el colesterol en la carne (Montaño et al., 2011), y aumenta el contenido de proteína en la pechuga (Onibi et al., 2009). De acuerdo a Kirkpınar et al (2014), los beneficios en la calidad de carne aumentan conforme se eleva la concentración de aceite de ajo en la dieta. Es posible que el suministro de alicina, compuesto con mayor concentración en el ajo, de manera directa en las aves puede potenciar los beneficios en la calidad de la carne. Por lo tanto el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto en la calidad de carne derivado del consumo de alicina sintética a pollos de engorda.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Nutrición Animal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos, ubicado en Texcoco, Estado de México (19° 29'N, 98°53'O a 2250 msnm).

Pollos, tratamientos y diseño experimental

Se utilizaron doscientos diez pollos de engorda Ross 308, de un día de edad, distribuidos en tres tratamientos, con 7 repeticiones cada uno, y 10 aves por repetición. Los tratamientos fueron: **AL0**, testigo; **AL1**, 1 mg de alicina kg⁻¹ de peso vivo (PV); y **AL2.5**, 2.5 mg de alicina kg⁻¹ PV, administrados a partir del día 14 hasta los 27 días de edad, por medio de un catéter pediátrico de 5 Fr de 1.67 mm de diámetro. La alimentación de las aves constó de dos fases: la primera de iniciación, proporcionada del día 1 al 21 de edad, contenía 3025 kcal de energía metabolizable (EM) kg⁻¹, 22% de PC, 1.05% de Ca y 0,50% de P disponible; y la segunda de finalización, proporcionada a partir del día 22 hasta la matanza (42 días), contenía 3150 kcal EM kg⁻¹, 21% PC, 0.90% Ca y 0.45% de P disponible. El alimento fue ofrecido en harina y de forma *ad libitum*, al igual que el agua. El perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales, se muestran en el Cuadro 3.1.

La alicina suministrada se obtuvo de acuerdo a lo descrito por Arguello-García et al (2010). Los animales se mantuvieron en corrales con cama de viruta de 2 m². Se usó un programa de 23 h de luz, 1 h de oscuridad (23L: 1D) a partir del día 1 al 14 de edad, posteriormente a partir del día 15 hasta el final del experimento se utilizó un programa de iluminación 12L: 12D.

La temperatura ambiente se mantuvo entre 30-33 °C durante la primera y segunda semana, respectivamente. Después de la segunda semana, la temperatura ambiente varió de 18.0 a 19.5 °C. Al concluir los tratamientos se seleccionaron aleatoriamente 36 aves para la matanza, 12 por tratamiento, extrayendo el músculo *Pectoralis major* para análisis de calidad en la carne. La matanza se realizó de acuerdo a la norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995 (Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres).

Cuadro 3.1. Perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales ofrecidas a los pollos de engorda.

Ácido graso (%)	Dietas	
	Iniciación	Finalización
Mirístico (C14:0)	0.08	0.06
Palmítico (C16:0)	12.01	12.29
Palmitoleico (C16:1)	0.08	0.09
Heptadecanoico (C17:0)	0.08	0.09
Estearico (C18:0)	3.76	3.71
Oleico (C18:1n-9)	22.08	22.56
Linoleico (C18:2n-6)	54.41	53.80
Linolénico (C18:3n-3)	5.94	5.67
∑AGS	15.93	16.15
∑AGI	82.51	82.12

AGS: ácidos grasos saturados; AGI: ácidos grasos insaturados

Evaluación de la calidad de la pechuga.

La grasa, PC, MS y humedad se determinaron utilizando el espectrofotómetro FoofScam™ meat analyser (Foss, Copenhagen, Dinamarca). La capacidad antioxidante se determinó por el método de DPPH (2,2-difenil-1-picrylhydrazyl) (Brand-Williams, Cuvelier, & Berset, 1995), a los días 0, 3, 5 y 9 en refrigeración, por espectrofotometría (Espectrofotómetro visible Varian Cary 1E UV, USA) a 517 nm.

El perfil de ácidos grasos se determinó en muestras de pechuga liofilizada (Labconco FreeZone 6, USA), usando la técnica de metilación (Sukhija and Palmquist 1988; Palmquist and Jenkins 2003; Jenkins 2010), en la cual los ácidos grasos se presentan en forma de metil-ésteres. Para la lectura de las muestras se utilizó un cromatógrafo (Hewlett Packard 6890 USA), Detector FID e Inyector automático G2613A, columna capilar de sílice (100m x 0.25mm x 0.20µm de grosor, SPTM-2560, Supelco). Para la cromatografía se consideró como gas acarreador Helio Split ratio 10, temperatura del inyector 250 °C y temperatura del detector 260 °C. Finalmente se realizó la integración e identificación de los ácidos grasos en los cromatogramas obtenidos, para lo cual se comparó el tiempo de retención del estándar Supelco 37 Components FAME (Fatty Acids Methyl Esters) con el de la muestra.

Análisis estadístico

Los resultados de las variables grasa, PC, MS, humedad y perfil de ácidos grasos, se analizaron utilizando un modelo completamente al azar, usando el procedimiento GLM (SAS, 1999). Para capacidad antioxidante, además, se utilizó un análisis de medidas repetidas en el tiempo utilizando PROC MIXED. Las medias se compararon usando la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

El modelo estadístico fue $Y_{ij} = \mu + t_i + E_{ij}$, donde Y_{ij} = Variable respuesta en el tratamiento i , repetición j ; μ = Media general; t_i = Efecto del tratamiento i ; E_{ij} = Error aleatorio.

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características nutricionales de la pechuga

Las medias de las variables grasa, PC, MS y humedad en la pechuga de pollo se muestran en el Cuadro 3.2, las cuales no se modificaron ($P>0.05$) por efecto de los tratamientos. De acuerdo a Onibi et al (2009) y Borgohain et al (2019), agregar harina de ajo en la dieta de pollos de engorda se reduce el colesterol sérico, triglicéridos y minimiza el depósito excesivo de grasa en la canal de pollos de engorda, debido a que los compuestos contenidos en el ajo como la alicina, tienen efecto hipolipidémico (Montaño et al., 2011). Esto sugiere que al incluir mayor cantidad de ajo en la dieta de pollos de engorda incrementa la cantidad de alicina y puede disminuir las concentraciones de grasa abdominal (Varmaghany *et al.*, 2013). Sin embargo, en la presente investigación no hubo diferencia en el porcentaje de grasa en la pechuga, al respecto Rahman (2007) reporta que a pesar de que la alicina representa el 70% de los compuestos sulfurados del ajo, las propiedades benéficas que se han registrado se deben a la actividad conjunta de los tiosulfatos presentes en los dientes de ajo.

El promedio de proteína en la carne fue de 23.35%. Ali et al (2014) reportaron que la cantidad de proteína en la carne aumenta al incluir ajo en la dieta de pollos de engorda, debido a que los compuestos químicos del ajo como la alicina, restauran proteínas que contienen aminoácidos como cisteína, glicina y ácido glutámico, protegiendo a las células del daño oxidativo (Mahmoud et al., 2019). En el presente estudio el porcentaje de proteína no fue diferente entre tratamientos, resultados que coinciden con lo reportado por Dieumou et al (2009) que al incluir aceite de ajo en la dieta de los pollos de engorda no obtuvo diferencia significativa en el contenido de proteína, argumentando que la dosis suministrada no fue suficiente para causar efecto en el contenido de proteína en la carne. Adicionalmente, la volatilidad e inestabilidad de la alicina hacen que este compuesto sea difícil de almacenar y suministrar (Rahman 2007), ya que al existir cambios bruscos de temperatura, pH y luz (Arnault et al., 2005) se convierte fácilmente en polisulfuros liposolubles, tales como sulfuro de dialilo, disulfuro de dialilo, trisulfuro de dialilo y tetrasulfuro de dialilo (Bayan *et al.*, 2014) reduciendo la concentración del compuesto y en consecuencia disminuye la potencialidad y efectos benéficos que este pueda proporcionar, por lo tanto la forma de administración de alicina a los pollos de engorda por medio del catéter pudo no ser la apropiada debido a que el traslado y manipulación pudo haber variaciones de temperatura que propiciaron la pérdida de la alicina.

Cuadro 3.2. Composición Nutricional de la pechuga de pollo de engorda suplementadas con alicina de forma directa

Característica (%) base húmeda	Tratamiento			EMM	Valor de P
	AL0	AL1	AL2.5		
Grasa	1.97	1.88	1.85	0.73	0.27
PC	23.37	23.19	23.50	0.27	0.30
MS	26.71	26.43	26.79	0.56	0.71
Humedad	73.28	73.56	73.20	0.56	0.71

AL0, testigo; AL1, 1 mg de alicina kg⁻¹ de peso vivo (PV); y AL2.5, 2.5 mg de alicina kg⁻¹ PV; PC: proteína cruda; MS: materia seca.

Composición de ácidos grasos y oxidación lipídica

Las medias del perfil de ácidos grasos al agregar alicina sintética se observan en el Cuadro 3.3. Los resultados indican que el perfil de ácidos grasos no fue diferente por efecto de tratamientos ($P > 0.05$) a excepción de C18:0 y C18:3n3 (Cuadro 3.3). En el caso específico de C18:0, se observó reducción en el porcentaje al aumentar la dosis de alicina, disminuyó de 8.17 a 7.34 en la carne de aves que se les suministró 2.5 mg de alicina kg⁻¹ de PV. Esto coincide con lo encontrado por Choi et al (2010), quienes reportaron disminución de AGS en la carne de aves alimentadas con ajo, este efecto se atribuye a la composición química del ajo, donde la alicina representa aproximadamente el 70% de los compuestos azufrados (Shang et al., 2019). La alicina junto con S-alil-cisteína, contenidos en el ajo, actúan como antioxidantes potentes que permiten conservar mayor cantidad de AGI y reducir AGS, ya que reduce la capacitación de radicales endógenos, aumentando la actividad de enzimas antioxidantes celulares como superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa, protegiendo así a lipoproteínas de baja densidad de la oxidación por los radicales libres (Borek, 2001; Mahmoud et al., 2019). Contrario a esto, en C18:3n3, hubo una disminución en la concentración de este ácido graso en la carne al aumentar la concentración de alicina a 2.5 mg de alicina kg⁻¹ de PV, de 2.76 a 2.38; no se observó un efecto favorable con respecto a los otros tratamientos

Cuadro 3.3. Composición de ácidos grasos de la pechuga de pollo de engorda adicionando alicina sintética

Ácido graso (%)	Tratamientos			EEM	Valor de P
	AL0	AL1	AL2.5		
NI	2.47	2.90	2.61	0.28	0.06
Mirístico (C14:1)	0.37	0.37	0.35	0.03	0.58
Miristoleico (C14:1)	0.04	0.05	0.05	0.01	0.06
Pentadecanoico (C15:0)	0.13	0.17	0.14	0.03	0.09
Palmítico (C16:0)	18.69	19.23	18.73	0.71	0.37
Palmitoleico (C16:1)	1.71	2.26	2.05	0.48	0.17
Heptadecanoico (C17:0)	0.13	0.13	0.13	0.01	0.57
Cis 10 heptadecanoico (C17:1)	0.18	0.17	0.19	0.02	0.38
Esteárico (C18:0)	8.17^a	7.56^{ab}	7.34^b	0.52	0.03
Elaidico (C18:1 <i>trans</i>)	0.15	0.14	0.14	0.02	0.43
Oleico (C18:1n-9)	27.30	27.58	27.43	1.32	0.93
Linoleico (C18:2)	34.01	32.92	34.54	1.62	0.24
Araquídico (C20:0)	0.05	0.06	0.05	0.03	0.76
Gamma linoleico (C18:3)	0.20	0.16	0.21	0.03	0.10
Eicosaenoico (C20:1)	0.19	0.17	0.17	0.01	0.06
Linolénico (C18:3n3)	2.76^a	2.38^b	2.54^{ab}	0.22	0.03
Eicosadienoico (C20:2)	0.45	0.51	0.43	0.06	0.14
Eicosatrienoico (C20:3n-9)	0.41	0.57	0.43	0.14	0.14
Araquidónico (C20:4n-6)	2.27	0.49	2.29	0.30	0.40
Decosaenoico (C22:6)	0.21	0.16	0.26	0.22	0.72
∑AGS	27.57	27.54	26.75	1.00	0.30
∑AGI	69.94	69.62	70.76	1.45	0.16

^{abc} Medias con diferente superíndice en la misma fila son diferentes ($P \leq 0.05$); **EEM**: Error estándar de la media; **AL0**, testigo; **AL1**, 1 mg de alicina kg^{-1} de peso vivo (PV); y **AL2.5**, 2.5 mg de alicina kg^{-1} PV.

Los resultados de oxidación lipídica no mostraron diferencia por efecto de tratamientos (Cuadro 3.4). La tendencia de los valores de la actividad antioxidante -DPPH (μM Trolox /100g de carne base seca) en pechuga de pollos suplementadas con alicina de forma directa no mostró diferencia entre tratamientos ($P < 0.05$).

Se ha reportado que la oxidación lipídica en la carne disminuye hasta 28% al agregar harina de ajo en la dieta de pollos de engorda (Choi et al., 2010), debido a que el ajo contiene gran cantidad de polifenoles (ácido gálico, ácido ferúlico, quecetina, kaempferol y glucósidos

flavonoides) que son antioxidantes potentes (Rahman et al., 2012; Damini et al., 2019). Sin embargo, en la presente investigación no hubo diferencia a pesar de que el suministro de la alicina fue directa. El efecto positivo del ajo en la estabilidad oxidativa se atribuye a tres compuestos azufrados: alicina, trisulfuro de dialilo y disulfuro de dialilo (Kim et al 1997), este último es el más estable y al que se le pueden atribuir las propiedades antioxidantes. Contrariamente, Miron et al (2000) reportan que la alicina es el principal antioxidante contenido en el ajo ya que actúa como un antioxidante eficaz al atrapar los radicales libres, además de eliminar los radicales hidroxilo (Rahman 2007). Es pertinente mencionar que el efecto de alicina en pollos de engorda únicamente se ha estudiado en enfermedades y control de parásitos, pero no en calidad de la carne. Sin embargo, consideramos que es posible adicionar alicina sintética o extracto del ajo, en dosis mayores a las evaluadas en la presente investigación, para generar cambios significativos en la calidad de la carne, aspecto a considerar en el futuro por nuestro grupo de investigación. Adicionalmente, es de interés buscar mejores métodos de administración para asegurar la dosis adecuada en el alimento del compuesto a las aves.

Cuadro 3.4. Valores de la actividad antioxidante – DPPH (μM Trolox /100g de carne base seca), en pechuga de pollos suplementadas con alicina de forma directa

DPPH	Tratamientos			EEM	Periodo (días)				EMM	Valor de P		
	AL0	AL1	AL2.5		0	3	5	9		T	P*	TP
$\mu\text{mol/kg}$	5.12	6.17	6.46	0.11	1.58 ^a	5.60 ^b	7.36 ^d	6.09 ^c	0.16	0.11	<0.01	0.83

^{ab} Medias con diferente superíndice en la misma fila son diferentes ($P \leq 0.05$). **DPPH**: 2, 2 –difenil-1 picrilhidrazil; **AL0**, testigo; **AL1**, 1 mg de alicina kg^{-1} de peso vivo (PV); y **AL2.5**, 2.5 mg de alicina kg^{-1} PV; EEM: Error estándar de la media; T: valor de P entre tratamientos; P*: valor de P entre periodo; TP: valor de P de la interacción tratamiento-periodo.

3.6. CONCLUSIÓN

Suministrar dosis de 1 y 2.5 mg de alicina sintética kg^{-1} de PV de manera directa a pollos de engorda como alimento neutracéutico, no modifica características nutricionales, perfil de AG y oxidación lipídica de la carne. Por lo tanto si se quiere obtener beneficios de la alicina en la calidad de la carne es necesario estudiar e implementar dosis más altas de este compuesto en aves.

3.7. LITERATURA CITADA

- Ali, M., Kamruzzaman, M., & Khandaker, Z. H. (2014). Effects of feeding garlic powder on growth performance and meat quality of broiler. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 45(2), 79–83.
- Arguello-García, R., Medina-Campos, O. N., Pérez-Hernández, N., Pedraza-Chaverri, J., & Ortega-Pierres, G. (2010). Hypochlorous Acid Scavenging Activities of Thioallyl Compounds from Garlic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 11226–11233. <https://doi.org/10.1021/jf102423w>
- Arnault, I., Haffner, T., Siess, M.H., Vollmar, A., Kahane, R. and Auger, J. 2005. Analytical Method for Appreciation of Garlic Therapeutic Potential and For Validation of a New Formulation. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 37: 963–970.
- Bayan L, Hossain-Koulivand P, Gorji A. 2014. Garlic: a review of potential therapeutic effects. *Avicenna Journal of Phytomed*. 4(1): 1-14.
- Borek, C. (2001). Antioxidant Health Effects of Aged Garlic Extract. *The Journal of Nutrition*, 131(3), 1010–1015.
- Borgohain, B., Mahanta, J. D., Sapkota, D., Handique, B., & Islam, R. (2019). Effect of Feeding Garlic (*Allium sativum*) on Haematological , Serum Biochemical Profile and Carcass Characteristics in Broiler Chicken. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, (November). <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.810.054>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *The Microflown E-Book*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Choi, I. H., Park, W. Y., & Kim, Y. J. (2010). Effects of dietary garlic powder and α -tocopherol supplementation on performance , serum cholesterol levels , and meat quality of chicken. *Poultry Science*, 89(8), 1724–1731. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00052>
- Damini, K., Woo-Do, L., Kai-Min, N., & Soo-Ki, K. (2019). The Genus *Allium* as Poultry Feed Additive: A Review. *Animals*, 9–11. <https://doi.org/10.3390/ani9121032>
- Dieumou, F.E., Teguaia, A., Kuate, J.R., Tamokou, J.D., Fonge, N.B. & Dongmo, M.C. (2009) Effects of ginger (*Zingiber officinale*) and garlic (*Allium sativum*) essential oils on growth performance and gut microbial population of broiler chickens. *Livestock Research for Rural Development*, 21 (8).
- Jabbes, N., Arnault, I., Auger, J., Dridi, B. A. M., & Hannachi, C. (2012). Agro- morphological markers and organo-sulphur compounds to assess diversity in Tunisian garlic landraces. *Scientia Horticulturae*, 148, 47–54.
- Jenkins, T. C. (2010). Technical note: Common analytical errors yielding inaccurate results during analysis of fatty acids in feed and digesta samples. *Journal of Dairy Science*, 93(3), 1170–1174. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2509>
- Kim, S.M., Kubota, K. and Kobayashi, A. 1997. Antioxidative Activity of Sulfur-Containing Flavor Compounds in Garlic. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 61(9): 1482–1485.

- Kirkpinar, F. İ. G. E. N., Ünlü, H. B., Serdaroğlu, M., & Turp, G. Y. (2014). Effects of dietary oregano and garlic essential oils on carcass characteristics, meat composition, colour, pH and sensory quality of broiler meat. *British Poultry Science*, 55(2), 157-166.
- Kopec, A., Piatkowska, E., Leszczynska, T., & Sikora, E. (2013). Healthy properties of garlic. *Current Nutrition & Food Science*, 9(1), 59-64.
- Mahmoud, M. S. B., Mohammed, E. A., Ibrahim, R. E., Widaa, D. E. A., Ali, L. Y., & Dagarsho, M. H. (2019). Effects of Early Feed Restriction and Dietary Inclusion of Some Spices on Performance of Broiler Chickens. *Journal of Agricultural and Veterinary Sciences*, 02(2).
- Martins, N., Petropoulos, S., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Chemical composition and bioactive compounds of garlic (*Allium sativum* L.) as affected by pre- and post-harvest conditions : A review. *Food Chemistry*, 211, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.029>
- Miron, T., Rabinkov, A., Mirelman, D., Wilchek, M. and Weiner, L. 2000. The Mode of Action of Allicin: Its Ready Permeability through Phospholipid Membranes May Contribute to Its Biological Activity. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1463: 20–30.
- Montaño, A., Beato, V. M., Mansilla, F., & Orgaz, F. (2011). Effect of Genetic Characteristics and Environmental Factors on Organosulfur Compounds in Garlic (*Allium sativum* L.) Grown in. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 1301–1307.
- Navidshad, B., Darabighane, B., & Malecky, M. (2018). Garlic : An Alternative to Antibiotics in Poultry Production , A Review. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 8(1), 9–17.
- Onibi, G. E., Adebisi, O. E., Fajemisin, A. N., & Adetunji, A. V. (2009). Response of broiler chickens in terms of performance and meat quality to garlic (*Allium sativum*) supplementation. *African Journal of Agricultural Research*, 4(5), 511–517.
- Palmquist, D. L., & Jenkins, T. C. (2003). Challenges with fats and fatty acid methods. *Journal of Animal Science*, 81(12), 3250–3254. <https://doi.org/10.2527/2003.81123250x>
- Raeesi, M., Aliabad, S. A. H., Roofchae, A., Shahneh, A. Z., & Pirali, S. (2010). Effect of Periodically Use of Garlic (*Allium sativum*) Powder on Performance and Carcass Characteristics in Broiler Chickens. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 4(8).
- Rahman, M. M., Fazlic, V., & Saad, N. W. (2012). Antioxidant properties of raw garlic (*Allium sativum*) extract. *International Food Research Journal*, 19(2), 589–591
- Rahman, M. S. (2007). Allicin and other functional active components in garlic: Health benefits and bioavailability. *International Journal of Food Properties*, 10, 245–268.
- Shang, A., Cao, S.-Y., Xu, X.-Y., Gan, R.-Y., Tang, G.-Y., Corke, H., Mavumengwana, V., Li, H.-B. (2019). Bioactive Compounds and Biological Functions of Garlic (*Allium sativum* L.). *Foods*, 1–31.
- Sukhija, P. S., & Palmquist, D. L. (1988). Rapid Method for Determination of Total Fatty Acid Content and Composition of Feedstuffs and Feces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 36(6), 1202–1206. <https://doi.org/10.1021/jf00084a019>
- Varmaghany, S., Torshizi, M. A. K., Rahimi, S., Lotfollahian, H., & Hassanzadeh, M. (2013).

The effects of increasing levels of dietary garlic bulb on growth performance , systolic blood pressure , hematology , and ascites syndrome in broiler chickens. *Poultry Science*, (2005), 1812–1820.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

La utilización de ingredientes no convencionales en la alimentación de pollos de engorda es una alternativa viable ya que mejora características deseables de la calidad de la carne. Es importante mencionar que muchos de los alimentos no convencionales tienen características no deseables como alto porcentaje de fibra y compuestos antinutricionales, que dificultan la digestión, absorción de nutrientes y en consecuencia la deposición en la carne, por lo que adicionalmente es recomendable implementar alternativas como la extracción de cubiertas seminales, en el caso de las semillas, y enzimas, para aprovechar los nutrientes de los ingredientes no convencionales.

Adicional a esto, es importante enfocarse en la utilización de los llamados “*alimentos nutraceuticos*”, ya que además de que sus compuestos activos puedan mejorar la calidad de la carne, proporcionan beneficio extra en la salud de los animales, siempre y cuando su manejo y administración sea la adecuada.