

**EFFECTO DE LA INCLUSIÓN DE LODO DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA
FERMENTADO Y DESECADO EN DIETAS PARA POLLOS DE ENGORDE
SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO, COMPOSICIÓN DE LA CANAL Y
CALIDAD DE LA CARNE**

Por

José A. Orama Molina

Tesis sometida en cumplimiento parcial
de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

en

Industria Pecuaria

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2006

Aprobado por:

Abner A. Rodríguez Carías, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Paul F. Randel Følling, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Héctor L. Santiago Anadón, Ph.D.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Elvin O. Román Paoli, Ph.D.
Representante Estudios Graduados

Fecha

José R. Latorre Acevedo, Ph.D.
Director del Departamento

Fecha

**EFFECTO DE LA INCLUSIÓN DE LODO DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA
FERMENTADO Y DESECADO EN DIETAS PARA POLLOS DE ENGORDE SOBRE
EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO, COMPOSICIÓN DE LA CANAL Y
CALIDAD DE LA CARNE**

RESUMEN

JOSÉ A. ORAMA MOLINA

Cerca del 70% de los costos totales de producción en la industria avícola a nivel de granja son atribuidos al costo del alimento. Residuos producto del procesamiento de aves presentan perfiles de nutrientes similares a los de fuentes de alimento convencionalmente utilizados en dietas para aves y tienen el potencial de convertirse en recursos alimentarios a costos razonables. Con el objeto de determinar la viabilidad de la utilización de lodo de industria avícola fermentado (LIAF) en dietas para pollos parrilleros, se evaluó el efecto de la inclusión dietética del mismo sobre el desempeño productivo, características de la canal y de calidad de la carne. Un total de 420 pollos de un día de edad fueron asignados al azar a tres tratamientos con 10 repeticiones de 14 aves por jaula y criados mediante un esquema de tres fases hasta la edad de mercado (42 d), en un galpón de cría en la Estación Experimental Agrícola localizada en Lajas. Los tratamientos consistieron de tres dietas por fase, isoproteicas e isocalóricas, conteniendo 0 (control), 5 y 10% LIAF. Las aves y el alimento se pesaron semanalmente hasta los 42 d de edad para determinar el peso corporal (PEC), consumo de alimento (CA) y conversión de alimento (CAL). Al finalizar el periodo de crianza, 30 aves por tratamiento fueron seleccionadas al azar y procesadas para evaluar la composición de la canal y la calidad de la carne. Se pesaron los cortes principales y se calcularon rendimientos para canal (RC), presas (RP) y grasa abdominal (RGA) como un porcentaje del peso vivo. La pechuga, un muslo y una cadera de 15 aves por

tratamiento fueron deshuesados y se calcularon rendimientos de carne deshuesada (RCD), carne oscura (COR) y carne blanca (RCB) como un porcentaje de peso vivo. Asimismo, se calculó la proporción de piel, hueso y músculo compuesta por cada presa. Los filetes de pechuga (*Pectoralis major*) fueron evaluados para pH, color (valores L*, a* y b*), capacidad de retención de agua (CRA), resistencia al corte (RCO) y para intensidad de sabor (IS) mediante el uso de una escala hedónica en un panel sensorial.

Hubo un PEC mayor ($P < 0.05$), junto con CA y CAL menores para la dieta conteniendo 10% LIAF durante las primeras dos semanas de edad, pero no se observaron diferencias significativas en dichas variables desde los 21 días hasta la edad de procesamiento (42 d). Dietas conteniendo 5 y 10% LIAF presentaron RC ($\bar{x} = 66.28\%$), RCD ($\bar{x} = 27.92\%$) y COR ($\bar{x} = 14.23\%$) similares entre sí pero significativamente menores comparados con el control (68.75%, 14.82% y 15.06%, respectivamente). No se observaron diferencias entre tratamientos para peso de la canal ($\bar{x} = 1,471$ g), RCB ($\bar{x} = 14.07\%$), RP y RGA ($\bar{x} = 2.23\%$). La inclusión de LIAF en la dieta no afectó el pH ($\bar{x} = 5.8$), color, CRA ($\bar{x} = 30.96\%$), RCO ($\bar{x} = 1.08$ kg) e IS de los filetes de pechuga. Los resultados obtenidos indican que se puede incorporar hasta un 10% de LIAF en dietas para pollos de engorde sin afectar el desempeño productivo, mientras se sostienen rendimientos de procesamiento adecuados y sin detrimento de las características de la canal y la calidad de la carne.

**EFFECT OF DRIED FERMENTED BROILER PROCESSING PLANT SLUDGE
INCLUSION IN BROILER DIETS ON BIRD PERFORMANCE, CARCASS
COMPOSITION AND MEAT QUALITY**

ABSTRACT

JOSÉ A. ORAMA MOLINA

About 70% of the total costs of on farm poultry production are attributable to feed costs. Poultry processing residues having nutrient profiles similar to those of conventional feedstuffs used in poultry diets, if handled properly, can be transformed into potential feedstuffs at reasonable prices. An experiment was conducted to determine the suitability of the inclusion of fermented broiler processing plant sludge (FBPPS) in broiler diets and the effects on productive performance, carcass composition and meat quality traits. A total of 420 day-old broilers were randomly assigned to one of three treatments with 10 replications of 14 birds per pen and raised in a triphasic scheme to market age (42 d) in a poultry house at the Agricultural Experiment Station in Lajas. Treatments consisted of three isonitrogenous and isocaloric diets in each phase with inclusion of 0 (control), 5, and 10% FBPPS. Birds and feed were weighted weekly until 42 d of age to determine body weight (BW), feed intake (FI) and feed conversion (FC). At the end of the finishing period (slaughter), 30 birds per treatment were randomly selected and processed to evaluate carcass composition and meat quality. Carcass yield (CY), major cuts yield (MCY), and fat pad yield (FPY) were calculated as a percent of BW prior to slaughter. The breast, one thigh, and one drumstick were deboned and yields of total deboned meat (TDM), dark meat (DMY), and white meat (WMY) calculated as a percentage of live BW. In addition, the proportion of muscle, skin, and bone of each major cut was calculated. The *Pectoralis major* muscles were evaluated for pH, color (L*, a*, b* values), water-

holding capacity (WHC), shear value (SV) and for flavor intensity (FL) by a sensory panel using an hedonic scale.

A higher ($P < 0.05$) BW together with lower FI and FC were observed for birds fed with 10% FBPPS inclusion during the first two weeks of age, but no significant differences in these traits were found in the grower and finisher periods (21-42 d). Birds fed with 5 and 10% FBPPS inclusion showed similar CY ($\bar{x} = 66.28$), TDM yield ($\bar{x} = 27.92\%$) and DMY ($\bar{x} = 14.23\%$), but were significantly lower than those of the control diet (68.75%, 14.82% and 15.06%, respectively). No differences among treatments were observed for carcass weight ($\bar{x} = 1,472$ g), WMY ($\bar{x} = 14.07\%$), MCY, and FPY ($\bar{x} = 2.23\%$). The dietary inclusion of FBPPS had no effect on pH ($\bar{x} = 5.8$), color, WHC ($\bar{x} = 30.96\%$), SV ($\bar{x} = 1.08$ kg), nor FL of breast fillets. The results indicate that an inclusion of up to 10% FBPPS in broiler diets can be used without detriment to bird performance, carcass traits, and meat quality, while sustaining adequate processing yields.

A MI PADRE

Antonio Orama González, hijo (Q.E.P.D.)

A MI MADRE

Margarita Molina Adorno

A MIS ABUELOS

Antonio Orama González y Bárbara González de León (Q.E.P.D.)

Nicasio Molina Robles (Q.E.P.D) y Francisca Adorno Navarro

Agradecimientos

Primero que nada, deseo agradecer a Dios por permitir que esta meta fuese realizada. Agradezco también a toda mi familia, en especial a mis abuelos, a mi madre Margarita Molina Adorno, a mi hermana Myrna Orama Molina y a mi tío Juan José Orama González, por su apoyo incondicional. Debo agradecer también a mi novia, Gladys V. Calvente Álvarez, por su apoyo, esfuerzo y paciencia durante todo este tiempo.

Agradezco al Dr. José Latorre, por convencerme a realizar estudios graduados y al Dr. Danilo Cianzio, por su buena disposición y consejos durante el tiempo que estuve bajo su tutela.

Agradezco especialmente a los estudiantes subgraduados Kenneth Aponte y Sully Morales; a los agrónomos Mireille Argüelles, Claudia Olaya, Luisa Flores, Héctor Díaz, Suzika Pagán y Rebeka Sanabria; así como al personal de la Subestación Experimental Agrícola de Lajas y de la Granja Experimental de Animales Pequeños también en Lajas por su colaboración en esta investigación.

Agradezco a mi mentor y presidente de mi Comité Graduado, el Dr. Héctor Santiago, por su guía, instrucción, consejos y amistad. También agradezco a los doctores Abner Rodríguez y Paul Randel, miembros de mi Comité Graduado, por su participación en esta investigación. Por último, agradezco a los miembros de mi Comité Graduado y al Dr. Elvin Román Paoli, Representante de Estudios Graduados, por su esmero y rigor en la revisión de la tesis. Considero un honor el haber podido trabajar con profesionales de tan alto calibre, por tanto, Gracias.

TABLA DE CONTENIDO

| Contenido | Página |
|---|---------------|
| Índice de Cuadros | ix |
| Índice de Figuras | x |
| Lista de Abreviaturas | xi |
| Introducción | 1 |
| Revisión de Literatura | 4 |
| 1. Residuos Orgánicos en la Alimentación de Aves | 4 |
| 2. Factores que Afectan la Composición de la Canal y Calidad de la Carne | 20 |
| Objetivos | 29 |
| Materiales y Métodos | 30 |
| Preparación del Lodo de la Industria Avícola Fermentado y Desecado | 30 |
| I- Fase de Crianza | 32 |
| II- Matanza y Post-matanza | 36 |
| III- Atributos de Calidad de la Carne | 37 |
| 1. Medición de pH | 38 |
| 2. Medición de Color | 38 |
| 3. Determinación de la Capacidad de Retención de Agua | 39 |
| 4. Determinación de Pérdida de Agua por Goteo y Pérdida de Agua por Cocción | 39 |
| 5. Resistencia al Corte (Terneza) | 40 |
| 6. Intensidad de Sabor | 41 |
| Análisis Estadístico | 43 |

| | Página |
|-------------------------------------|---------------|
| Resultados y Discusión | 45 |
| a. Desempeño Productivo | 45 |
| b. Características de la Canal | 51 |
| c. Atributos de Calidad de la Carne | 62 |
| Conclusiones | 66 |
| Implicaciones | 67 |
| Literatura Citada | 69 |
| VITA | 76 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Página |
|--|---------------|
| Cuadro 1. Composición Química del Lodo de Aguas Usadas de Una Planta Procesadora de Pollos de Engorde. | 3 |
| Cuadro 2. Composición Química del Lodo de la Industria Avícola Fermentado y Desecado. | 33 |
| Cuadro 3. Composición Nutricional y Química de las Dietas Experimentales. | 34 |
| Cuadro 4. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre el Peso Corporal de Pollos Parrilleros. | 46 |
| Cuadro 5. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta de Pollos de Engorde sobre el Consumo de Alimento Acumulativo. | 47 |
| Cuadro 6. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta de Pollos de Engorde sobre la Conversión de Alimento Acumulado. | 48 |
| Cuadro 7. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre el Peso Vivo, Pesos de Canales, Cuello, Plumas y Grasa Abdominal durante la Matanza y Rendimientos de Éstos en Relación al Peso Vivo. | 53 |
| Cuadro 8. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre los Pesos de los Principales Cortes de Carne de Pollo. | 54 |
| Cuadro 9. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre el Rendimiento de los Principales Cortes de Carne de Pollo en Relación al Peso Vivo del Ave y en Relación a la Canal Enfriada. | 55 |
| Cuadro 10. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre los Pesos de Carne Deshuesable, Hueso y Piel de la Canal. | 57 |
| Cuadro 11. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre los Rendimientos de Carne, Hueso y Piel Relativos al Peso Vivo y a la Canal. | 58 |
| Cuadro 12. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre los Rendimientos de los Distintos Componentes de los Cortes Principales de Pollo en Relación al Peso Vivo. | 60 |
| Cuadro 13. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre los Rendimientos de los Distintos Componentes de los Cortes Principales de Pollo en Relación a la Canal Enfriada. | 61 |

| | Página |
|---|---------------|
| Cuadro 14. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre el pH, la Capacidad de Retención de Agua y el Color de la Carne de Pechuga Cruda. | 62 |
| Cuadro 15. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre la Pérdida de Agua por Goteo y la Pérdida de Agua por Cocción. | 63 |
| Cuadro 16. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre la Resistencia al Corte de la Pechuga de Pollo Cocida. | 64 |
| Cuadro 17. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre la Intensidad de Sabor de la Carne de Pechuga de Pollo. | 65 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|---|---------------|
| FIGURA 1. Proceso para Fermentación Anaeróbica del Lodo de Industria Avícola. | 31 |
| FIGURA 2. Superficie Ventral del <i>Pectoralis major</i> Derecho. | 38 |
| FIGURA 3. Instrumento Utilizado para Homogeneizar las Muestras de <i>P. major</i> con el Fin de Evaluar la Terneza de la Carne. | 41 |
| FIGURA 4. Escala Hedónica del Panel Sensorial para Medir Intensidad de Sabor. | 42 |
| FIGURA 5. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta de Pollos de Engorde sobre la Frecuencia de Mortalidad y de Animales Sacrificados. | 49 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | | | |
|----------|---|-----|---|
| BPAL | Bacterias productoras de ácido láctico | LPC | Listo para cocinar |
| CA | Consumo de alimento por ave | mm | Milímetros |
| CAL | Índice de conversión de alimento | NYD | New York Dress (Canal desplumada) |
| COR | Rendimiento de carne oscura | PB | Proteína Bruta |
| CRA | Capacidad de retención de agua | PEC | Peso corporal del animal vivo |
| d | días | PSE | Pale soft and exudative (carne pálida, suave y exudativa) |
| EPA | Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental, por sus siglas en inglés) | ppm | Partes por millón |
| <i>G</i> | Constante gravitacional. ($6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$) | RC | Rendimiento de canal |
| g | Gramo | RCB | Rendimiento de carne blanca |
| h | horas | RCD | Rendimiento de carne deshuesada |
| HLM | Harina de larvas de mosca | RCO | Resistencia al corte |
| IS | Intensidad de sabor | RGA | Rendimiento de grasa abdominal |
| kcal | kilocalorías | RP | Rendimiento de presas de carne de pollo |
| kg | kilogramo | s | segundos |
| LAAS | Lodo activado de alcantarillado seco | ufc | Unidades formadoras de colonias |
| LIAF | Lodo de industria avícola fermentado y desecado | | |

INTRODUCCIÓN

Mundialmente, para el crecimiento exitoso de operaciones pecuarias es importante la disponibilidad de recursos alimentarios a precios razonables. Sin embargo, la tendencia ascendente en los precios de los alimentos indica que el suministro futuro de los ingredientes tradicionales será muy costoso (Lovell, 1996). Entre los ingredientes de las dietas, las fuentes de energía y proteína representan la mayor preocupación para los productores pecuarios. Al presente, no caben dudas de la eficacia del maíz y la soya para satisfacer los requerimientos nutricionales de las aves de corral y otros animales no-rumiantes. En Puerto Rico, la industria de pollos de engorde o parrilleros debe competir con grandes importaciones estacionales de carne de pollo a bajo precio (Fernández-Coll et al., 1990), unido al problema de altos costos de alimentación, debido a que los principales ingredientes en las dietas (maíz y harina de soya) son importados. Se precisa el desarrollo de fuentes energéticas y proteicas alternas a precios favorables para la industria y que puedan estar disponibles en grandes cantidades en el futuro para la utilización en dietas de animales domésticos.

Por otro lado, el sector industrial local debe cumplir con leyes ambientales cada vez más estrictas, que lo obligan a invertir gran parte de su presupuesto y recursos en la disposición de residuos orgánicos. Existen numerosos subproductos y residuos de la industria de alimentos con perfiles de nutrientes similares a las fuentes de alimento convencionalmente utilizadas en dietas para animales domésticos, convirtiéndolos en candidatos potenciales para reemplazar aquellas parcial o completamente en dietas para aves. Grandes cantidades de estas fuentes potenciales de nutrientes, especialmente

fuentes proteicas, son producidas y descartadas diariamente a nivel mundial (Kherrati et al., 1998). La industria de procesamiento de pollos de engorde en Puerto Rico produce anualmente aproximadamente 35,000 toneladas de aguas usadas. El tratamiento posterior de estas aguas produce alrededor de 30,000 toneladas por año de un lodo viscoso con un contenido de humedad aproximado de 75%, siendo éste el nivel mínimo requerido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) para permitir su disposición en los rellenos sanitarios (vertederos) del país. Debido a que 33 de los 64 vertederos en Puerto Rico han sido clausurados en años recientes por incumplimiento de las regulaciones de la EPA (ADS, 2004), es urgente que se encuentren alternativas biológicamente seguras y costo-efectivas para transformar este lodo en un recurso viable. En vista de la composición química (Cuadro 1, Rodríguez et al., 2003) y el volumen disponible de este subproducto, se llega a la hipótesis de que podría ser útil como una fuente de alimento en dietas para pollos de engorde, reemplazando parte de los ingredientes tradicionalmente utilizados en dichas dietas como el maíz y la harina de soya. Con el fin de obtener un producto inocuo y preservar nutrientes de este lodo, experimentos previos con lodo han demostrado que es posible acidificar o fermentar el mismo utilizando cultivos de bacterias productoras de ácido láctico (BPAL) y melaza de caña como fuente de carbohidratos (Rodríguez et al., 2003; Pagán et al., 2004; Sanabria et al., 2004). El lodo acidificado o fermentado puede ser preservado por periodos de tiempo prolongados sin afectar su contenido de nutrientes (Rodríguez et al., 2003; Pagán et al., 2004; Sanabria et al., 2004). Sin embargo, al momento no existe información sobre el uso del lodo de industria avícola fermentado (LIAF) como ingrediente en dietas para aves. La conversión de este residuo orgánico

en un producto inocuo y con un valor nutritivo adecuado (i.e. proteína asimilable) representa un desafío que necesita atención. Esta investigación se diseñó con el objetivo de utilizar el LIAF como ingrediente fijo en dietas para pollos de engorde y evaluar su inclusión a dos niveles sobre el desempeño productivo, la composición de la canal y la calidad de la carne de pollos de engorde.

Cuadro 1. Composición Química del Lodo de Aguas Usadas de Una Planta Procesadora de Pollos de Engorde†.

| Característica | Valor (%) |
|-------------------------------|-----------|
| Humedad | 80.35 |
| Materia Seca | 19.65 |
| Materia Orgánica ¹ | 94.93 |
| Cenizas ¹ | 5.07 |
| Proteína Bruta ¹ | 35.94 |
| Grasa ¹ | 40.35 |
| NH ₃ -N | 0.07 |
| NH ₃ /N Total | 1.25 |

¹En base a materia seca

(Adaptado de Rodríguez et al., 2003)

†Industrias Avícolas de P.R., Coamo, Puerto Rico

REVISIÓN DE LITERATURA

1. Residuos Orgánicos en la alimentación de aves

En años recientes la producción de pollos de engorde se ha convertido en una operación avícola especializada a nivel mundial (Hossain et al., 2003). El consumo mundial de carne de pollo y huevos ha aumentado dramáticamente durante los últimos 50 años y continúa aumentando por encima del crecimiento poblacional humano (Hossain et al., 2003). Además, ha ocurrido mejoramiento genético en el desempeño productivo de los pollos de engorde desde la década de los años cincuenta (Stevens, 1991). Por ejemplo, hoy día los pollos de engorde alcanzan un peso de matanza de 1800-2000g en 42 d (Church et al., 2002) comparado con 49 d en 1990 y 100 d en 1950 (Stevens, 1991). Pollos de crecimiento rápido requieren alimentos de buena calidad con niveles altos en energía, proteínas, vitaminas y minerales esenciales para maximizar el crecimiento y las características de la canal (Kherrati et al., 1998; Hossain et al., 2003). En el caso de la industria de pollos de engorde, entre 60-70% de los costos totales de producción son atribuidos al costo del alimento (North, 1984; Hossain et al., 2003). La proteína es el nutriente más costoso en la dieta. La disponibilidad de ingredientes para dietas a precios razonables ha sido la preocupación principal de la industria avícola a nivel mundial (Kherrati et al., 1998), ya que humanos y otros animales compiten ecológicamente por las mismas fuentes de alimento. Ejemplo de esto son los granos cereales (Hossain et al., 2003). Los cultivos agrícolas destinados a la alimentación animal son escasos en muchos países, especialmente en aquellos en desarrollo, por lo que muchas veces deben ser importados (Kherrati et al., 1998). La producción avícola puede no ser remunerativa si los ingredientes convencionales, usualmente costosos, no

pueden ser reemplazados por otros no convencionales en las dietas de pollos de engorde (Hossain et al., 2003). Debido a esto, se ha observado una tendencia reciente entre la comunidad científica de evaluar ingredientes no tradicionales para uso en dietas de animales que representen fuentes de proteína a bajo costo, con el fin de maximizar la rentabilidad de la producción avícola (Hossain et al., 2003).

Diversos subproductos industriales han sido evaluados alrededor del mundo en los últimos años para su utilización como ingredientes no-tradicionales en dietas para aves. Ologhobo, (1988) investigó el efecto de la inclusión de gallinaza seca y lodo activado de alcantarillado seco (LAAS) sobre las características de la canal y la calidad de la carne de pollos de engorde. Los pollos parrilleros de 1d de nacido fueron alimentados durante 9 semanas con una de siete dietas isoproteicas e isocalóricas entre las que figuraban una control, dos con 5 ó 10% gallinaza, dos con 5 ó 10% LAAS y dos con 5 ó 10% de una mezcla de gallinaza seca y LAAS a razón 1:1. Ologhobo demostró que las dietas conteniendo 10% LAAS y 10% mezcla gallinaza/LAAS presentaron porcentajes de rendimiento de canal desplumada (NYD) y para molleja similares entre sí, pero significativamente mayores al resto de las dietas, las cuales no difirieron entre sí en porcentaje de NYD. No se observaron diferencias significativas atribuidas a los siete tratamientos para rendimiento de canal (RC) ni para los rendimientos de los principales cortes de carne de pollo (pechuga, caderas, muslos, torso, y alas). Se verificaron diferencias significativas en rendimiento de carne total consumible entre tratamientos. Los animales alimentados con dietas de 10% LAAS y 10% de la mezcla de gallinaza/LAAS presentaron valores de dicho rendimiento similares entre sí, pero significativamente mayores al control y a las dietas con 5 y 10% gallinaza seca. La

dieta con 10% gallinaza seca fue significativamente inferior al resto de las dietas en este criterio. No se encontraron diferencias significativas entre dietas respecto a textura, terneza y jugosidad de la carne. Sin embargo, los puntajes de sabor indicaron una clara preferencia por la carne de pollos alimentados con la dieta control, mientras que la carne de las dietas con 10% gallinaza seca y 10% LAAS resultaron menos palatables.

Odunsi (2003) investigó la utilización de una mezcla de subproductos de macelos compuesta de sangre bovina y digesta de rumen a razón de 1:1 (peso:peso). Esta mezcla, secada y convertida en una harina mostró un contenido de proteína bruta (PB) de 46.1%. La misma se evaluó como sustituto de las harinas de maní y de pescado, ingredientes comúnmente utilizados en dietas para gallinas ponedoras. Con este propósito, Odunsi evaluó cinco dietas isoproteicas e isocalóricas: la dieta 1 constituía el control; las dietas 2 y 3 contenían 5 y 10% de la harina de sangre y digesta, sustituyendo 28 y 56%, respectivamente, de la harina de maní en la dieta control; y las dietas 4 y 5 contenían 5 y 10% de la harina de sangre y digesta, y sustituían 50 y 100%, respectivamente, de la harina de pescado en la dieta control. A pesar que la utilización de la harina de sangre y digesta resultó en una mejora de los índices de yema y de unidades *Haugh*, se observó una reducción significativa en el consumo de alimento, la frecuencia de postura (*Hen-day production*), el peso del huevo y dureza del cascarón en las aves que recibieron dicha harina.

Awoniyi et al. (2003) investigaron la utilización de harina de larvas de mosca (HLM) como sustituto de la harina de pescado en dietas para pollos de engorde. La HLM presentó un análisis proximal de 55.1% PB y 20.7% grasa cruda. Cinco dietas isoproteicas e isocalóricas conteniendo HLM en sustitución de 0, 25, 50, 75 y 100% de

la harina de pescado fueron suministradas a pollos de la línea ANAK-3000 desde las tres semanas de edad hasta la edad de matanza (9 semanas). No se observaron diferencias significativas para ganancia en peso, consumo de alimento (CA), ni conversión de alimento (CAL) entre tratamientos durante el periodo de 3 a 6 semanas de edad. Sin embargo, durante el periodo desde las 3 hasta las 9 semanas, dichas variables fueron significativamente influenciadas por el tratamiento: La dieta con un 25% de harina de pescado reemplazada por HLM resultó ser la más eficiente en términos de ganancia en peso semanal promedio y eficiencia de utilización proteica semanal promedio. Estos autores encontraron, además, que los valores para el peso vivo, peso desplumado, y peso eviscerado a las 9 semanas, así como el peso, largo y ancho relativos de los músculos pectorales y gastrocnemius de los pollos no fueron significativamente influenciados por la dieta. Se concluyó que la HLM sirve como sustituto de bajo costo de la harina de pescado en la alimentación de pollos de engorde.

Bozkurt et al. (2004) evaluaron el efecto de la utilización de harinas de carne y de hueso de res en dietas para pollos de engorde sobre su desempeño productivo. Cuatro dietas isoproteicas e isocalóricas conteniendo distintos niveles de harina de carne y hueso (0, 2.0, 3.5 y 5.0%) fueron suministradas a pollos de engorde (Ross-308) de 22 d de edad hasta la edad de matanza (42 d). La inclusión del aludido ingrediente en la dieta no afectó significativamente el peso corporal vivo (PEC), ganancia en peso, CA, CAL, ni la mortalidad. Tampoco se observaron diferencias significativas para RC, por lo que queda demostrada la viabilidad de la utilización de este producto en dietas para pollos de engorde. Estos autores mencionan también que la utilización de la harina de carne y hueso tiene implicaciones económicas considerables puesto que, a medida

que el nivel de inclusión de esta harina en la dieta aumentaba, disminuía la necesidad de incluir otros tres ingredientes que suelen ser relativamente costosos (harina de soya, fosfato dicálcico y grasa suplementaria).

A pesar del uso potencial de residuos orgánicos en dietas para aves, su utilización a nivel práctico se ve influenciada por la naturaleza perecedera de los subproductos. La vida útil de estos subproductos una vez expuestos al aire es corta. El uso de técnicas utilizando procesos biotecnológicos resultan las más interesantes para evitar su deterioro y preservar sus nutrientes (Shih, 1987; Sudradjat, 1990; Shih, 1993). Además, dichas técnicas mejoran el control de inocuidad en los alimentos y los sistemas de alimentación. Estas técnicas no sólo ayudan a preservar los residuos orgánicos, sino que los transforman en productos nuevos a costos relativamente bajos (Kherrati et al., 1998). La fermentación anaeróbica ha sido utilizada tradicionalmente como una manera de reducir el volumen y mejorar el manejo de residuos orgánicos a la vez que reduce olores. Además, este proceso requiere poco espacio y puede tratar residuos tanto líquidos como viscosos (Salminen y Rintala, 2002). En adición, la liberación al aire, agua o suelo de productos secundarios (e.g. gas metano), generados durante el proceso, puede ser controlada (Shih, 1987; 1993). La mayoría de los nutrientes permanecen en el material tratado y pueden ser recuperados para su uso en la agricultura y como alimento (Shih, 1987; Sudradjat, 1990; Shih, 1993). De hecho, se ha encontrado que los productos de valor añadido obtenidos a través del proceso de fermentación anaeróbica son más adecuados en su composición química y más aptos para ser utilizados en dietas para animales que aquellos obtenidos por procesos de más alto costo, como por ejemplo el secado (Kherrati et al., 1998).

Agentes patógenos como bacterias, parásitos y virus pueden constituir un riesgo serio a los animales y a la salud pública si los residuos sin tratar de plantas procesadoras de aves son utilizados en la agricultura o en la alimentación animal (Shih, 1987; Marchaim et al., 1991; Shih, 1993). La fermentación anaeróbica destruye patógenos, siendo la fermentación termofílica usualmente más efectiva que la mesofílica (Shih, 1987). Se ha observado la erradicación completa de coliformes fecales y *Salmonella* en digestores termofílicos (50 °C), mientras que digestores mesofílicos (35 °C) los destruyeron de manera parcial (Shih, 1987; 1993). Ooquistes de *Eimeria tenella*, un protozooario patógeno que causa coccidiosis en aves, fueron inactivados en un 99.9% en digestores termofílicos y en un 90-99% en digestores mesofílicos. Además, condiciones termofílicas y mesofílicas han demostrado reducir el conteo de esporas fúngicas en gallinaza en un 99-100% y 94-98%, respectivamente (Shih, 1987; 1993). Los virus pueden tolerar las condiciones en un digestor anaeróbico de manera considerablemente mejor que las bacterias (Turner y Burton, 1997), aunque el tratamiento termofílico (a 55 °C) con un tiempo de exposición apropiado destruye muchos de los virus presentes en el medio (Salminen y Rintala, 2002). La fermentación anaeróbica a 50 °C destruye el virus causante de la enfermedad de Marek (Shih, 1993). La destrucción de patógenos en la fermentación anaeróbica depende de otros factores además de la temperatura (Salminen y Rintala, 2002). Owens y Mendoza (1985) reportaron que microorganismos patógenos (*Salmonella*) y toxigénicos (*Clostridium* y *Staphylococcus*) son sensibles a niveles de pH bajos.

Wooley et al. (1981), plantearon la posible utilización de cepas de *Lactobacillus* en la fermentación de residuos de industria de alimentos como una manera segura y

conveniente de reciclar estos residuos a nivel de finca y su utilización como ingredientes en dietas para animales. Para que una fermentación utilizando BPAL genere suficiente ácido láctico y alcance un pH bajo necesario para preservar la materia prima e inhibir el crecimiento de patógenos hay que cumplir ciertas condiciones. Para lograr las mismas, la mayoría de los productos requieren un inóculo de BPAL activo, un ambiente anaerobio y una fuente de carbohidratos disponible y en cantidades suficientes (Deshmukh y Patterson, 1997a). Kherrati et al. (1998) utilizaron inóculo de *Lactobacillus plantarum* y melaza de caña como fuente de carbohidratos en la fermentación anaeróbica de sólidos orgánicos provenientes de una planta procesadora de pollos de engorde a razón de 85:15 (peso de subproducto:peso de melaza). Estos investigadores encontraron que los patógenos representados por coliformes fueron virtualmente eliminados en poco tiempo (contajes menores de 1 ufc/g después de 10 días de fermentación). De igual modo, otros microorganismos peligrosos incluyendo *Clostridium* y *Salmonella*, tampoco han sobrevivido en subproductos sometidos a fermentación láctica (Shih, 1993; Deshmukh y Patterson, 1997a; 1997b; Kherrati et al., 1998). Cabe señalar que bacterias del género *Salmonella*, incluyendo *S. pullorum* y *S. gallinarum* son patógenas para las aves de corral, e inclusive éstas literalmente prevenían la producción avícola intensiva a gran escala anterior al desarrollo de técnicas de monitoreo y erradicación de las mismas en programas de animales reproductores (Whiteman y Bickford, 1988). La presencia de bacterias del género *Clostridium* en el alimento de las aves es particularmente peligrosa debido a que éstas, especialmente *Clostridium botulinum*, producen exotoxinas responsables de la enfermedad de botulismo. Se trata de un tipo de envenenamiento por alimentos que puede causar

parálisis e incluso la muerte tanto en aves como en humanos que consuman aves contaminadas (Whiteman y Bickford, 1988; Solomon et al., 1999). La exotoxina producida por *Clostridium botulinum* es tan letal que se estima que un gramo de ésta puede matar hasta un millón de personas (Solomon et al., 1999). Afortunadamente, como muchas exotoxinas, aquella que causa el botulismo puede ser inactivada por una combinación de tiempo y temperatura, destruyéndose, por ejemplo, al calentar el medio a 80 °C por 10 minutos o hirviendo el medio de 3 a 4 minutos (Solomon et al., 1999).

Agentes probióticos son microorganismos y sustancias químicas que, al ser ingeridos en cierta cuantía por los animales, ejercen beneficios a la salud adicionales a los inherentes a la nutrición básica (Guarner y Schaafsma, 1998). Se ha demostrado el efecto probiótico de algunas bacterias que al producir ácidos (como acético y láctico) y otros compuestos (e.g., bactericinas) que inhiben el crecimiento de patógenos y la producción de toxinas por parte de éstos (Honma et al., 1987; Rolfe, 2000). La suplementación dietaria de BPAL en aves, particularmente con bacterias del género *Lactobacillus*, ha demostrado tener efectos beneficiosos en la resistencia de éstas a agentes infecciosos tales como *Escherichia coli* (Jin et al., 1996), *Salmonella sp.* (Pascual et al., 1999), *Campilobacter sp.* (Stern et al., 2001) y *Eimeria acervulina* (Dalloul et al., 2003). Entre los mecanismos propuestos para la inhibición de patógenos por parte de los microorganismos probióticos se incluyen la competencia por nutrientes, la producción de condiciones y compuestos anti-microbianos (e.g., ácidos grasos volátiles y bactericinas) y pH bajo, la competencia por lugares de anclaje en el epitelio intestinal y estimulación del sistema inmune (Rolfe, 2000). La exclusión de bacterias patógenas es especialmente importante en pollos parrilleros recién eclosionados

(Strompfova et al., 2005). En los métodos modernos de producción de parrilleros, el pollito recién eclosionado no entra en contacto con las heces maternas, por lo que no está presente el espectro materno de antígenos, lo cual hace a los pollitos en estas condiciones de producción más vulnerables a patógenos que aquellos bajo condiciones ambientales más naturales (Strompfova et al., 2005). Algunos estudios en pollos de engorde han reportado una respuesta positiva a la suplementación dietaria con agentes probióticos (Mohan et al., 1996; Midilli y Tuncer, 2001). La ingestión de ácidos orgánicos tiende a reducir la producción de componentes tóxicos por bacterias y la colonización de la pared intestinal por patógenos, previniendo así el deterioro de las células epiteliales (Langhout, 2000).

Kherrati et al. (1998) plantean que la utilización de BPAL en la fermentación anaeróbica de subproductos de la industria de alimentos puede constituir un método prominente en la utilización de estos subproductos como ingredientes en dietas para aves. Kherrati et al. (1998) concluyeron que la biotransformación mediante fermentación puede constituir un procedimiento conveniente para el reciclaje de grandes cantidades de residuos provenientes de la industria de alimentos (e.g. plantas procesadoras de pollos de engorde, macelos, etc.) produciendo de este modo productos con valor añadido. Señalaron además, que todos los procesos biológicos que envuelven fermentación son similares y enfatizan aspectos importantes que hacen de la fermentación anaeróbica un medio de biotransformación atractivo como lo son: (1) la inhibición de microorganismos indeseables en los productos, tanto patógenos como aquellos envueltos en el deterioro del producto; (2) la transformación de algunos componentes del alimento, como el nitrógeno no-proteico, lo que mejora la calidad

nutricional de los productos; y (3) la remoción de olores típicos de los desperdicios de plantas procesadoras de pollos o macelos como vísceras y sangre (Kherrati et al., 1998).

A raíz de estas consideraciones, la transformación y preservación de residuos provenientes de la industria de alimentos a través de la fermentación microbiana utilizando microorganismos ácido-productores (e.g. BPAL) aparenta ser la técnica más indicada para reciclar esta clase de residuos.

El costo de la fermentación anaeróbica depende grandemente de las circunstancias locales, incluyendo costos de construcción y mano de obra, capacidad de procesamiento de la planta, posibilidades de recuperación de energía (mediante la producción de bio-gas), costos de la energía eléctrica, de la tierra y de mercadeo y precios recibidos por el producto fermentado. La calidad del material fermentado determinará grandemente su potencial de uso y venta, así como su precio (Salminen y Rintala, 2002).

Adams et al. (1987) informaron sobre la digestión anaeróbica de varios subproductos generados por operaciones agroindustriales y su utilización, principalmente como fuentes proteicas en dietas para peces y otros animales. Por el proceso de fermentación de esos subproductos se ha logrado la obtención de un producto microbianamente estable y la preservación de nutrientes para su uso posterior por los animales (Ahmed y Mahendrakar, 1996). Ensilaje de pescado fermentado con melaza de caña e inóculo de BPAL se ha utilizado con éxito como fuente de proteína en dietas de tilapia (*Oreochromis niloticus*), (Fagbenro et al., 1994). En el citado experimento, el reemplazo parcial de la harina de soya (un 50%) con ensilaje de pescado (fermentado con BPAL) en forma seca no afectó la ganancia de peso ni la tasa

de crecimiento en dimensiones corporales de juveniles de *Oreochromis niloticus* y *Clarias gariepinus*. Evers y Carroll (1998) demostraron que residuos de camarones preservados en sal, ensilados con paja de gramíneas y melaza pueden contribuir moderadamente en la fracción proteica de dietas para rumiantes. Deshmukh y Patterson (1997b) realizaron un experimento para sustituir parte de los ingredientes principales (maíz y harina de soya) en dietas de pollos parrilleros con uno de dos subproductos fermentados, consistiendo el primero de pollitos machos sacrificados; y el segundo de una mezcla de pollitos machos y residuos de cascarón de huevos a razón de 60:40 (peso:peso), obtenidos de una planta de incubación de gallinas ponedoras. Ambos subproductos fueron fermentados con un inóculo de BPAL por 21 d utilizando residuos de una fábrica de chocolate como fuente de carbohidratos, a razón de 15% en el caso del subproducto de los pollitos solos y 16.7% en el caso del subproducto 60% pollitos y 40% cascarones. Luego de la fermentación los productos fueron secados, molidos y analizados para contenido de nutrientes. Los pollos parrilleros fueron alimentados hasta los 42 d de edad con una de cinco dietas: 5 y 10% del subproducto de pollitos solamente, 2.5 y 5% del subproducto de pollitos y cascarones y una dieta control. Se encontró que las dietas con inclusión de subproductos fermentados de la planta de incubación resultaron en PEC, ganancia en peso y CAL similares a la dieta control. Además, las dietas utilizando los subproductos en cuestión no tuvieron efectos significativos sobre las características de la canal, excepto peso de canal y rendimiento de alas en las cuales la dieta con 5% de subproducto fermentado de pollitos y cascarones superó significativamente a la dieta control. Se concluyó que estos subproductos fermentados pueden servir como ingredientes dietarios al mantener el

desempeño productivo y rendimiento de canal (RC) de pollos parrilleros iguales o mejores que una dieta convencional a base de maíz y harina de soya.

En Puerto Rico se ha realizado experimentación de esta índole en cerdos y aves utilizando lodo de una planta procesadora de atún. En estudios iniciales se encontró que el producto fermentado puede ser incorporado a niveles bajos (5 a 10%) en dietas de destete y crecimiento para cerdos sin afectar el desempeño productivo ni el grosor de la grasa subcutánea (Sánchez et al., 2001). De la misma manera, Santiago et al. (2004) evaluaron el efecto de la inclusión en dietas para gallinas de Guinea (*Numida meleagris*) de un subproducto fermentado de la industria procesadora de pescado sobre el desempeño productivo y la calidad de la canal. No se encontró diferencias significativas entre dietas con 5 y 10% de adición de dicho subproducto y una dieta control con respecto al rendimiento porcentual de la canal, de los cortes principales y las proporciones de carne, piel y hueso de estos cortes. Sin embargo, la dieta con 10% del subproducto fermentado de pescado redujo significativamente el PEC a los 84 d de edad y el porcentaje de grasa abdominal comparado con las dietas control y de 5% del subproducto. Se concluyó que la inclusión de hasta un 5% del subproducto fermentado de pescado en dietas para gallinas de Guinea no tiene un efecto detrimental sobre el desempeño productivo ni en la calidad de la canal, por lo que este subproducto puede ser satisfactoriamente utilizado como fuente proteica a bajos niveles de inclusión.

Se han realizado varios estudios con el objeto de evaluar la viabilidad de convertir el lodo proveniente de las aguas usadas de plantas de procesamiento de pollos de engorde en un recurso potencial para la alimentación animal. Waldroup et al. (2004) realizaron estudios preliminares con un subproducto proveniente de aguas de lavado de

una planta procesadora de pollos de engorde no fermentado mezclado con sangre. Esta mezcla, a la que estos autores denominaron PRO*CAL™, mostró un contenido de PB de 62.35% y de grasa bruta de 22.15%. Con el objeto de evaluar la viabilidad del PRO*CAL™ como ingrediente en dietas para pollos de engorde, dietas conteniendo niveles de inclusión de PRO*CAL™ de 0 y 5% fueron formuladas para uso durante un periodo de 0 a 21 d y cubrir los requerimientos mínimos de nutrientes especificados por el NRC (1994) ajustadas a una EM de 3,080 kcal/kg. Se encontró que la dieta con un nivel de inclusión de 5% PRO*CAL™ no afectó el PEC, la mortalidad, ni el tamaño de los órganos internos. Sin embargo, los pollos bajo dicha dieta mostraron una mejoría en la CAL. Estos autores concluyen que este subproducto puede ser una fuente efectiva de proteína y energía en dietas para pollos de engorde. Fritts y Waldroup (2004) evaluaron la utilización del PRO*CAL™ para pollos de engorde durante la etapa de terminado (42 a 56 d) en dietas a base de maíz, soya y PRO*CAL™ con niveles de inclusión a manera substitutiva de este último de 0, 2.5, 5.0 y 7.5%. Ocho jaulas de 70 pollos machos por tratamiento fueron alimentados con estas dietas. No se encontraron diferencias significativas en la ganancia en peso, CAL, mortalidad, RC o rendimiento de pechuga. Fritts y Waldroup concluyen que la utilización de PRO*CAL™ hasta un 7.5% en la dieta de pollos machos, durante la etapa en cuestión, no tuvo efectos adversos en el desempeño productivo ni las características de la canal. Mencionan, además, que este subproducto tiene el potencial de convertirse en una fuente de proteína y energía efectiva en dietas para aves de corral.

Rodríguez et al. (2003) llevaron a cabo dos experimentos a nivel local con el fin de evaluar la fermentación anaeróbica y la acidificación directa como métodos para

convertir el lodo de industria avícola en un ingrediente potencial para uso en dietas de animales. En ambos experimentos el lodo y los aditivos de prueba fueron colocados en micro-silos de polietileno (capacidad de 1 kg) adaptados con válvulas de escape de gases y mantenidos a temperatura ambiente (28-30°C) hasta ser abiertos. En el experimento 1 se mezcló lodo de industria avícola con melaza de caña a razón de 0 (control), 5, 10 y 20% (peso/peso). A cada tratamiento se le añadió un inóculo comercial de BPAL suficiente para proveer 10^6 ufc/g de material fresco antes de ser colocado en el micro-silo. Se abrieron micro-silos de cada tratamiento después de dos periodos de ensilamiento (0 y 14 d) y se analizó el material fermentado para pH, composición química, y productos de fermentación. Los resultados demostraron que es posible fermentar el lodo de industria avícola con la adición de una fuente de carbohidratos y BPAL. Se observó que las características de fermentación del lodo de industria avícola tienden a mejorar a medida que aumenta el contenido de melaza de caña en la mezcla y que un 10% de dicha inclusión parece ser la mínima requerida para lograr una fermentación estable.

En el experimento 2, el lodo de industria avícola fue fermentado con inclusión de melaza de caña a niveles de 0, 10 y 20% o acidificado directamente con ácido acético aplicado al 15% (volumen/volumen). Micro-silos de cada tratamiento fueron abiertos a los 14 d de fermentación o a los 42 y 62 d de acidificación y el producto analizado como en el experimento anterior. Otra vez se observó que las características de fermentación del lodo mejoraron según aumentaba el contenido de melaza en la mezcla. El pH, la proporción de NH_3/N -total y el contenido (en base a materia seca) de los ácidos acético, propiónico y butírico del lodo fermentado con 20% de melaza de

caña fueron significativamente menores que los del control y del lodo fermentado con 10% de melaza. Por otra parte, el contenido de ácido láctico fue significativamente mayor según aumentaba el nivel de adición de melaza de caña en la mezcla. Por lo que respecta al lodo acidificado con ácido acético, se encontraron un contenido de ácido láctico y proporción NH_3/N -total significativamente menores comparado con el lodo fermentado. Sin embargo, el contenido de ácido acético fue lógicamente mayor en el lodo acidificado con este mismo ácido. Concluyen estos autores que el lodo de industria avícola se presta para fermentarse en 14 d con un mínimo de 10% de melaza de caña utilizando BPAL o puede ser acidificado con ácido acético por 42 ó 62 d para preservar su perfil de nutrientes.

Sanabria et al. (2004) realizaron experimentos similares con el propósito de determinar el nivel óptimo de adición de melaza de caña como fuente de carbohidratos sobre las características fermentativas del lodo de la industria avícola. Estos investigadores evaluaron cinco niveles de inclusión de melaza (0, 5, 10, 20 y 30%) en el lodo. Todas las mezclas fueron inoculadas con BPAL a razón de 10^6 ufc/g de material fresco. Muestras de lodo con cada nivel de melaza fueron analizadas luego de seis periodos de fermentación (0, 4, 7, 9, 14 y 21 d). En esta experiencia se encontró que las mezclas requieren un nivel mínimo de melaza de caña de 10% para producir una fermentación estable. Se consideraron como criterios de una fermentación de buena calidad los mismos utilizados por Rodríguez et al. (2003): un valor de pH del producto final igual o menor de 5.0, un contenido de ácido láctico mayor de 1.5% y de ácido acético menor de 0.8% (ambos en base de materia seca). Se observó que según aumentaba el nivel de melaza en la mezcla, los contenidos de materia seca y materia

orgánica también aumentaban, mientras que el contenido de PB en el lodo fermentado disminuía. El contenido de ácido propiónico fue menor en los tratamientos de lodo con 20% y 30% melaza de caña.

Pagán et al. (2004) evaluaron el efecto de la adición del inóculo de BPAL sobre las características de fermentación del lodo de la industria avícola. Utilizaron lodo de industria avícola mezclado con 20% de melaza (peso/peso) y sometido a dos tratamientos: sin inocular (control) ó con inóculo de BPAL aplicado a razón de 10^6 ufc/g de material fresco. Las mezclas fueron fermentadas en micro-silos (1.2 kg de capacidad) bajo condiciones anaeróbicas a temperatura ambiente (28-30 °C). Se colectaron tres muestras por tratamiento a los 0, 4, 8, 12, 15 y 21 d y analizadas para pH, composición química, productos de fermentación y tipo de microorganismos presentes. El pH final del LIAF con o sin inóculo de BPAL fue similar (3.80 vs 3.87) luego de 21 d de fermentación. Al final del proceso de fermentación, las poblaciones de coliformes y BPAL difirieron poco entre ambos tratamientos, mientras que las poblaciones de hongos y levaduras fueron mayores en el LIAF con el inóculo de BPAL. La composición química del producto final no presentó diferencias entre tratamientos. Los contenidos de ácido láctico y acético fueron mayores para el lodo no inoculado comparado con el lodo conteniendo inóculo de BPAL. Sin embargo, los valores de ácido láctico de ambos tratamientos al final del periodo de fermentación fueron indicativos de un ensilaje de buena calidad. Estos autores concluyeron que la utilización del inóculo de BPAL puede no ser necesaria para obtener un producto estable en la fermentación del lodo de industria avícola si éste contiene 20% melaza de caña.

2. Factores que Afectan la Composición de la Canal y Calidad de la Carne

En animales destinados a la producción de carne, la composición de la canal puede variar debido a efectos genéticos, ambientales y nutricionales (Aberle et al., 2001). Algunas razas de animales crecen, se desarrollan y producen canales con características peculiares a la raza. Las variaciones fenotípicas de los animales tipo carne, se deben al genotipo, al ambiente, o a una interacción entre ambos. Tanto el genotipo como el ambiente son de gran importancia a la hora de determinar características en cualquier animal, como por ejemplo tamaño muscular y deposición de grasa, entre otras (Aberle et al., 2001). El genotipo de un animal provee el potencial de crecimiento y desarrollo necesarios, mientras que el ambiente maximiza o minimiza la realización de ese potencial (Stevens, 1991). Aunque el genotipo dicta la cantidad máxima de crecimiento y desarrollo posible, la nutrición, junto con otros factores ambientales, gobierna la tasa de crecimiento y el desarrollo alcanzable por el individuo (Sheridan, 1990; Stevens, 1991; Aberle et al., 2001). La interacción entre la genética y el ambiente se refiere a que un animal con determinado genotipo se desempeñará mejor en un ambiente que en otro (Sheridan, 1990; Stevens, 1991; Aberle et al., 2001). En una lista detallada de factores ambientales que pueden afectar el desempeño productivo de pollos de engorde presentada por Sheridan (1990) se incluyen el clima, localización geográfica, condiciones de manejo, nutrición y factores económicos (Stevens, 1991). Entre los factores que influyen criterios de calidad de la carne como sabor, terneza y jugosidad, el factor genético más importante lo es la especie, mientras que la alimentación es el factor ambiental más importante (Carmack et al., 1995).

Las condiciones ambientales bajo las cuales los animales son criados tienen una marcada influencia en la tasa de crecimiento y en la composición corporal (Aberle et al., 2001). Los animales de “sangre caliente” u homeotérmicos deben mantener una temperatura corporal relativamente constante. Bajo ciertas circunstancias, los animales deben disipar calor, mientras que en otras deben conservarlo y producir calor adicional para mantener una temperatura corporal constante. La pérdida de calor debe equiparar la producción calórica para mantener los procesos fisiológicos normales (Aberle et al., 2001). Condiciones ambientales bajo las cuales se hace necesaria generación o disipación de calor corporal para lograr la homotermia reducen la eficiencia en el crecimiento debido a aumentos en el requerimiento del organismo por energía dietaria. Esto puede repercutir también en cambios en la composición de la canal, dependiendo en la etapa de crecimiento del animal y la prioridad del tejido por los nutrientes disponibles (Aberle et al., 2001).

El surtido de nutrientes en la dieta tiene un efecto importante sobre la composición de la canal (Leeson y Summers, 2001). La utilización de los nutrientes ingeridos por el animal, es fraccionada entre los varios tejidos y órganos de acuerdo a la tasa metabólica e importancia fisiológica de los mismos (Aberle et al., 2001). El mantenimiento corporal y funcionamiento de sistemas fisiológicos vitales, como son los nervioso, circulatorio, digestivo y excretor, tienen precedencia sobre el crecimiento muscular y la deposición de grasa (Aberle et al., 2001). Cada animal tiene un requerimiento dietario de nutrientes, entre los que destacan las proteínas. Es necesaria una fuente adecuada y continua de proteína en la dieta de los animales para un crecimiento óptimo y mantenimiento de los tejidos (Aberle et al., 2001). Algunos de

los aminoácidos de los que están compuestas las proteínas corporales del animal no pueden ser sintetizados por éste, por lo que se denominan aminoácidos esenciales y deben ser provistos en la dieta (Leeson y Summers, 2001). Los animales que consumen proteínas por encima de sus requerimientos diarios no pueden sintetizar tejidos más allá de su potencial genético, mientras que un abasto dietético de proteínas inadecuado, con deficiencia de cualquiera de los aminoácidos esenciales o una severa desproporción de aminoácidos puede reducir la tasa de crecimiento (Aberle et al., 2001). A medida que los pollos de engorde aumentan en edad, la eficiencia en la utilización de alimento se reduce, por lo que es necesario reformular las dietas, ya que se hace importante la minimización de costos para lo cual se precisa mantener la relación óptima entre los nutrientes esenciales y la energía dietaria (Saleh et al., 2004b). Se ha encontrado que la deposición de grasa en la canal tiende a no variar mientras se mantenga constante la proporción de calorías respecto a proteínas en la dieta (Bartov et al., 1974; Marbray y Waldroup, 1981; Skinner et al., 1992; Saleh et al., 2004a). De lo contrario, la deposición de grasa en la canal aumenta a medida que los niveles de energía dietaria aumentan desproporcionadamente, por lo que es importante mantener un balance entre energía y proteína al formular dietas para aves (Saleh et al., 2004b). Saleh et al. (2004a) citan que Marbray y Waldroup (1981) establecieron cuatro factores nutricionales generales que influyen la deposición de grasa en pollos de engorde: (1) una reducción en la razón caloría:proteína generalmente previene una deposición de grasa corporal excesiva; (2) un desbalance de aminoácidos puede causar un incremento en la grasa corporal; (3) existe un efecto específico de la grasa dietaria en la

composición de la canal; y (4) también hay un efecto del nivel de energía dietaria en el grado de gordura de los pollos.

Deficiencias nutricionales serias pueden influenciar en las propiedades físicas del músculo. Además, cualquier factor que afecte la cantidad de glicógeno almacenado en el músculo al momento de la matanza puede tener un efecto fundamental en las propiedades físicas de la carne (Aberle et al., 2001). El sistema circulatorio en los animales exsanguinados pierde la capacidad de remover metabolitos de los tejidos. El ácido láctico se va acumulando en el músculo hasta que las reservas de glicógeno del mismo son agotadas (Aberle et al., 2001). El valor de pH del músculo postmortem disminuye a medida que la concentración de ácido láctico aumenta (Lawrie, 1991; Alvarado y Sams, 2000), por lo que músculos con mayores reservas de glicógeno tienden a presentar valores finales de pH más bajos. El pH es un atributo de calidad de la carne de suma importancia debido a que ejerce un efecto directo sobre otros atributos de calidad como lo son color y capacidad de retención de agua (CRA) (Warris y Brown, 1987; Aberle et al., 2001). Un pH bajo es responsable de la desnaturalización de proteínas miofibrilares en la carne, aumentando la pérdida de agua en el músculo (Van Laack et al., 2000) y la terneza de la carne (Sayre, 1970; Thompson et al., 1987). El agua existe en el músculo en tres formas: atada, inmóvil y libre. De toda el agua en el músculo, entre 4 y 5 % está atada. Ésta se mantiene fuertemente atada aún durante la aplicación de fuerza física o mecánica severa. La cantidad de agua inmovilizada en el músculo depende de cuánta fuerza física se aplica sobre éste. El agua libre es aquella unida al músculo solo por capilaridad (Aberle et al., 2001). La acumulación de ácido láctico temprano en el periodo postmortem puede afectar adversamente la calidad de la

carne (Aberle et al., 2001). El desarrollo de condiciones acídicas en el músculo antes que el calor natural y el calor del metabolismo restante sean disipados mediante el enfriamiento de la canal, causa desnaturalización de las proteínas musculares. La desnaturalización de las proteínas causa una pérdida en la solubilidad de las mismas, pérdida en la capacidad de enlace de las proteínas y de retención de agua, así como en la intensidad de la coloración muscular (Aberle et al., 2001). Una severa desnaturalización de las proteínas resulta en una pobre CRA, la cual es reflejada por un aumento en las pérdidas de agua por goteo y por cocción de la carne (Fernández et al., 1994). Esto reduce la cohesividad de productos cárnicos procesados (McKee y Sams, 1998), lo que resulta en calidad desmejorada y apariencia inaceptable de esos productos tanto por la industria como por los consumidores (Ferket y Foedgeding, 1994; citado por McKee y Sams, 1998).

Músculos que experimentan un descenso rápido y/o extenso del pH tienden a ser pálidos, con una CRA baja, lo que causa una apariencia húmeda en la superficie de los cortes de carne (Aberle et al., 2001). El color es una de las características en la carne más importantes que consideran los consumidores antes de hacer la decisión de comprar carne de pollo (Liu et al., 2003). La apariencia visual de un producto cárnico determina la respuesta y la decisión del consumidor de comprar e ingerir o no dicho producto (MacKinney et al., 1966). El color es un atributo clave de calidad de carne (Alvarado y Sams, 2000) y probablemente sea el factor de apariencia predominante en la determinación del consumidor a adquirir el producto (Kropf, 1980; Wulf y Wise, 1999). El color es estimado utilizando medidas de color de CIELAB: L* (palidez), a*(rojez) y b*(amarillez) (Wulf y Wise, 1999). La escala del valor L* va de cero a 100, en donde

un valor de cero es igual al color negro puro mientras que un valor de 100 representa un color blanco puro (Wulf y Wise, 1999). Colores más pálidos corresponden a valores L^* mayores (Barbut, 1993). Las escalas de valores a^* y b^* están compuestas por valores positivos y negativos. Mientras más negativo el valor a^* de un producto, más intensidad de color verde posee, mientras que un valor positivo indica intensidades de rojo. De la misma manera, valores negativos de b^* indican distintos matices de azul, mientras que valores positivos representan matices de color amarillo (Wulf y Wise, 1999). La desnaturalización de las proteínas sarcoplásmicas y el encogimiento de las miofibrillas que ocurren durante etapas tempranas postmortem pueden causar un aumento en la dispersión de luz resultando en carne más pálida (Bendall, 1973; Offer et al., 1989; Lawrie, 1991; Alvarado y Sams, 2000). El valor L^* está negativamente correlacionado con el pH, por lo que valores bajos de pH en el músculo están asociados a valores L^* altos y viceversa (Barbut, 1993; Owens et al., 1998). Se ha propuesto que esta relación es resultado de la desnaturalización parcial de proteínas causadas por la disminución del pH postmortem previo al rigor mortis (Alvarado y Sams, 2000). La dieta puede tener un efecto directo sobre el color de la carne. Realini et al. (2004) encontraron que novillos finalizados en pasturas presentaron músculos *longissimus* (lomillo) con valores L^* significativamente menores (más oscuros) y grasa subcutánea con valores b^* significativamente mayores (más amarilla) que aquellos finalizados en dietas a base de alimento concentrado (50% ensilaje de maíz, 28% afrecho de trigo, 18% maíz, y un suplemento incluyendo Rumensin[®] y urea). Estas diferencias en color se debieron posiblemente a los mayores niveles de carotenoides en el pasto (Realini et al., 2004).

La ternura de la carne es uno de los principales determinantes de calidad si no el más importante de todos (Deatherage, 1963; Cavitt et al., 2004). El valor de resistencia al corte (expresado como kg de fuerza ejercida sobre 1g de carne cocida) es utilizado corrientemente como una medida de ternura. A medida que los valores de resistencia al corte disminuyen, la ternura de la carne aumenta (Herring et al., 1967). Diversos factores afectan esta característica. La carne tiende a ser menos tierna a medida que incrementa la edad del animal (Huff y Parrish, 1993) y su actividad física (Lawlor et al., 2003). De manera similar, la ternura puede ser afectada por los procesos seguidos durante la matanza y post-matanza. La ternura de la carne aumenta al aumentar el tiempo transcurrido hasta que se deshuesa la canal (Stewart et al., 1984; Thompson et al., 1987; Liu et al., 2004; Thielke et al., 2005), el tiempo de añejado o acondicionamiento de la carne antes de congelarse (Thompson et al., 1987; Huff y Parrish, 1993; Thielke et al., 2005)) y la velocidad en llegar al rigor mortis (Stewart et al., 1984; Alvarado y Sams, 2000). El tiempo hasta que el músculo alcanza el estado de rigor mortis es menor mientras más bajo sea el pH muscular (Alvarado y Sams, 2000). Briskey (1964; citado por Mckee y Sams, 1998) postuló que un valor de pH bajo combinado con altas temperaturas resultado de un metabolismo rápido inmediatamente luego de la matanza, resulta en una desnaturalización miofibrilar extensa. Ha sido demostrado que dicho cambio está relacionado con la ternura de la carne de pollo (Sayre 1970; citado por Thompson et al., 1987).

El sabor de la carne depende de diversos factores entre los que figuran la especie, genotipo, tipo de músculo y edad del animal (Carmack et al., 1995). La alimentación es considerada uno de los factores ambientales principales en ejercer un

efecto en el sabor de la carne (Carmack et al., 1995). Es conocido que algunos ingredientes utilizados en las dietas, como son los subproductos de pescaderías pueden impartir sabores objetables a la carne de pollo (Fry et al., 1965; NRC, 1994; Leeson y Summers, 2001). Carrick y Hauge (1926; citado por Rojas et al., 1970) reportaron que la carne de pollos alimentados con una dieta conteniendo 2% de aceite de hígado de bacalao no presentó sabores objetables cuando se probó en estado caliente, pero al ser probada en estado frío se notaba un ligero sabor anormal. Al incluir 4% del aceite en cuestión en la dieta encontraron sabores objetables serios en la carne de los pollos. De manera similar, Cruickshank (1939; citado por Fry et al., 1965; y por Rojas et al., 1970) no encontró sabores objetables en carne de pollos alimentados con dietas que incluyeron 2% aceite de hígado de bacalao ó 2% aceite de hígado de bacalao más 15% harina de pescado de alta calidad. Sin embargo, otra dieta con 2% aceite de hígado de bacalao más 15% harina de pescado de baja calidad resultó en un ligero sabor objetable, pero en la carne oscura solamente. Sala y Chiarela (1963; citado por Fry et al., 1965; y por Rojas et al., 1970) no detectaron sabores objetables en la carne de pollos de engorde alimentados con 24% harina de anchoas, la cual aportaba a su vez un 1.4% de aceite de pescado a la dieta. Carlson et al. (1957) y Dansky (1962) encontraron de manera independiente que a medida que aumenta el nivel de aceite de pescado en la dieta se intensifica la presencia de sabores objetables hasta hacer la carne inaceptable para el consumo. Fry et al. (1965) por su parte, no encontraron sabores objetables al sustituir en un 100% la harina de soya en la dieta por harina de pescado. La literatura indica que: (1) la presencia de sabores objetables en la carne es aparente cuando los aceites de pescado constituyen entre 1.5 y 2.0% de la dieta, (2) la calidad de la harina de pescado

puede tener un efecto en el sabor y (3) el efecto del aceite de pescado en la formación de sabores objetables aparenta ser más marcado cuando se suministra solo que cuando está presente en la harina de pescado (Fry et al., 1965). Adicionalmente, se encontró que la carne de pollos alimentados con productos orgánicos o alimentados con granos bajo sistemas de pastoreo (“free-range” en inglés) presentó un sabor catalogado como “astringente” en una escala hedónica de panel sensorial comparado con la carne de pollos criados bajo un sistema de crianza convencional (Lawlor et al., 2003).

OBJETIVOS

1. Determinar el efecto del reemplazo parcial a tres niveles diferentes de los dos ingredientes principales, harina de maíz y harina de soya, utilizados comúnmente en dietas para pollos de engorde, con lodo de la industria avícola fermentado y desecado, sobre el desempeño productivo de las aves durante sus etapas de inicio, crecimiento y terminado.
2. Evaluar las características de la canal y la calidad de la carne de las aves alimentadas del modo arriba descrito.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo entre enero y marzo en las facilidades de la Granja Experimental de Animales Pequeños del Departamento de Industria Pecuaria, localizada en la Estación Experimental Agrícola, Subestación de Lajas. El experimento se dividió en tres fases: crianza, post-matanza y evaluación de atributos de calidad de la carne.

Preparación del Lodo de la Industria Avícola Fermentado y Desecado (LIAF).

Previo al experimento, lodo proveniente de una planta procesadora de pollos de engorde¹ fue fermentado utilizando el procedimiento biológico descrito por la FAO (1997) (Figura 1). El residuo original proveniente de la industria avícola consiste de un lodo viscoso que se genera del tratamiento de las aguas usadas durante la limpieza en el proceso de matanza de pollos de engorde. El material de desecho inicial en las aguas de lavado consiste de sangre, plumas, vísceras, grasa y material decomisado. Los componentes de mayor tamaño como partes y canales decomisadas, plumas, vísceras y grasa son separados por medio de un cedazo, recogidos y procesados para producir una harina conocida en inglés como “rendering” u “offal”, la cual se emplea como ingrediente en la alimentación animal. El resto de las aguas de lavado se depositan en una charca donde se trata químicamente de manera que el agua contenga el mínimo de sólidos requerido por la EPA para su posterior potabilización. Este tratamiento resulta en un lodo viscoso el cual, actualmente, es depositado en los rellenos sanitarios (vertederos) del país. El lodo fue mezclado manualmente con 20% de melaza de caña (peso/ peso) en fermentadores que consistían de recipientes de 55 gal., equipados con válvulas para el escape de gases. Cada recipiente fue inoculado con BPAL a razón de

¹ To-Ricos, Inc., PR-14 Km. 48.0, Bo. Asomante, Aibonito, Puerto Rico, 00705.

10^6 ufc/g de material fresco. El lodo fue fermentado bajo condiciones anaeróbicas a una temperatura entre 28 y 30 °C por 21 d. Luego de fermentado, el lodo fue secado en un horno de aire forzado a 70 °C, por 120 h. El lodo fermentado seco fue posteriormente sometido a varios ciclos de triturado y tamizado hasta obtener un tamaño de partícula menor ó igual a 2 mm de diámetro. Debido a la alta higroscopicidad del producto fermentado, el mismo fue almacenado en sacos plásticos sellados con el fin de evitar su endurecimiento y cambio en composición.

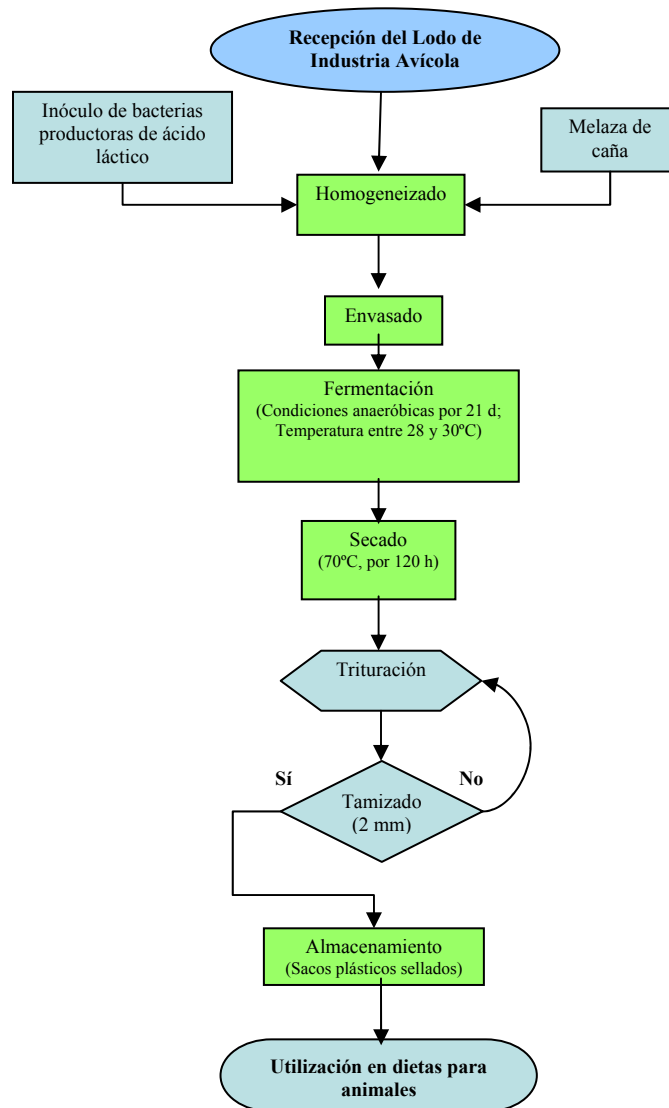


FIGURA 1. Proceso para fermentación anaeróbica del lodo de industria avícola. Adaptado de FAO (1997).

I- Fase de Crianza

Un total de 420² pollos de un día de edad, vacunados³, fueron utilizados para evaluar su desempeño productivo durante las etapas de inicio (1-14 d de edad), crecimiento (15-28 d de edad) y terminado (29-42 d de edad). Los pollos se criaron bajo condiciones estándares de manejo en un galpón avícola convencional. Se distribuyeron de manera aleatoria entre tres tratamientos en grupos de 14 aves por jaula. Los tratamientos experimentales consistieron en dietas isoproteicas e isocalóricas conteniendo distintos niveles de LIAF seco a razón de 0% (control), 5% y 10% en cada una de las etapas de crianza. La composición química del LIAF, analizada en un laboratorio comercial⁴, se muestra en el Cuadro 2. La gran diferencia en contenido de grasa de este material y el lodo caracterizado en el Cuadro 1 (proveniente de otra planta procesadora de pollos de engorde) se debe a la separación del “offal” en el caso presente versus su inclusión en aquel lodo. Los nutrientes provistos por el subproducto fermentado proveyeron parte de la energía y proteína requerida por las aves.

²Ross-308

³ Vacunados contra viruela, Marek, Newcastle, bronquitis infecciosa y enfermedad de infecciosa de la Bolsa de Fabricio (Gumboro).

⁴ Dairy One Forage Laboratory, 730 Warren Road, Ithaca, NY 14850

Cuadro 2. Composición Química del Lodo de la Industria Avícola Fermentado y Desecado.

| Componentes | Según formulado | Base materia seca |
|--------------------|----------------------------|------------------------------|
| Humedad (%) | 12.80 | 0.00 |
| Materia Seca (%) | 87.20 | 100.00 |
| Proteína Bruta (%) | 17.20 | 19.80 |
| Grasa Bruta (%) | 1.70 | 1.90 |
| EM (Mcal/kg) | 1.32 | 1.51 |
| Calcio (%) | 1.14 | 1.31 |
| Fósforo (%) | 0.44 | 0.50 |
| Magnesio (%) | 0.35 | 0.40 |
| Potasio (%) | 3.26 | 3.74 |
| Sodio (%) | 0.12 | 0.13 |
| Hierro (ppm) | 1,820.00 | 2,080.00 |
| Zinc (ppm) | 243.00 | 279.00 |
| Cobre (ppm) | 45.00 | 52.00 |
| Manganeso (ppm) | 49.00 | 56.00 |
| Molibdeno (ppm) | 1.70 | 1.90 |

Las dietas fueron formuladas⁵ de acuerdo a los requerimientos nutricionales establecidos por el “National Research Council” (NRC, 1994) para cada etapa de cría (inicio, crecimiento y terminado) de pollos de engorde. La composición química y nutricional de las dietas experimentales se presenta en el Cuadro 3.

La dieta control fue formulada con los ingredientes típicos utilizados en las operaciones comerciales de crianza: harina de soya (43.9 % PB), harina de maíz (7.3 % PB), aceite vegetal, fosfato dicálcico, carbonato calizo, sal, y premezcla de vitaminas y minerales⁶. En dos de los tratamientos se utilizó el LIAF sustituyendo parte de los ingredientes típicos mencionados anteriormente.

⁵ Least Cost Formulation Concept4 – S. Version 4.01. Creative Formulation Concepts, LLC. 1831 Forest Drive Suite H. Annapolis, Maryland 21401.

⁶ Precision Microblenders Broiler Vitamin and Mineral Pre-mix, Precision Microblenders Inc. Ciales, P.R. 00638.

Cuadro 3. Composición Nutricional y Química de las Dietas Experimentales.

| Ingrediente | Inicio (0-14 días) | | | Crecimiento (15-28 días) | | | Terminado (29-42 días) | | |
|---------------------------------------|-----------------------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|---------------------------|--------|--------|
| | (%) | | | | | | | | |
| Harina de Maíz | 49.65 | 43.36 | 38.55 | 59.87 | 54.34 | 51.59 | 66.90 | 61.37 | 55.59 |
| Harina de Soya | 41.45 | 40.59 | 39.48 | 33.30 | 32.33 | 30.92 | 27.83 | 26.86 | 25.94 |
| LIAF | 0.00 | 5.00 | 10.00 | 0.00 | 5.00 | 10.00 | 0.00 | 5.00 | 10.00 |
| Aceite vegetal | 5.55 | 7.80 | 8.83 | 3.69 | 5.31 | 4.62 | 2.38 | 4.00 | 5.71 |
| Fosfato dicálcico | 1.54 | 1.57 | 1.61 | 1.37 | 1.36 | 1.33 | 1.21 | 1.20 | 1.47 |
| Carbonato calizo | 1.07 | 0.92 | 0.77 | 1.03 | 0.91 | 0.80 | 0.95 | 0.82 | 0.55 |
| Premezcla de vit. y min. ¹ | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| Sal | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| DL-metionina | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Calculado | | | | | | | | | |
| Proteína, Bruta (%) | 23.00 | 23.00 | 23.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 18.00 | 18.00 | 18.00 |
| Grasa, Bruta (%) | 7.45 | 9.54 | 10.47 | 5.92 | 7.42 | 6.71 | 4.84 | 6.33 | 7.91 |
| Fibra, Bruta (%) | 3.85 | 3.67 | 3.50 | 3.47 | 3.30 | 3.14 | 3.22 | 3.05 | 2.87 |
| Ca (%) | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| P total (%) | 0.71 | 0.72 | 0.73 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.60 | 0.60 | 0.65 |
| P disponible (%) | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 0.41 | 0.40 | 0.39 | 0.37 | 0.36 | 0.41 |
| E. Metab. (Mcal/kg) | 3.10 | 3.12 | 3.10 | 3.10 | 3.10 | 2.98 | 3.10 | 3.10 | 3.10 |
| Metionina (%) | 0.51 | 0.50 | 0.50 | 0.47 | 0.46 | 0.44 | 0.45 | 0.44 | 0.42 |
| Cisteína (%) | 0.37 | 0.35 | 0.33 | 0.33 | 0.32 | 0.30 | 0.31 | 0.29 | 0.27 |
| Lisina (%) | 1.32 | 1.28 | 1.24 | 1.11 | 1.07 | 1.02 | 0.97 | 0.93 | 0.89 |
| Hierro (ppm) | 269.36 | 360.25 | 450.97 | 245.83 | 332.59 | 417.81 | 225.90 | 312.66 | 426.10 |

¹Composición de la pre-mezcla de vitaminas y minerales provistos por kilogramo de dieta: Mn, 75 mg; Zn, 60 mg; Fe, 45 mg; Cu, 7.5 mg; I, 750 µg; Se, 200 µg; vitamina A, 2,000 IU; vitamina D₃, 450 IU, vitamina E, 15 mg ; vitamina K, 1.5 mg; biotina, 50 µg; colina, 400 mg; ácido fólico, 1 mg; niacina, 30 mg; vitamina B₁₂, 10 µg; tiamina, 500 µg; riboflavina, 7.5 mg; ácido pantoténico, 11 mg; piridoxina, 500 µg.

Las aves se alojaron en un total de 30 jaulas de piso (1.49 m²) a razón de 10 jaulas por tratamiento, utilizando cascarilla de arroz como camada. En cada jaula se alojaron un total de 14 aves, para una disponibilidad de área de superficie de aproximadamente 0.10 m² por ave. Cada jaula estaba equipada con cinco bebederos automáticos de goteo tipo “niple” y un comedero tolva tipo tubo con una capacidad máxima de alimento de 6.0 kg. Durante las primeras dos semanas de crianza (etapa de inicio) se les proveyó calor suplementario a las aves utilizando una criadora⁷ por jaula. A partir de las tres semanas de crianza en adelante, se utilizó ventilación mecánica en el galpón.

El efecto de la inclusión del LIAF sobre el desempeño productivo de los pollos de engorde fue evaluado en términos de PEC, CA y CAL para cada etapa del periodo de cría y para el periodo total. Los pollos, el alimento ofrecido y el rechazado fueron pesados semanalmente para calcular la ganancia diaria promedio y el CA. La mortalidad se monitoreó diariamente y los pollos muertos se pesaron. Animales rezagados (aves que por alguna razón estén incapacitadas para lograr un desempeño productivo representativo de la población, como por ejemplo, aquellos con problemas en las patas que no le permitan llegar al comedero) o enfermos (por razones de bioseguridad) fueron rutinariamente sacrificados y pesados. El CA promedio por jaula se estimó semanalmente por la diferencia entre el alimento ofrecido y el sobrante. La CAL fue determinada como el cociente entre el consumo de alimento y la ganancia en peso, ajustado para mortalidad y animales sacrificados. Durante todo el experimento, las aves tuvieron acceso *ad libitum* a alimento y agua; y se criaron bajo un programa de iluminación de 23 horas de luz y una hora de oscuridad por día.

⁷ FarmTek Standard Duty Brooder Light Model LK1011, FarmTek, 1440 Field of Dreams Way, Dyersville, IA 52040.

II- Matanza y Post-Matanza

Al finalizar el periodo de crianza (43 d de edad), un total de 90 aves (30 por tratamiento) fueron procesadas para determinar la composición de la canal y evaluar la calidad de la carne. El día previo a la matanza, tres aves por jaula (repetición) fueron escogidas al azar, identificadas (utilizando una identificación numerada insertada en el membrana prepatagio del ala derecha), pesadas y colocadas en jaulas de transporte 10 h antes de la matanza sin acceso a alimento y agua. Al momento de la matanza los pollos se sacrificaron por exsanguinación por medio de un solo corte en el lado derecho del cuello seccionando la arteria carótida y la vena yugular y posteriormente se colocaron en embudos de metal en donde se desangraron por un minuto. Luego del desangrado, las aves fueron escaldadas⁸ a 62 °C por 45 s y desplumadas mecánicamente⁹ por 45 s. El ave desplumada fue pesada y se registró como canal NYD. El peso de las plumas fue calculado como la diferencia entre los pesos del animal vivo y el NYD. Las aves fueron luego evisceradas manualmente y se registró el peso de canal caliente. En adición, el cuello y la grasa abdominal (“fat pad”) de cada animal fueron removidos y pesados. Las canales fueron mantenidas por 12 h en un tanque con agua y hielo a una temperatura de 0 °C. Posteriormente, fueron escurridas, pesadas de nuevo como canal lista para cocinar (LPC). Cada canal fue trozada en las siguientes presas: alas, muslos, caderas, pechuga con costillas, espalda y cuello. Las pechugas, un muslo, y una cadera de cada canal, fueron subsecuentemente separadas en piel, carne y hueso. Todos los pesos se registraron al g más cercano, y los rendimientos de la canal y de los distintos

⁸ Brower Scalding Model SS36SS, Brower, Houghton, IA 52631.

⁹ Brower Picker Model BP30SS, Brower, Houghton, IA 52631.

componentes de las presas expresados como una proporción del peso vivo y de la canal luego de enfriada.

III- Atributos de Calidad de la Carne

El desempeño productivo y las características de la canal de por sí solos no determinan la viabilidad de la utilización de un subproducto como ingrediente en dietas para pollos de engorde. Cualquier atributo de calidad de la carne que se vea afectado por la inclusión del LIAF en la dieta podría afectar la viabilidad de su utilización o su nivel óptimo en la dieta. Con el fin de evaluar los atributos de calidad de la carne, se utilizaron los músculos *Pectoralis major*. Se prestó atención especial a este músculo debido a su predominancia en la proporción de la canal y su alto valor comercial relativo a los otros músculos (Papa y Fletcher, 1988). Con el objeto de describir las características de calidad de la carne, es necesario realizar una serie de análisis químicos, físicos y sensoriales, en donde cada análisis provee información específica e importante (Liu et al., 2004). La calidad de la carne fue estimada por medio de los criterios de pH, color, CRA, pérdida por goteo (“drip loss”), pérdida por cocción (“cook loss”), terneza e intensidad de sabor (IS).

Con el objeto de evaluar otros atributos de calidad, la pechuga entera fue utilizada para medir la pérdida de agua por goteo. Luego fue subdividida por el plano medial en *P. major* derecho y *P. major* izquierdo. El *P. major* derecho fue utilizado para evaluar color, pH y CRA; y el *P. major* izquierdo para evaluar pérdida de agua por cocción, terneza e IS utilizando una escala hedónica en un panel sensorial.

1. Medición de pH

Las medidas de pH se realizaron en triplicado, tomadas directamente en el área craneal de la pechuga (Figura 2) derecha utilizando un metro de pH¹⁰.

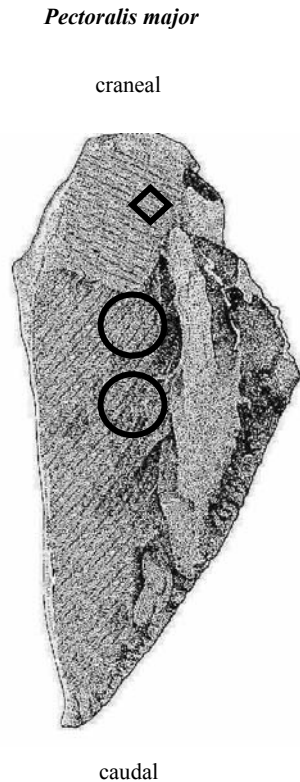


FIGURA 2. Superficie Ventral del *Pectoralis major* Derecho. El diamante indica la zona en donde se tomaron las medidas de pH. Los círculos indican la zona media en donde fueron tomadas las medidas de color en la pechuga. Adaptado de Papa y Fletcher, 1988.

2. Medición de Color

El color fue medido con una unidad colorimétrica portátil¹¹. Las medidas de color para L* (palidez), a*(rojez) y b*(amarillez) fueron tomadas en dos lugares en la parte más gruesa de la región media en la parte ventral del *P. major* derecho (Figura 2.), obteniéndose el promedio de ambos valores.

¹⁰ Orion Portable 230Aplus pH/mV Meter, Fisher Scientific, 2000 Park Lane, Pittsburgh, PA 15275.

¹¹ Hunter Lab Mini Scan XE Plus Model No. O-L, Hunter Associates, Reston, VA 20195.

3. Determinación de la Capacidad de Retención de Agua

La CRA fue determinada de acuerdo al procedimiento descrito por Jauregui et al. (1981). Los extremos craneales (aproximadamente 20 g) de los músculos *P. major* de la pechuga fueron cortados y triturados por un minuto en un procesador de alimentos¹² con el fin de conseguir un tamaño de partícula deseado de aproximadamente 3 mm de diámetro. Muestras en duplicado de 5 g de carne molida provenientes de cada pechuga fueron pesadas y colocadas en tubos de ensayo de 35 ml conteniendo 8.0 ml de una solución 0.6 M de NaCl. La muestra en suspensión fue mezclada en un vórtice¹³ por 30 s, incubada en un refrigerador por 30 min a 4 °C y posteriormente centrifugada¹⁴ a 7,000 x *G* por 15 min. Los resultados se reportaron como la proporción de la solución de NaCl retenida por la muestra luego de decantar el líquido no retenido siguiendo la siguiente fórmula:

$$\text{CRA} = \frac{\text{Volumen de la solución de NaCl retenida por la muestra (ml)}}{\text{Volumen inicial (8 ml)}} \times 100$$

4. Determinación de Pérdida de Agua por Goteo y Pérdida de Agua por Cocción.

Las pérdidas de agua por goteo (“drip loss”) y la por cocción (“cook loss”) se determinaron utilizando el método descrito por Van Laack et al. (2000). Inmediatamente luego del deshuese, los músculos *P. major* de cada canal fueron pesados, colocados en bolsas plásticas resellables Ziploc[®] y almacenados en el refrigerador a 1.7 °C por 24 h. Pasadas las 24 h, los filetes fueron repesados para

¹² Black & Decker[®] Handy Chopper[™] Cat. No. HC-2000. Black and Decker Inc. Shelton, CT 06484.

¹³ Thermolyne Vortex Mixer Model M63215, Fisher Scientific, 2000 Park Lane, Pittsburgh, PA 15275.

¹⁴ Thermo IEC HN-SII Benchtop Centrifuge Model 05-111, Fisher Scientific, 2000 Park Lane, Pittsburgh, PA 15275.

determinar por diferencia en peso la pérdida de agua por goteo. Luego se registró el peso del *P. major* izquierdo de cada canal y se colocó individualmente en una bandeja de aluminio de 7.6 x 12.7 cm y se cubrió con papel del mismo material. A cada pechuga se le insertó un termopar¹⁵ y se cocinaron las mismas en un horno de convección precalentado a 177 °C hasta que se alcanzó una temperatura interna del músculo de 77 °C. Luego de cocidas las pechugas, se dejaron enfriar hasta alcanzar temperatura ambiente (25 °C) y se repesaron para determinar por diferencia la pérdida de agua por cocción.

5. Resistencia al Corte (Terneza)

Valores de resistencia al corte (RCO), expresados como kg de fuerza ejercida /g de carne cocida, fueron utilizados como una medida de terneza. Para la estimación de terneza de la pechuga cocida se tomaron muestras en duplicado del *P. major* izquierdo cocido en la parte más gruesa de la sección media del músculo. Se utilizó un instrumento conformado por dos cuchillas de escalpelo No. 21 separadas entre sí por 1 cm (Figura 3) con el fin de homogeneizar las muestras. Las muestras se cortaron paralelo a la fibra muscular y se obtuvieron dos trozos de 1 cm² de grosor x 5 cm de largo. Las medidas de RCO, medidas en kg de fuerza ejercida para cortar los pedazos en dirección perpendicular a las fibras musculares del *P. major* se realizaron en duplicado utilizando un texturómetro Warner-Bratzler¹⁶.

¹⁵ Fisherbrand Traceable Digital Thermometer Model 15-077-29, Fisher Scientific, 2000 Park Lane, Pittsburgh, PA 15275.

¹⁶ Warner Bratzler Salter 25 kg x 100 g, G-R Electric Mfg. Co. 1317 Collins Lane, Manhattan, KS 66502.

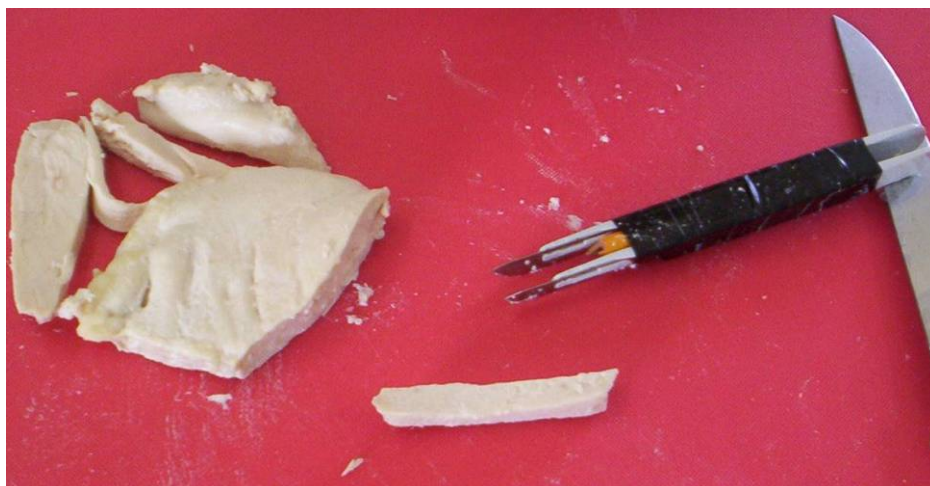


FIGURA 3. Instrumento utilizado para homogeneizar las muestras de *P. major* con el fin de evaluar la ternura de la carne. En la parte inferior al centro de la foto se observa uno de los trozos con los que se determinó la resistencia al corte.

6. Intensidad de Sabor

Con el objeto de determinar si la inclusión de LIAF en la dieta de pollos parrilleros afecta las características organolépticas de la carne, se realizó un panel sensorial donde los participantes cataban muestras de pechuga cocida y asignaban a cada muestra un valor en una escala hedónica para sabor. Un valor de 1 indicaba un sabor “muy desagradable” y un valor de 5 indicaba un sabor “muy agradable” (Figura 4). La toma de datos se realizó utilizando un sistema doblemente ciego (“double blind”), donde tanto los participantes como el encuestador desconocían la identidad del tratamiento al momento de la prueba. Muestras de 4 cm³ del músculo *P. major* fueron colocados en platos e inmediatamente ofrecidos a un panel sensorial compuesto por 11 miembros. A cada panelista se le proveyó una muestra control y una muestra de cada tratamiento. Se proveyeron a los miembros del panel galletas de soda y agua entre muestras de pechuga con el fin de remover el sabor residual entre muestras (Rojas et al.,

1970). Se pidió a los miembros del panel que comentasen por escrito sobre la IS de cada muestra o la presencia de sabores objetables en las mismas.

TSTAR-98

**EVALUACIÓN SENSORIAL DE PECHUGA DE POLLO
PARA INTENSIDAD DE SABOR**

Instrucciones:

1. Se le proveerán cuatro (4) muestras.
2. Pruebe primero la muestra rotulada (X). Esta es una muestra de pechuga normal.
3. Mastique lentamente, deguste la muestra comprimiéndola con su lengua contra su paladar.
4. Descarte la muestra en el envase designado o puede tragarla si desea.
5. Enjuague su boca con agua fría.
6. Tome la muestra A. Deguste la muestra de manera similar al paso 2.
7. Marque para la muestra A sólo una de las cinco (5) opciones en la escala abajo.
8. Descarte la muestra en el envase designado o puede tragarla si desea.
9. Enjuague su boca con agua fría.
10. Repita los pasos 6 al 9 con las muestras B y C.

| Muestra | 1. Muy Desagradable | 2. Desagradable | 3. Ni Agradable ni Desagradable | 4. Agradable | 5. Muy Agradable |
|---------|---------------------|-----------------|---------------------------------|--------------|------------------|
| A | | | | | |
| B | | | | | |
| C | | | | | |

Comentarios: _____

FIGURA 4. Escala hedónica del panel sensorial para medir intensidad de sabor (IS)

Análisis Estadístico

Los datos de la fase de crianza fueron analizados según un diseño completamente aleatorizado con tres tratamientos y diez repeticiones (jaulas) por tratamiento. Los datos de la composición de la canal fueron analizados según un diseño completamente aleatorizado con tres tratamientos y 30 repeticiones (aves) por tratamiento. Los datos concernientes al deshuese y atributos de calidad de la carne se analizaron de acuerdo a un diseño completamente aleatorizado con tres tratamientos y 15 repeticiones (canales) por tratamiento.

Las medias por repetición de cada variable fueron analizadas para efectos significativos de los tratamientos según un análisis de varianza (ANAVA) del modelo lineal general utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2002).

Todos los datos de los distintos criterios de evaluación, tanto en la fase de crianza como en la fase post-matanza y calidad de la carne, fueron analizados según un diseño completamente aleatorizado, de acuerdo al siguiente modelo (Ott y Longnecker, 2001):

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

En donde:

Y_{ij} = variable de respuesta. Representa la j -ésima observación del i -ésimo tratamiento

μ = Media poblacional

α_i = el efecto del tratamiento, el cual es el nivel de inclusión de LIAF (0, 5 ó 10%) en la dieta.

ε_{ij} = Error experimental

Se utilizó un nivel de probabilidad de 5% para todos los argumentos de significancia. En los casos en que se observaron diferencias significativas entre tratamientos por ANAVA, las medias fueron comparadas entre sí utilizando la prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a. Desempeño Productivo

La inclusión de LIAF en la dieta de pollos de engorde, afectó significativamente el PEC de las aves durante las primeras dos semanas de crianza (Cuadro 4). Una vez culminada la primera semana, el PEC de las aves resultó significativamente mayor a medida que aumentó el nivel de LIAF en la dieta. En la segunda semana, las dietas con LIAF fueron similares entre sí, pero significativamente mayores a la dieta control. En la tercera semana la dieta control y aquella 5% LIAF resultaron con PEC similares entre sí, pero significativamente menores que los pollos bajo la dieta con 10% LIAF. Sin embargo, a partir de la cuarta semana hasta la edad de procesado (42 d) se observa que los PEC fueron similares entre los tres tratamientos. Deshmukh y Patterson (1997b) también reportaron una ventaja en el PEC de pollos de engorde a etapas tempranas de crianza al utilizar dietas con niveles de inclusión (2.5 y 5%) de un subproducto fermentado compuesto de una mezcla de pollitos y cascarones de huevo (a razón 60:40), con lodo de una fábrica de barras de chocolate como fuente de carbohidratos e inoculación con BPAL. Observaron PEC significativamente mayores al control hasta los 28 d de levante a favor de las dietas con subproducto fermentado. Sin embargo, a los 42 d de edad, ni el uso del subproducto ni los niveles de inclusión del mismo afectó significativamente el PEC de las aves. No se observaron diferencias significativas con respecto al control en el PEC de aves alimentadas con dietas con niveles de inclusión de 5 y 10% de otro subproducto fermentado, consistente en una mezcla de pollitos solamente con la misma fuente de carbohidratos.

Cuadro 4. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre el Peso Corporal de Pollos Parrilleros.

| DIETA | Peso Corporal (g) | | | | | | |
|----------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|--------|--------|--------|
| | Edad (días) | | | | | | |
| | 1 | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 |
| Control | 39.6 | 104 ^a | 277 ^a | 608 ^a | 1,039 | 1,421 | 1,890 |
| 5% LIAF | 39.4 | 113 ^b | 307 ^b | 612 ^a | 1,062 | 1,457 | 1,923 |
| 10% LIAF | 39.6 | 124 ^c | 322 ^b | 657 ^b | 1,027 | 1,406 | 1,867 |
| EE ¹ | 0.84 | 6.82 | 13.2 | 45.9 | 50.9 | 66.9 | 88.0 |
| Análisis de varianza | Probabilidad | | | | | | |
| Fuente de variación | | | | | | | |
| TRT | 0.1350 | <.0001 | <.0001 | 0.0405 | 0.3173 | 0.2345 | 0.3681 |

^{a,b,c} Medias dentro de columnas con índices sobrescritos diferentes son significativamente ($p \leq 0.05$) diferentes.

¹EE= Error estándar de la media

Se observó que aves alimentadas con dietas de 0 y 5% de LIAF mostraron CA similares entre sí, pero significativamente mayores a la de la dieta con 10% LIAF durante los primeras dos semanas de crianza (Cuadro 5). A partir de la tercera semana de edad en adelante no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para CA. Esta reducción en CA en la dieta con 10% LIAF durante las primeras dos semanas concuerda con los resultados de Deshmukh y Patterson (1997b) para la dieta con 10% del subproducto fermentado de planta de incubación, la cual resultó en CA significativamente menores al resto de las dietas durante toda la fase de crianza.

Cuadro 5. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta de Pollos de Engorde sobre el Consumo de Alimento Acumulativo.

| DIETA | Consumo de Alimento Acumulativo por Ave (g) | | | | | |
|----------------------|---|------------------|--------|--------|--------|--------|
| | Edad (días) | | | | | |
| | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 |
| Control | 155 ^a | 533 ^a | 1,261 | 2,136 | 3,047 | 4,215 |
| 5% LIAF | 151 ^a | 534 ^a | 1,358 | 2,293 | 3,266 | 4,433 |
| 10% LIAF | 124 ^b | 440 ^b | 1,257 | 2,275 | 3,207 | 4,336 |
| EE ¹ | 22.0 | 49.2 | 192 | 303 | 323 | 352 |
| Análisis de varianza | Probabilidad | | | | | |
| Fuente de variación | | | | | | |
| TRT | 0.0072 | 0.0002 | 0.4230 | 0.4578 | 0.3082 | 0.3920 |

^{a,b} Medias dentro de columnas con índices sobrescritos diferentes son significativamente ($p \leq 0.05$) diferentes.

¹EE= Error estándar de la media

Durante los primeros 14 d de edad, los pollos alimentados con 0 y 5% LIAF presentaron índices de CAL acumulados similares entre sí pero significativamente mayores numéricamente (menos eficientes) a la CAL de las aves alimentadas con 10% LIAF (Cuadro 6). Sin embargo, las CAL observadas durante las etapas de crecimiento y finalizado no difirieron significativamente entre dietas. Estos resultados concuerdan con el trabajo de Waldroup et al. (2004), quienes al alimentar pollos de engorde machos con una dieta con 5% de un subproducto, que consistía en lodo de planta procesadora de pollos de engorde no fermentado mezclado con sangre, encontraron una mejoría en la CAL de los pollos durante las etapas tempranas de crianza (0 a 21 d) al comparar esta variable con el control. Fritts y Waldroup (2004) no encontraron diferencias significativas para CAL al utilizar ese mismo subproducto a distintos niveles de inclusión en la dieta relativo a una dieta control durante la etapa de terminado (42 a 56 d). Deshmukh y Patterson (1997b) también reportaron mejor CAL de los pollos

comparado con una dieta control durante la etapa de inicio (0 a 14 d) al utilizar un subproducto fermentado de una planta de incubación, compuesto de un 60% de pollos muertos y un 40% de cascarones de huevo, a razón de 2.5 y 5.0% de inclusión del mismo en la dieta. Luego de este periodo, las dietas con dicho subproducto no difirieron significativamente del control.

Cuadro 6. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta de Pollos de Engorde sobre la Conversión de Alimento Acumulado.

| DIETA | Conversión de Alimento Acumulada (g alimento/g ganancia en peso) | | | | | |
|----------------------|---|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| | Edad (días) | | | | | |
| | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 |
| Control | 1.51 ^a | 1.93 ^a | 2.09 | 2.07 | 2.15 | 2.24 |
| 5% LIAF | 1.33 ^a | 1.74 ^a | 2.08 | 2.17 | 2.25 | 2.31 |
| 10% LIAF | 1.00 ^b | 1.37 ^b | 2.05 | 2.21 | 2.28 | 2.32 |
| EE ¹ | 0.22 | 0.19 | 0.32 | 0.32 | 0.24 | 0.20 |
| Análisis de varianza | Probabilidad | | | | | |
| Fuente de variación | | | | | | |
| TRT | <0.0001 | <0.0001 | 0.9604 | 0.5829 | 0.4760 | 0.5940 |

^{a,b,c} Medias entre columnas con índices sobrescritos diferentes son significativamente ($p \leq 0.05$) diferentes.

¹EE= Error estándar de la media

Refiriéndose a la composición nutricional y química de las dietas (Cuadro 3), se observa que al formular las dietas isocalóricamente, ocurrió un incremento en la cantidad de grasa bruta en la dieta a medida que aumentó el nivel de inclusión de aceite vegetal. Posiblemente una mayor aportación de grasa fue el factor responsable por el menor CA y mayor PEC de los pollos alimentados con 10% LIAF durante la etapa de

inicio. Investigación adicional será necesaria para determinar la causa de estos efectos durante las primeras dos semanas en la fase de crianza.

Referente al efecto de la inclusión de LIAF en la dieta sobre los porcentajes de mortalidad y aves sacrificadas (Figura 5), no se observaron diferencias significativas en el primero, pero la inclusión de un 10% LIAF en la dieta redujo marcadamente el porcentaje de animales sacrificados. La práctica de sacrificar aves es común en las investigaciones con pollos. Los animales fueron sacrificados ya fuese por enfermedad (por razones de bioseguridad) o por alguna razón que impida al animal un desempeño productivo representativo de la población (e.g., problemas de patas que impidan al animal llegar al comedero). Waldroup et al. (2004) tampoco encontró efecto adverso en la mortalidad al incluir en la dieta un subproducto similar conteniendo lodo proveniente de las aguas de lavado de una planta procesadora de pollos de engorde.

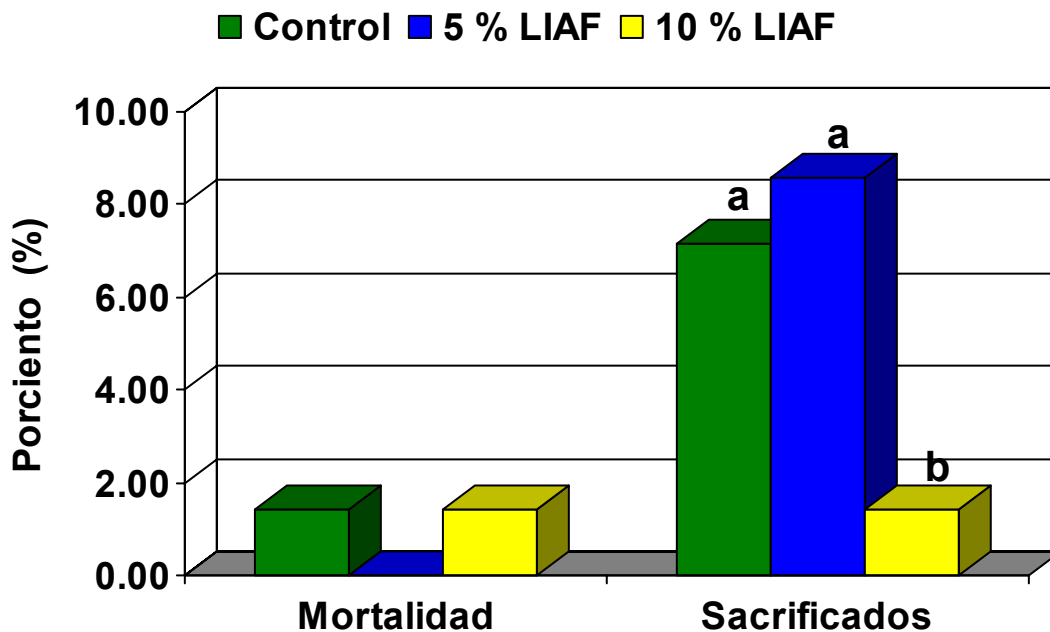


Figura 5. Efecto de la inclusión de LIAF en la dieta de pollos de engorde sobre la frecuencia de mortalidad y de animales sacrificados.

Posiblemente algún componente en el LIAF, por ejemplo, el hierro pudo tener cierto efecto positivo al disminuir la proporción de animales sacrificados y aumentar la de aves procesables. En el Cuadro 3 se puede observar que a medida que aumentó el nivel de inclusión de LIAF en la dieta, los niveles de hierro también aumentaron. A pesar del conocido efecto negativo que altas concentraciones de hierro en la dieta pueden ejercer sobre la absorción de fósforo, lo que tendería a producir raquitismo en las aves, esto no ocurre a menos que la dieta exceda por al menos diez veces los requerimientos nutricionales de hierro, los cuales son entre 35-55 mg Fe⁺⁺/kg dieta (Leeson y Summers, 2001). El hierro se añade a veces a dietas de aves para reducir la toxicidad de algunos otros compuestos presentes, notoriamente, el gosispol en la harina de algodón (Leeson y Summers, 2001). Sales ferrosas reaccionan con el gosispol a una razón de 1:1 molar, formando un complejo hierro-gosispol, el cual reduce marcadamente la toxicidad del gosispol en aves en crecimiento. Esto previene una reducción en la energía metabolizable en dietas conteniendo harina de algodón (Leeson y Summers, 2001). Si bien las dietas en el presente experimento no incluyeron harina de algodón, se puede especular que tal vez el hierro presente en el LIAF pudo tener un efecto positivo en la salud y desempeño productivo de los animales.

Aunque este efecto no fue cuantificado, se observó que a medida que aumentaba el nivel de inclusión de LIAF en la dieta, aumentó de manera progresiva la incidencia de heces negras y húmedas que ocasionaron la tinción del plumaje de las aves y de la camada. Waliszewski et al. (1997) hicieron observaciones similares al utilizar melaza de caña bajo fermentación anaeróbica en dietas para pollos de engorde. Estos autores infirieron que dicho efecto fue debido probablemente al alto contenido de potasio en la

dieta. En el presente experimento no se calculó el contenido de potasio en las dietas formuladas, pero en el Cuadro 2 se destaca el alto contenido de potasio del LIAF. Este elemento tiene un efecto laxante en las aves resultando en un aumento en la humedad de las heces según aumenta su concentración en la dieta (Leeson y Summers, 2001). En el experimento presente, el aumento observado en la humedad de la camada a medida aumentó la inclusión de LIAF en la dieta estuvo relacionado con la incidencia de lesiones en las patas. A la inclusión dietética de 5% LIAF algunos de los animales presentaron, en el peor de los casos, sólo un leve enrojecimiento del cojín de la pata. Únicamente entre las aves que recibieron la dieta con 10% LIAF se observaron individuos con quemaduras en el cojín de la pata.

b. Características de la Canal

Los efectos de la inclusión de 5 ó 10% de LIAF en la dieta no afectó el peso vivo, ni los pesos de NYD, canal inmediatamente luego de ser eviscerada (canal caliente), canal LPC, y grasa abdominal (Cuadro 7). Sin embargo, en los rendimientos de canal caliente y canal LPC de pollos alimentados con dietas conteniendo 5 y 10% LIAF presentaron valores similares entre sí, pero significativamente menores que los del control. Posiblemente estos rendimientos de canales menores en las dietas con el subproducto se deben a un mayor peso de contenido visceral (datos no cuantificados), puesto que la diferencia entre peso vivo y pesos de canal fue mayor para las dietas con el subproducto que para el control (Cuadro 7).

El Cuadro 8 muestra los efectos de la inclusión de LIAF en la dieta sobre los pesos de los principales cortes en la carne de pollo, mientras que los rendimientos de

estos cortes con relación al peso vivo y con relación a la canal enfriada se presentan en el Cuadro 9. No se observaron diferencias significativas para ninguno de los pesos de los principales cortes de la canal ni sus rendimientos.

Es de particular importancia destacar la ausencia de diferencias significativas entre dietas para los pesos vivo y de canal LPC y aquellos de los principales cortes de la canal. Al avicultor la industria le paga por peso de animales vivos entregados a la planta procesadora. Tanto la canal como los cortes principales, como pechuga, alas, muslos y caderas, representan la parte mercadeable del pollo. Estos factores son (desde el punto de vista comercial) los más importantes de esta investigación para sustentar la viabilidad de la inclusión de LIAF en la dieta de pollos de engorde.

Cuadro 7. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre el Peso Vivo, Pesos de Canales, Cuello, Plumas y Grasa Abdominal durante la Matanza y Rendimientos de Éstos en Relación al Peso Vivo.

| Característica | % LIAF en dieta | | | EE ¹ | Probabilidad | |
|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|---------|
| | 0 | 5 | 10 | | | |
| Peso vivo (g) | 2,167 | 2,171 | 2,233 | 259 | 0.5501 | |
| New York Dress (g) | 1,903 | 1,886 | 1,937 | 236 | 0.7069 | |
| Canal Caliente (g) | 1,397 | 1,364 | 1,385 | 187 | 0.7816 | |
| Canal LPC (g) | 1,494 | 1,448 | 1,472 | 189 | 0.6428 | |
| Plumas (g) | 273 | 285 | 296 | 47.7 | 0.1890 | |
| Cuello (g) | 101.9 | 99.1 | 103.9 | 20.4 | 0.6583 | |
| Grasa Abdominal (g) | 45.19 | 50.21 | 51.48 | 13.02 | 0.1539 | |
| Rend. en | NYD (%) | 87.35 | 86.89 | 86.69 | 1.87 | 0.3906 |
| relación | Canal Caliente (%) | 64.21 ^a | 62.72 ^b | 62.00 ^b | 2.04 | 0.0003 |
| al | Canal LPC (%) | 68.75 ^a | 66.65 ^b | 65.91 ^b | 2.40 | <0.0001 |
| Peso | Plumas (%) | 12.65 | 13.11 | 13.31 | 1.87 | 0.3906 |
| Vivo | Cuello (%) | 4.68 | 4.58 | 4.65 | 0.73 | 0.8619 |
| | Grasa Abdominal (%) | 2.08 | 2.31 | 2.30 | 0.54 | 0.1920 |

^{a,b} Medias en filas con índices sobrescritos diferentes son significativamente ($p \leq 0.05$) diferentes.

¹EE= Error estándar de la media

Cuadro 8. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre los Pesos de los Principales Cortes de Carne de Pollo.

| Característica | % LIAF en dieta | | | EE ¹ | Probabilidad |
|------------------|-----------------|-------|-------|-----------------|--------------|
| | 0 | 5 | 10 | | |
| Peso Vivo (g) | 2,105 | 2,180 | 2,265 | 258 | 0.2385 |
| Peso Canal (g) | 1,441 | 1,450 | 1,503 | 186 | 0.6138 |
| Peso Pechuga (g) | 480 | 470 | 486 | 77.7 | 0.8415 |
| Peso Alas (g) | 177 | 186 | 189 | 25.0 | 0.3880 |
| Peso Caderas (g) | 255 | 248 | 266 | 42.0 | 0.4451 |
| Peso Muslos (g) | 229 | 232 | 235 | 28.9 | 0.8527 |
| Peso Espalda (g) | 284 | 306 | 298 | 52.5 | 0.4971 |

¹EE= Error estándar de la media

Cuadro 9. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre el Rendimiento de los Principales Cortes de Carne de Pollo en Relación al Peso Vivo del Ave y en Relación a la Canal Enfriada.

| Característica | | % LIAF en dieta | | | EE ¹ | Probabilidad |
|---|---------|-----------------|-------|-------|-----------------|--------------|
| | | 0 | 5 | 10 | | |
| Rend en relación a Peso Vivo (%) | Pechuga | 22.73 | 21.54 | 21.39 | 1.93 | 0.1096 |
| | Alas | 8.38 | 8.54 | 8.37 | 0.66 | 0.7022 |
| | Caderas | 12.13 | 11.28 | 11.79 | 1.23 | 0.1376 |
| | Muslos | 10.93 | 10.70 | 10.38 | 1.10 | 0.3784 |
| | Espalda | 13.45 | 13.98 | 13.21 | 1.51 | 0.3374 |
| Rend. en relación a Canal Enfriada (%) | Pechuga | 33.20 | 32.36 | 32.21 | 2.31 | 0.4383 |
| | Alas | 12.26 | 12.84 | 12.63 | 0.98 | 0.2361 |
| | Caderas | 17.74 | 16.97 | 17.81 | 1.89 | 0.3695 |
| | Muslos | 16.03 | 16.11 | 15.65 | 1.74 | 0.7314 |
| | Espalda | 19.68 | 21.04 | 19.9 | 2.23 | 0.1727 |

¹EE= Error estándar de la media

El Cuadro 10 muestra los efectos de la inclusión de LIAF en la dieta sobre los pesos de carne deshuesable, hueso y piel en la canal. Al realizar el deshuese de los principales cortes o presas de la canal, no se observaron diferencias significativas entre dietas para los pesos de carne deshuesable total, los músculos de la pechuga (*Pectoralis major* y *P. minor*), carne blanca u oscura deshuesables, así como tampoco para los pesos de hueso y piel.

Los efectos de la inclusión de LIAF en la dieta sobre los rendimientos de carne, hueso y piel relativos al peso vivo y relativo a la canal enfriada de pollos parrilleros se muestran en el Cuadro 11. Las dietas con 5 y 10% LIAF presentaron valores para rendimiento de carne deshuesable (RCD) similares entre sí, pero significativamente menores que el control, aunque es importante señalar que esta diferencia no pasa de dos unidades de porciento. Igualmente, se observó una diferencia significativa para el rendimiento de carne oscura (COR) entre la dieta control y aquella con 5% de LIAF, presentando esta última un rendimiento de aproximadamente una unidad de porciento menor. La dieta con 10% LIAF dió COR en relación al peso vivo intermedio entre las otras dos dietas. No se observaron diferencias significativas entre dietas para rendimientos de carne blanca (RCB), hueso o piel en relación al peso vivo ni entre ninguno de los rendimientos bajo consideración en relación a la canal (Cuadro 11).

Cuadro 10. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre los Pesos de Carne Deshuesable, Hueso y Piel de la Canal.

| Característica | % LIAF en dieta | | | EE ¹ | Probabilidad |
|-----------------------------------|-----------------|------|------|-----------------|--------------|
| | 0 | 5 | 10 | | |
| Carne Total (g) | 630 | 610 | 634 | 96.4 | 0.7430 |
| <i>Pectoralis major</i> (g) | 250 | 239 | 244 | 49.0 | 0.8128 |
| <i>Pectoralis minor</i> (g) | 62.7 | 63.7 | 63.5 | 11.2 | 0.9657 |
| Carne Blanca (g) | 313 | 303 | 308 | 59.0 | 0.8881 |
| Carne Oscura (g) | 317 | 307 | 326 | 44.5 | 0.4764 |
| Razón Carne Blanca : Carne Oscura | 0.99 | 0.99 | 0.94 | 0.13 | 0.5508 |
| Hueso Total (g) | 188 | 186 | 193 | 25.7 | 0.7171 |
| Piel Total (g) | 133 | 139 | 149 | 23.3 | 0.1531 |

¹EE = Error estándar de la media

Cuadro 11. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre los Rendimientos de Carne, Hueso y Piel Relativos al Peso Vivo y a la Canal Enfriada.

| Característica | % LIAF en dieta | | | EE ¹ | Probabilidad | |
|---|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------|--------|
| | 0 | 5 | 10 | | | |
| Rendimiento en relación al Peso Vivo (%) | Carne Deshuesable | 29.88 ^a | 27.87 ^b | 27.98 ^b | 1.86 | 0.0049 |
| | Carne Blanca | 14.82 | 13.83 | 13.55 | 1.58 | 0.0713 |
| | Carne Oscura | 15.06 ^a | 14.04 ^b | 14.42 ^{ab} | 0.97 | 0.0134 |
| | Hueso | 8.91 | 8.61 | 8.56 | 0.96 | 0.5416 |
| | Piel | 6.32 | 6.40 | 6.58 | 0.78 | 0.6459 |
| Rendimiento en relación a la Canal Enfriada (%) | Carne Deshuesable | 43.66 | 41.92 | 42.17 | 2.22 | 0.0615 |
| | Carne Blanca | 21.63 | 20.78 | 20.40 | 1.97 | 0.2128 |
| | Carne Oscura | 22.03 | 21.14 | 21.76 | 1.54 | 0.2312 |
| | Hueso | 13.04 | 12.95 | 12.92 | 1.45 | 0.9724 |
| | Piel | 9.25 | 9.62 | 9.90 | 1.14 | 0.2856 |

^{a,b} Medias en filas con distintos índices sobrescritos difieren significativamente ($p \leq 0.05$)

¹EE = Error estándar de la media

El Cuadro 12 presenta los efectos de la inclusión de LIAF en la dieta de pollos de engorde sobre los rendimientos en relación al peso vivo de los distintos componentes de los principales cortes de carne de pollo. El Cuadro 13 muestra los mismos rendimientos en relación a la canal enfriada. Dietas conteniendo 5 y 10% LIAF resultaron con rendimiento de carne de filete de pechuga (*P. major*) en relación al peso vivo similares entre sí pero significativamente menores al control (Cuadro 12). Sin embargo al observar la misma variable en relación a la canal enfriada (Cuadro 13) no se observó diferencia significativa entre tratamientos. Se observaron rendimientos de carne de cadera con relación al peso vivo estadísticamente similares entre la dieta control y la dieta con un 10% de inclusión de LIAF (Cuadro 12); la dieta con 5% LIAF dió un rendimiento significativamente menor relativo al control, pero no relativo a la dieta con 10% LIAF. Las dietas con 5 y 10% LIAF resultaron con rendimiento de *P. major* en relación al peso vivo similares entre sí, pero significativamente menores que el control. No se observaron diferencias significativas entre dietas para los rendimientos de los otros componentes de los cortes principales de pollo en relación al peso vivo del ave (Cuadro 12), ni para ninguno de estos rendimientos en relación a la canal (Cuadro 13).

Cuadro 12. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre los Rendimientos de los Distintos Componentes de los Cortes Principales de Pollo en Relación al Peso Vivo.

| | Componente | % LIAF en dieta | | | EE ² | Probabilidad | |
|--|---------------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|--------|
| | | 0 | 5 | 10 | | | |
| Rendimiento en relación a Peso Vivo (%) | Pechuga | <i>P. major</i> | 11.83 ^a | 10.91 ^b | 10.75 ^b | 1.31 | 0.0512 |
| | | <i>P. minor</i> | 2.98 | 2.92 | 2.8 | 0.36 | 0.3540 |
| | | Hueso | 4.21 | 3.92 | 3.85 | 0.66 | 0.2782 |
| | | Piel | 3.11 | 3.27 | 3.49 | 0.56 | 0.1864 |
| | Cadera ¹ | Músculo | 8.61 ^a | 7.80 ^b | 8.34 ^{ab} | 0.84 | 0.0229 |
| | | Hueso | 2.02 | 1.95 | 2.04 | 0.47 | 0.8609 |
| | | Piel | 1.58 | 1.56 | 1.56 | 0.44 | 0.9814 |
| | Muslo ¹ | Músculo | 6.45 | 6.24 | 6.08 | 0.49 | 0.1267 |
| | | Hueso | 2.68 | 2.74 | 2.67 | 0.44 | 0.8820 |
| | | Piel | 1.62 | 1.57 | 1.53 | 0.34 | 0.7520 |

^{a,b} Medias en filas con distintos índices sobrescritos difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

¹Rendimientos de ambas caderas o ambos muslos

²EE = Error estándar de la media

Cuadro 13. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta Sobre los Rendimientos de los Distintos Componentes de los Cortes Principales de Pollo en Relación a la Canal Enfriada.

| | Componente | % LIAF en dieta | | | EE ² | Probabilidad | |
|--|---------------------|-----------------|-------|-------|-----------------|--------------|--------|
| | | 0 | 5 | 10 | | | |
| Rendimiento en relación a Canal Enfriada (%) | Pechuga | <i>P. mayor</i> | 17.27 | 16.39 | 16.19 | 1.65 | 0.1548 |
| | | <i>P. minor</i> | 4.36 | 4.39 | 4.21 | 0.48 | 0.5488 |
| | Cadera ¹ | Hueso | 6.15 | 5.89 | 5.81 | 0.97 | 0.5944 |
| | | Piel | 4.56 | 4.92 | 5.25 | 0.84 | 0.0841 |
| | Muslo ¹ | Músculo | 12.6 | 11.74 | 12.58 | 1.24 | 0.0819 |
| | | Hueso | 2.96 | 2.94 | 3.08 | 0.72 | 0.8331 |
| | Muslo ¹ | Piel | 2.31 | 2.34 | 2.35 | 0.64 | 0.9871 |
| | | Músculo | 9.44 | 9.4 | 9.18 | 0.83 | 0.6628 |
| | | Hueso | 3.93 | 4.13 | 4.03 | 0.67 | 0.7019 |
| | | | Piel | 2.37 | 2.36 | 2.31 | 0.50 |

^{a,b} Medias en filas con distintos índices sobrescritos difieren significativamente (p<0.05).

¹Rendimientos de ambas caderas o ambos muslos

²EE = Error estándar de la media

c. Atributos de Calidad de la Carne

Para la determinación del nivel óptimo de inclusión de LIAF en la dieta de pollos de engorde no debe tomarse en cuenta únicamente sus efectos sobre el desempeño productivo y las características de la canal, sino también su impacto sobre la calidad de la carne. Las propiedades de calidad de la carne son dependientes en gran medida del pH, lo que afecta su color, CRA y RCO (Aberle et al., 2001).

Al observar el efecto de la inclusión de LIAF en la dieta sobre los atributos de calidad de la carne cruda correspondientes al pH, CRA y color de la pechuga, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 14). De manera similar, tampoco se observaron diferencias significativas entre tratamientos para los porcentajes de pérdida de agua por goteo y pérdida de agua por cocción (Cuadro 15). No se encontró literatura relacionada a los efectos de la inclusión de subproductos industriales en la dieta de pollos de engorde sobre estos criterios de calidad de la carne.

Cuadro 14. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre el pH, la Capacidad de Retención de Agua y el Color de la Carne de Pechuga Cruda.

| Dieta | pH | CRA (%) | Color | | |
|----------------------|--------|------------|----------------|--------|--------|
| | | | L* | a* | b* |
| Control | 5.8 | 31.52 | 62.8 | 5.5 | 18.6 |
| 5% LIAF | 5.8 | 32.08 | 62.1 | 5.7 | 19.0 |
| 10% LIAF | 5.8 | 29.29 | 62.3 | 5.6 | 19.2 |
| EE ¹ | 0.12 | 7.10 | 2.28 | 0.83 | 1.49 |
| Análisis de varianza | | | Probabilidades | | |
| Fuente de variación | | | | | |
| TRT | 0.6264 | 0.5085 | 0.6744 | 0.7305 | 0.4463 |

¹EE = Error estándar de la media

Cuadro 15. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre la Pérdida de Agua por Goteo y la Pérdida de Agua por Cocción.

| Dieta | Pérdida de Agua por Goteo (%) | Pérdida de Agua por Cocción (%) |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Control | 2.77 | 28.61 |
| 5% LIAF | 2.33 | 27.33 |
| 10% LIAF | 2.50 | 28.63 |
| EE ¹ | 1.08 | 5.47 |
| Análisis de varianza | | Probabilidades |
| Fuente de variación | | |
| TRT | 0.5067 | 0.8617 |

¹EE = Error estándar de la media

La carne de pechuga cocida presentó valores de palidez altos ($L^* \approx 62$). Valores para carne de pechuga de pollo mayores de 53 ($L^* > 53$) son considerados como criterios importantes para calificar la carne como tipo pálida, suave y exudativa (PSE, por sus siglas en inglés) (McKee y Sams, 1997). También se observaron porcentajes para pérdidas de agua por goteo y por cocción altos y dentro de los límites establecidos para considerarse carne PSE (McKee y Sams, 1997). Estas condiciones indeseables de carne excesivamente pálida y de retención de agua reducida pudieron deberse a estrés por calor, el cual acelera el metabolismo post-mortem y los cambios bioquímicos en el músculo (McKee y Sams, 1997). Sin embargo, al no observarse diferencias significativas entre los tres tratamientos para color, CRA, pérdida de agua por goteo y pérdida de agua por cocción, se afirma que la inclusión de LIAF en la dieta no fue la causa de estos atributos de la carne.

Apenas hubo variación y no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para la RCO de la pechuga cocida (Cuadro 16). Cabe señalar que los

valores de esta característica son bajos comparados con los publicados en la literatura (Sams y Janky, 1986; Liu et al., 2004). Se presume que el hecho que los músculos *Pectoralis major* fueran deshuesados 24 h luego de la matanza tuvo un efecto positivo en la terneza de la carne de pechuga. Cuando los músculos permanecen estirados en la canal durante el desarrollo del rigor mortis se tornan más tiernos (Koohmaraie et al., 1996). Otros investigadores han encontrado que a medida que el tiempo de acondicionamiento entre la matanza y el deshuese aumenta, mejora la terneza de la carne de pechuga de pollo (Sams y Janky, 1986; Liu et al., 2004; Thielke et al., 2005). Dicho lapso fue de 24 h en el caso presente. No se encontró literatura respecto al efecto de la inclusión de subproductos industriales en la dieta de pollos de engorde sobre la RCO de la carne.

Cuadro 16. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre la Resistencia al Corte de la Pechuga de Pollo Cocida.

| Dieta | Resistencia al Corte (kg) |
|----------------------|---------------------------|
| Control | 1.08 |
| 5% LIAF | 1.09 |
| 10% LIAF | 1.08 |
| EE ¹ | 0.19 |
| Análisis de varianza | |
| Fuente de variación | Probabilidad |
| TRT | 0.9917 |

¹EE = Error estándar de la media

En algunos casos el uso de ciertos ingredientes en dietas para aves, como aquellos provenientes de la industria de pescado, puede impartir propiedades organolépticas indeseables a la carne de pollo (Carrick y Hauge, 1926; Cruickshank, 1939; Rojas et al., 1970; Ologhobo, 1988; NRC, 1994; Lawlor et al., 2003). En este estudio, la inclusión dietética de LIAF a 5 ó 10% no afectó esta propiedad en las pechugas cocidas de pollo

(Cuadro 17), cuyos puntajes en la escala hedónica promediaron 3.97. Este valor correspondía a un sabor de pechuga “agradable” en dicha escala.

Cuadro 17. Efecto de la Inclusión de LIAF en la Dieta sobre la Intensidad de Sabor de la Carne de Pechuga de Pollo.

| Dieta | Puntaje de Panel de Evaluación Sensorial |
|----------------------|---|
| Control | 4.09 |
| 5% LIAF | 3.73 |
| 10% LIAF | 4.09 |
| EE ¹ | 0.97 |
| Análisis de varianza | |
| Fuente de variación | Probabilidad |
| TRT | 0.6001 |

¹EE = Error estándar de la media

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, se puede concluir que:

- El uso de las dietas conteniendo LIAF resultó en pollos de engorde con un desempeño productivo comparable a aquellos alimentados con la dieta control.
- Una inclusión dietética de 10% de LIAF tuvo efectos positivos sobre el consumo de alimento y la ganancia en peso durante la etapa de inicio (primeros 14 d de crianza), mejorando la conversión de alimento de los pollos durante este periodo.
- Se puede incorporar hasta un 10% de LIAF en dietas para pollos de engorde sin detrimento de características de la canal y calidad de la carne.
- La inclusión de hasta un 10% de LIAF en dietas para pollos de engorde no imparte sabores objetables a la carne.
- La incorporación hasta un 10% de LIAF en dietas para pollos de engorde en sustitución de parte de los ingredientes tradicionales usados en éstas, como el maíz y la harina de soya, es biológicamente viable al no afectar de modo importante el desempeño productivo de las aves mientras se sostienen rendimientos de procesado adecuados.

Implicaciones

A raíz de los datos obtenidos en esta investigación surge la inquietud de investigar distintas alternativas:

- Utilizar niveles más altos de LIAF en la dieta para determinar el porcentaje máximo de inclusión que dé resultados satisfactorios.
- Puesto que Sanabria et al. (2004) determinaron que se puede lograr una fermentación adecuada con un 10% de melaza, se podría hacer investigación adicional utilizando un porcentaje de melaza menor en la fermentación, lo que resultaría en un subproducto con un nivel de proteína más alto y de potasio más bajo. Un mayor nivel de proteína en el LIAF permitiría sustituir una mayor porción de la costosa harina de soya en la dieta.
- Serían útiles otros estudios para determinar la magnitud de interacción entre el nivel de melaza de caña en el subproducto y el porcentaje de inclusión del mismo en la dieta.
- Investigar la utilización del subproducto procesado de maneras alternas, como por ejemplo: el lodo fermentado húmedo, sin secar; o el lodo secado y molido, sin melaza y sin fermentar.
- Determinar cuánto tiempo luego de ser generado el lodo fresco es aún utilizable para ser fermentado, así como el largo de vida útil del LIAF. Esto es importante para poder hacer recomendaciones más acertadas sobre el producto.
- Buscar otras fuentes de carbohidratos alternas para fermentar el lodo en lugar de melaza de caña, como por ejemplo, subproductos o decomisos de la industria de caramelo o de cervecería, entre otros.

- Es conocido que la industria de pollos parrilleros en Puerto Rico utiliza harina de la extrusión del subproducto sólido de plantas procesadoras de pollo (conocido en inglés como “offal”). En vista de la ya establecida viabilidad del LIAF para su inclusión en dietas para pollos de engorde, se hace interesante investigar el efecto de distintas combinaciones de inclusión de offal y LIAF en las dietas con el fin de observar posibles efectos interactivos entre estos ingredientes. Esta información podría ser útil para hacer recomendaciones más acertadas sobre la combinación óptima de estos subproductos en las dietas.
- Realizar un análisis económico que compare los costos de disposición del subproducto en los rellenos sanitarios con el procesado y la utilización del mismo como ingrediente en dietas de pollos de engorde.

LITERATURA CITADA

- Aberle, E. D., J. C. Forrest, D. E. Gerrard, and E. W. Mills, 2001. Principles of Meat Science, 4th ed. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, IA.
- Adams, M., R. Cooke, and D. Twiddy, 1987. Fermentation parameters involved in the production of lactic acid preserved fish-glucose substrates. *Int. J. Food Sci. Technol.* 22:105-114.
- ADS (Autoridad de Desperdicios Sólidos, 2004). Plan estratégico para el manejo de los residuos sólidos en Puerto Rico. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. Cap. 4 pág. 18. www.ads.gobierno.pr
- Ahmed, B. and N. Mahendrakar, 1996. Autolysis and rancidity development in tropical freshwater fish viscera during fermentation. *Bioresour. Technol.* 58:247-251.
- Alvarado, C. Z. and A. R. Sams, 2000. Rigor mortis development in turkey breast muscle and the effect of electrical stunning. *Poultry Sci.* 79:1684-1698.
- Awoniyi, T. A. M., V. A. Aletor and J. M. Aina, 2003. Performance of broiler- chickens fed on maggot meal in place of fishmeal. *Int. J. Poultry Science* 2(4):271-274.
- Barbut, S., 1993. Colour measurements for evaluating the pale soft exudative (PSE) occurrence in turkey meat. *Food Res. Int.* 26:39-43.
- Bartov, I., S. Bornstein and B. Lipstein, 1974. Effects of calorie to protein and feeding time on broiler performance. *Br. Poult. Sci.* 15:107-117.
- Bendall, J. R., 1973. Postmortem changes in muscle. Pages 244-309 in: *The Structure and Function of Muscle*. Vol. 2, Part 2. 2nd ed. G. H. Bourne (ed.) Academic Press, New York, NY.
- Bozkurt, M., H. Basmacioglu, and M. Ergül, 2004. Effect of dietary meat and bone meal on broiler chickens performance. *Int. J. Poultry Sci.* 3(1):719-723.
- Briskey, E. J., 1964. Etiological status and associated studies of pale soft and exudative porcine musculature. *Adv. Food Res.* 13:89-105.
- Carlson, D., L. M. Potter, L. D. Matterson, E. P. Singsen, G. L. Gilpin, R. A. Redstrom, and E. H. Dawson, 1957. Palatability of chickens fed diets containing different levels of fish oil or tallow. *Food Tech.* 11:615-620.
- Carmack, C. F., C. L. Kastner, M. E. Dikeman, J. R. Schwenke, and C. M. García Zepeda, 1995. Sensory evaluation of beef flavor-intensity, tenderness and juiciness among major muscles. *Meat Sci.* 39:143-147.
- Carrick, C. W. and S. M. Hauge, 1926. The effect of cod-liver oil upon flavor in poultry meat. *Poultry Sci.* 5:213-215.

- Cavitt, L. C., G. W. Youm, J. F. Meullenet, C. M. Owens, and R. Xiong, 2004. Prediction of poultry meat tenderness using razor blade shear, Allo-Kramer shear, and sarcomere length. *J. Food Sci.* 69(1):SNQ11-15.
- Church, D. C., W. G. Pond and K.R. Pond, 2002. *Nutrición y Alimentación de Animales*, 2^{da} ed., Editorial Limusa, S.A., Grupo Noriega Editores, México D. F., México. p. 528-530.
- Cruickshank, E. M., 1939. The effect of cod-liver oil and fish meal on the flavor of poultry products. *Proc. 7th World's Poultry Congress.* Cleveland, OH. 7:539-542.
- Dalloul, R. A., H. S. Lillehoj, T. A. Shellem, and J. A. Doerr, 2003. Enhanced mucosal immunity against *Eimeria acervulina* in broilers fed a Lactobacillus-based probiotic. *Poultry Sci.* 82:62-66.
- Dansky, L. M., 1962. The growth promoting properties of menhaden oil as influenced by various fats. *Poultry Sci.* 41:1352-1354.
- Deatherage, F. E., 1963. The effects of water and inorganic salts on tenderness. In: *Proceedings Meat Tenderness Symposium*, Campbell Soup Co., Camden, NJ, p. 45-68.
- Deshmukh, A. C. and P. H. Patterson, 1997a. Preservation of hatchery waste by lactic acid fermentation. 1. Laboratory scale fermentation. *Poultry Sci.* 76:1212-1219.
- Deshmukh, A. C. and P. H. Patterson, 1997b. Preservation of hatchery waste by lactic acid fermentation. 2. Large-scale fermentation and feeding trial to evaluate feeding value. *Poultry Sci.* 76:1220-1226.
- Evers, D. and D. Carroll, 1998. Ensiling salt-preserved shrimp waste, grass straw and molasses. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 71:241-249.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1997. *Tratamiento y Utilización de Residuos de Animal, Pesquero y Alimenticio en la Alimentación Animal. Memorias de un Taller Regional en la Habana Cuba.* FAO. Roma, Italia. pp 225.
- Fagbenro, O., K. Jauncey, and G. Taylor, 1994. Nutritive value of diets containing dried lactic acid fermented fish silage and soybean meal for juvenile *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus*. *Aquat. Living Resour.* 7:79-85.
- Ferket, P. R., and E. A. Foedgeding, 1994. How nutrition and management influence PSE in poultry meat. Pages 64-78 in: *Proceedings from BASF Technical Symposium, Multi-State Poultry Feeding and Nutrition Conference.* Indianapolis, IN.
- Fernández, X., A. Forslid, and E. Tornberg, 1994. The effect of high post-mortem temperature on the development of pale, soft and exudative pork: interaction with ultimate pH. *Meat Sci.* 37:133-147.
- Fernández-Coll, F., W. Molina-Rivera, T. Dopazo-Rodríguez, and I. B. de Caloni, 1990. Quality evaluation of different types of chicken consumed in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P. R.* 74(1):75-81.

- Fritts, C. A. and P. W. Waldroup, 2004. Utilization of PRO*CAL™ processing plant byproduct in simple corn-soy and complex industry finisher diets for broilers. *In: International Poultry Scientific Forum Program. The Southern Poultry Science Society 25th Annual Meeting. The Southern Conference on Avian Diseases 45th Annual Meeting. Co-sponsored by U. S. Poultry & Egg Association. January 26-27, 2004, Georgia World Congress Center, Atlanta, Georgia (110) p. 27.*
- Fry, J. L., P. van Walleggem, P. W. Waldroup, and R. H. Harms, 1965. Fish meal studies 2. Effects of levels and sources on “fishy flavor” in broiler meat. *Poultry Sci.* 44:1017-1019.
- Guarner, F. and G. J. Schaafsma, 1998. Probiotics. *Internat. J. Food Microbiol.* 39:237-238.
- Herring, H. K., R. G. Cassens, G. G. Suess, V. H. Brungardt, and E. J. Briskey, 1967. Tenderness and associated characteristics of stretched and contracted bovine muscles. *J. Food Technol.* 12:317-323.
- Honma, N., K. Ohtani, and H. Kikuchi, 1987. On effects of lactic acid bacteria. Part-II. Clinical effects. *New Med. Clin.*, 36:75.
- Hossain, M. H., M. U. Ahammad and M. A. R. Howlider, 2003. Replacement of fish meal by broiler offal in broiler diet. *Int. J. Poultry Sci.* 2(2):159-163.
- Huff, E. J. and F. C. Parrish, Jr., 1993. Bovine longissimus muscle tenderness as affected by postmortem aging time, animal age and sex. *J. Food Sci.* 58(4):713-716.
- Jauregui, C.A., J.M. Regenstein, and R. C. Baker, 1981. A simple centrifugal method for measuring expressible moisture, a water-binding property of muscle foods. *J. Food Sci.* 46: 1271-1273.
- Jin, L. Z., Y.W. Ho, N. Abdullah and S. Jalaudin, 1996. Influence of dried *Bacillus subtilis* and lactobacilli cultures on intestinal microflora and performance in broilers. *Asian-Australian J. Anim. Sci.* 9:99-107.
- Koohmaraie, M., M. E. Doumit, and T. L. Wheeler, 1996. Meat toughening does not occur when rigor shortening is prevented. *J. Anim. Sci.* 74:2935-2942.
- Kherrati, B., M. Faid, M. Elyachioui, and A. Wahmane, 1998. Process for recycling slaughterhouses wastes and by-products by fermentation. *Bioresour. Technol.* 63:75-79.
- Kropf, D. H., 1980. Effects of retail display conditions on meat color. *Proc. Recip. Meat Conf. AMSA, Savoy, IL.* 33:15-32.
- Langhout, P., 2000. New additives for broiler chickens. *Feed Mix.*, p. 24-27.
- Lawlor, J. B., E. M. Sheenan, C. M. Delahunty, J. P. Kerry, and P. A. Morrissey, 2003. Sensory characteristics and consumer preference for cooked chicken breasts from organic, corn-fed and conventionally reared animals. *Int. J. Poultry Sci.* 2(6):409-413.
- Lawrie, R.A., 1991. *Meat Science*. 5th ed. Pergamon Press, New York, NY. p. 56-60, 188, 206.

- Leeson, S. and J. D. Summers, 2001. Nutrition of the Chicken, 4th ed. University Books, Ontario, Canada. p. 486.
- Liu, Y., B. G. Lyon, W. R. Windham, C. E. Realini, T. D. Pringle, and S. Duckett, 2003. Prediction of color, texture, and sensory characteristics of beef steaks by visible and near infrared reflectance spectroscopy. A feasibility study. *Meat Sci.* 65:1107-1115.
- Liu, Y., B. G. Lyon, W. R. Windham, C. E. Lyon, and E. M. Savage, 2004. Principal component analysis of physical, color and sensory characteristics of chicken breasts deboned at two, four, six, and twenty-four hours postmortem. *Poultry Sci.* 83:101-108.
- Lovell, R. T., 1996. High feed prices in 1996 will affect feeding strategies. *Aquacult. Mag.* 22:95-97.
- MacKinney, G., A. C. Little, and L. Brinner, 1966. Visual appearance of foods. *Food Technol.* 20:1300.
- Marbray, C. J. and P. W. Waldroup, 1981. The influence of dietary energy and amino acid levels on abdominal fat development of the broiler chicken. *Poultry Sci.* 60:151-159.
- Marchaim, U., D. Levanon, O. Danai, and S. Musaphy, 1991. A suggested solution for slaughterhouse wastes: uses of the residual materials after anaerobic digestion. *Bioresour. Technol.* 37:127-134.
- McKee, S. R. and A. R. Sams, 1997. The effect of seasonal heat stress on rigor development and the incidence of pale exudative turkey meat. *Poultry Science* 76: 1616-1620.
- McKee, S. R. and A. R. Sams, 1998. Rigor mortis development at elevated temperatures induces pale, exudative turkey meat characteristics. *Poultry Sci.* 77:169-174.
- Midilli, M. and S. D. Tuncer, 2001. The effects of enzyme and probiotic supplementation to diets on broiler performance. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, 895-903.
- Mohan, B., R. Kardivel, A. Natarajan, and M. Bhaskaran, 1996. Effect of probiotic supplementation on growth, nitrogen utilization and serum cholesterol in broilers. *Br. Poult. Sci.*, 37:395-401.
- North, M. O., 1984. Commercial Chicken Production Manual. 3rd ed. Van Nostrand Reinhold, New York, NY.
- NRC, National Research Council, 1994. Nutrient Requirements of Poultry. National Academy Press. Washington D.C. pp. 26-32, 70.
- Odunsi, A. A., 2003. Blend of bovine blood and rumen digesta as a replacement for fishmeal and groundnut cake in layer diets. *Int. J. Poultry Sci.* 2(1):58-61.
- Offer, G., P. Knight, R. Jeacocke, R. Almond, T. Cousins, J. Elsey, N. Parsons, A. Sharp, R. Starr, and P. Purslow, 1989. The structural basis of water holding, appearance and toughness of meat and meat products. *Food Microstruct.* 8:151-170.

- Ologhobo, A. D., 1988. The effects of dried poultry dropping (DPD) and dried sewage sludge (DASS) on broiler carcass quality. *Biological Wastes* 23:99-105.
- Ott, R. L. and M. Longnecker, 2001. *Statistical Methods and Data Analysis*. 5th ed. Duxbury, Thomson Learning Inc., Pacific Grove, CA. p. 394-396.
- Owens, C. M., E. M. Hirschler, S. R. McKee, and A. R. Sams, 1998. The incidence of pale, soft, exudative turkey meat in a commercial plant. *Poultry Sci.* 77(Suppl. 1):308. (Abstr.)
- Owens, J. D. and L. S. Mendoza, 1985. Enzymatically hydrolysed and bacterially fermented fishery products. *J. Food Technol.* 20:273-293.
- Pagán, S., R. Sanabria, A.A. Rodríguez, H. L. Santiago, and M. Pagán, 2004. Fermenting sludge from a broiler processing plant: effect of inoculation with lactic acid-producing bacteria *In: Proceedings of the American Dairy Science Association (ADSA), American Society of Animal Science (ASAS), and the Poultry Science Association (PSA) Joint Annual Meeting*. St. Louis, MO. July 25 – 29, 2004. (W60) P. 327.
- Papa, C.M. and D.L. Fletcher, 1988. Pectoralis muscle shortening and rigor development at different locations within the broiler breast. *Poultry Sci.* 67:635-640.
- Pascual, M., M. Hugas, J. I. Badiola, J. M. Monfort, and M. Garriga, 1999. *Lactobacillus salivarius* CTC2197 prevents *Salmonella enteritidis* colonization in chickens. *Appl. Environ. Microbiol.* 65:4981-4986.
- Realini, C.E., S. K. Duckett, G. W. Brito, M. Dalla Rizza, and D. De Matos, 2004. Effect of pasture vs concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. *Meat Sci.* 66:567-577.
- Rodríguez, A. A., R. B. Fuentes, and H.L. Díaz, 2003. Anaerobic digestion and direct acidification of sludge from a poultry processing plant for potential use in animal diets. *J. Agric. Univ. P.R.* 87 (1-2):81-86.
- Rojas, S. W. , A. B. Lung, and R. V. Niño de Gusmán, 1970. Effects of Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) meal supplemented with santoquin on growth and fishy flavor of broilers. *Poultry Sci.* 49:2045-2052.
- Rolfe, R. D., 2000. The role of probiotic cultures in the control of gastrointestinal health. *J. Nutr.* 130:396S-402S.
- Sala, J. C. and C. Chiarella, 1963. Effect of using varying quantities of anchovy meal (*Engraulis ringens*) on the flavour of chicken meat. Paper presented at 4th annual conference of International Assn. of Fish Meal Manufacturers, Lima, Peru, Oct., 1963.
- Saleh, E. A., S. E. Watkins, A. L. Waldroup, and P. W. Waldroup, 2004a. Effects of dietary nutrient density on performance and carcass quality of male broilers grown for further processing. *Int. J. Poultry Sci.* 3(1):1-10.

- Saleh, E. A., S. E. Watkins, A. L. Waldroup, and P. W. Waldroup, 2004b. Consideration of dietary nutrient density and energy feeding programs for growing large male broilers for further processing. *Int. J. Poultry Sci.* 3(1):11-16.
- Salminen, E. and J. Rintala, 2002. Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste- a review. *Bioresur. Technol.* 83:13-26.
- Sams, A. R. and D. M. Janky, 1986. The influence of brine chilling on tenderness of hot-boned, chill-boned, and age-boned broiler breasts fillets. *Poultry Sci.* 65:1316-1321.
- Sanabria, R., S. Pagán, A.A. Rodríguez, H.L. Santiago, and M. Pagán, 2004. Fermenting sludge from a broiler processing plant: effect of different levels of cane molasses *In: Proceedings of the American Dairy Science Association (ADSA), American Society of Animal Science (ASAS), and the Poultry Science Association (PSA) Joint Annual Meeting. St. Louis, MO. July 25 – 29, 2004. (T28) P. 170*
- Sánchez, R., C.S. Santana, A.A. Rodríguez, and A.E. Sanjuán, 2001. Fermented tuna fish sludge in diets for growing pigs. *J. Agric. Univ. P.R.* 85:101-104.
- Santiago, H.L., M. Argüelles, and A.A. Rodríguez, 2004. Inclusion of a fermented fish by-product meal in Guinea fowl (*Numida meleagris*) diets: performance and carcass quality. *J. Agric. Univ. P.R.* 88(3-4)145-154.
- SAS Institute, 2002. SAS[®] / STAT . User's Guide. Version 9.00 edition. SAS Institute Inc. Cary, NC.
- Sayre, R. N., 1970. Chicken myofibril fragmentation in relation to factors influencing tenderness. *J. Food Sci.* 35:7-10.
- Sheridan, A. K. 1990. Genotype x environment interactions. *In: Poultry Breeding and Genetics, R. D. Crawford (ed.), Elsevier, Amsterdam. p. 897-912.*
- Shih, J. C. H., 1987. Ecological benefits of anaerobic digestion. *Poultry Sci.* 66:946-950.
- Shih, J. C. H., 1993. Recent development in poultry waste digestion and feather utilization. *Poultry Sci.* 72:1617-1620.
- Skinner, J. T., A. L. Waldroup and P. W. Waldroup, 1992. Effects of dietary nutrient density on performance and carcass quality of broilers 42 to 49 days of age. *J. Appl. Poult. Res.* 1:367-372.
- Solomon, E. P., L. R. Berg, and D. W. Martin, 1999. *Biology*, 5th ed. Saunders College Publishing, Orlando. FL. p. 500.
- Stern, N. J., N. A. Cox, J. S. Bailey, M.E. Berrang, and M. T. Musgrove, 2001. Comparison of mucosal competitive exclusion and competitive exclusion treatment to reduce *Salmonella* and *Campylobacter* spp. colonization in broiler chickens. *Poultry Sci.* 80:156-160.
- Stevens, L., 1991. Selection in practice. *In: Genetics and Evolution of the Domestic Fowl*, 1st ed. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 147-160.

- Stewart, M. K., D. L. Fletcher, D. Hamm, and J. E. Thomson, 1984. The effect of hot boning broiler breast muscle on postmortem pH decline. *Poultry Sci.* 63:2181-2186.
- Strompfova, V., M. Marcinakova, S. Gancarcikova, Z. Jonecova, L. Scirankova, P. Guba, J. Koscova, K. Boldizarova, A. Laukova, 2005. New probiotic strain *Lactobacillus fermentum* AD1 and its effect in Japanese quail. *Vet. Med. – Czech* 50(9):415-420.
- Sudradjat, R., 1990. Transformation and uses of digested solid organic residues. Ph.D. Thesis, Rijksuniversiteit Gent.
- Thielke, S., S. K. Lhafi, and M. Kühnet, 2005. Effects of aging prior to freezing on poultry meat tenderness. *Poultry Sci.* 84:607-612.
- Thompson, L. D., D. M. Janky, and S. A. Woodward, 1987. Tenderness and physical characteristics of broiler breast fillets harvested at various times from post-mortem electrically stimulated carcasses. *Poultry Sci.* 66:1158-1167.
- Turner, C. and C. H. Burton, 1997. The inactivation of viruses in pig slurries: a review. *Bioresour. Technol.* 61:9-20.
- Van Laack, R. L. J. M., C. H. Liu, M. O. Smith, and H. D. Loveday, 2000. Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. *Poultry Sci.* 79:1057-1061.
- Waliszewski, K. N., A. Romero and V. T. Padio, 1997. Use of cane condensed molasses solubles in feeding broilers. *Animal Feed Sci. Technol.* 67:253-258.
- Waldroup, P. W., C. A. Fritts, F. D. Clark, N. M. Dale, and A. B. Batal, 2004. Evaluation of PRO*CAL™ processing plant byproduct in broiler starter diets. *In: International Poultry Scientific Forum Program. The Southern Poultry Science Society 25th Annual Meeting. The Southern Conference on Avian Diseases 45th Annual Meeting. Co-sponsored by U. S. Poultry & Egg Association. January 26-27, 2004, Georgia World Congress Center, Atlanta, Georgia (109) p. 27.*
- Warris, P. D., and S. N. Brown, 1987. The relationship between initial pH, reflectance and exudation in pig muscle. *Meat Sci.* 20:65-72.
- Whiteman, C. E. and A. A. Bickford, 1988. Avian disease manual 3rd ed. American Association of Avian Pathologists, Poultry Pathology Laboratory, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA. pp. 84-87,102-105.
- Wooley, R. E. , T. P. Gilbert, W. K. Whitehead, E. B. Shotts, Jr., and C.N. Dobbins, 1981. Survival of viruses in fermented edible waste material. *Am. J. Vet. Res.* 42:87-90.
- Wulf, D. M. and J. W. Wise, 1999. Measuring color of beef carcasses using the L*a*b* color space. *J. Anim. Sci.* 77:2418-2427.

VITA

José Antonio Orama Molina, hijo de Antonio Orama González, hijo y Margarita Molina Adorno, nació el 19 de junio de 1978 en Río Piedras, Puerto Rico. En 1982 comenzó estudios elementales hasta el quinto grado en el Colegio Janil en Vega Baja, Puerto Rico. En 1989, ingresa al sexto grado en el Colegio Marista de Manatí, P.R., de donde se graduó con altos honores de escuela superior en mayo de 1995. En agosto de ese mismo año, comenzó estudios universitarios en el currículo de Pre-Médica del Departamento de Biología de la Facultad de Artes y Ciencias en el Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico. En enero de 1999 realizó traslado al programa de Biotecnología Industrial. En agosto de 2000, hizo nuevamente traslado al Colegio de Ciencias Agrícolas, Departamento de Industria Pecuaria, donde obtuvo el grado de Bachiller en Ciencias (Industria Pecuaria) con altos honores (Magna Cum Laude) en junio de 2003. En agosto de 2003, es admitido al programa de Estudios Graduados del Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico como candidato a Maestro en Ciencias en el Departamento de Industria Pecuaria del Colegio de Ciencias Agrícolas. Desde enero de 2005 estudia bajo la tutela del Dr. Héctor L. Santiago Anadón los efectos de la inclusión de lodo de industria avícola fermentado y desecado en dietas para pollos de engorde sobre el desempeño productivo, características de la canal y calidad de la carne. Entre las organizaciones que pertenece o ha pertenecido se encuentran la Sociedad Honoraria de Agricultura Gamma Sigma Delta, Poultry Science Association, Sociedad Puertorriqueña de Ciencias Agrícolas, Sociedad Honoraria de Biología Beta Beta Beta, Círculo de Pre-Médicos del RUM y la Sociedad Nacional de Honor.