



Artículos científicos

Efecto de la fuente energética y el nivel de energía sobre la longitud de vellosidades intestinales, la respuesta inmune y el rendimiento productivo en pollos de engorda

Effect of energy source and level on the length of intestinal villi, immune response and the production performance in broilers

Mateo Fabian Itzá-Ortiz* Carlos López-Coello** Ernesto Ávila-González***
Sergio Gómez-Rosales† José Arce-Menocal‡ Pablo Alfonso Velásquez-Madrado°

Abstract

The objective of this study was to evaluate, during the whole productive cycle, the use of three energy sources with different unsaturated (UFA) and saturated (SFA) fatty acid profiles with two levels of metabolizable energy (ME), in diets for broilers, vaccinated or not against infectious bursal disease (IBD). Two experiments were conducted evaluating the three energy sources with different UFA and SFA profiles corresponding to soybean crude oil (SCO), a mixture of 46.8% pig fat with 53.2% bovine fat (PBF), and a mixture of 39.2% animal fat with 60.8% of vegetable oil (AVF). In the first Trial, diets contained two levels of ME (3 000 and 3 200 kcal/kg) for vaccinated and non vaccinated broilers against IBD. The second Trial used SCO, PBF, AVF, SCO/PBF and SCO/AVF in the diets, substituting SCO with PBF and AVF in the last two treatments on day 22. In Trial 1, SCO group showed higher growth and IgA concentration than PBF and AVF ($P < 0.05$), the broilers fed with 3 200 Kcal/kg ME ($P < 0.05$) were heavier and had higher titers of antibodies against IBD. At 21 days of age, vaccinated birds had a higher productive performance along with highest IgA and IgG concentrations, and larger length of villi in duodenum and jejunum ($P < 0.05$). In Trial 2, higher concentration of unsaturated fatty acids in SCO enhanced feed conversion the first 21 days of age ($P > 0.05$); later on, during growing and finishing there were no differences among energy sources. As a conclusion, it can be said that in broilers, during the growing stage, there is a positive effect on performance and immune protection according to the source and concentration of energy.

Key words: FATTY ACIDS, PRODUCTIVE PERFORMANCE, VILLI, ANTIBODIES, CARCASS YIELD.

Resumen

El objetivo del trabajo fue evaluar el uso de tres fuentes energéticas con diferente perfil de ácidos grasos insaturados (AGI) y saturados (AGS) en dietas para pollos de engorda con dos niveles de energía metabolizable (EM), vacunados o no contra la infección de la bolsa de Fabricio (IBF) y el uso durante todo el ciclo productivo. Se realizaron dos experimentos evaluando la inclusión de las tres fuentes energéticas con distinto perfil de AGI y AGS que correspondieron al aceite crudo de soja (ACS), combinación de grasa de cerdo (46.8%) y bovino (53.2%) (GCB), combinación de grasa animal (39.2%) y aceite vegetal (60.8%) (GAV). En el Experimento 1 se incluyeron en las dietas a dos niveles de EM (3 000 y 3 200 kcal/kg) en pollos vacunados o no contra IBF. Para el Experimento 2 se utilizaron en las dietas ACS, GCB, GAV, ACS/GCB y ACS/GAV, sustituyendo ACS con GCB y GAV en los últimos dos tratamientos el día 22. En el Experimento 1 el grupo con ACS presentó mayor crecimiento y concentración de IgA en comparación con los de GCB y GAV ($P < 0.05$), los pollos alimentados con 3 200 kcal/kg de EM ($P < 0.05$) fueron más pesados y tuvieron títulos más elevados de anticuerpos contra la IBF. Las aves vacunadas tuvieron un mayor rendimiento productivo, concentración de IgG e IgA, así como mayor longitud de vellosidades en duodeno y yeyuno a los 21 días ($P < 0.05$). En el Experimento 2 la inclusión de ácidos

Recibido el 30 de noviembre de 2007 y aceptado el 28 de julio de 2008.

*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Departamento de Producción Animal: Aves, 04510, México, D. F., correo electrónico: mitzao@hotmail.com

**Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Departamento de Producción Animal: Aves, 04510, México, D. F.

***Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola, Av. Salvador Díaz Mirón s/n, Col. Zapotitlán, 13209, México, D. F.

†Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología Animal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Km 1, carretera Ajuchitlán-Colón, 76280, Ajuchitlán, Querétaro, México.

‡Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Uruapan, Ecuador 120, Fraccionamiento Américas, 58270, Morelia, Michoacán, México.

°Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México, Prolongación Corregidora Norte 907, Fraccionamiento Villas del parque, 76140, Querétaro, Querétaro, México.

grasos insaturados en ACS mejoró la conversión alimenticia en los primeros 21 días de edad ($P > 0.05$); posteriormente, durante el crecimiento y finalización no existió diferencia entre las fuentes concentradas de energía. Se concluye que, por la fuente en la etapa de iniciación, concentración energética y vacunación, existe un efecto sobre la productividad y protección inmunitaria de los pollos.

Palabras clave: ÁCIDOS GRASOS, DESEMPEÑO PRODUCTIVO, VELLOSIDADES, ANTICUERPOS, RENDIMIENTO DE CANAL.

Introduction

Carbohydrates are the main energy source in broiler rations, and these mainly come from cereals, such as maize and sorghum; nevertheless, in the current production systems concentrated energy sources (CES) such as fat, vegetable oil, or combinations thereof are included, to be able to cover metabolizable energy (ME) needs, as well as linoleic acid requirements of poultry, with the purpose of being able to manifest their genetic productive potential at six or seven weeks of age.¹

During the first days of the chicks, there are physiological, biochemical and anatomical limitations for them to have complete digestion of CES, as well as the subsequent absorption of fatty acids (such as lower production and concentration of pancreatic lipases), this happens together with a deficient entero-hepatic circulation of bile salts that emulsify fats and form mycels, physical and chemical pre-requisites that are indispensable for a greater absorption of fatty acids and all this is independent of intestinal villi level of maturity.² Emulsification and digestion of these energy rich ingredients, increase whenever the lipids contain a higher proportion of unsaturated fatty acids (UFA), when compared to saturated ones (SFA),³ as it also happens with age;⁴ in such a manner that by the second week the broiler chick has full capacity of lipid digestion and absorption of those fatty acids.⁵

From the immunological point of view, the main source of maternal antibodies in the embryo is found in the residual protein of the vitellin and albumen; IgG are found in the yolk, IgM and IgA in albumen. Considerable amounts of maternal origin IgM and IgA are present in the vitellin sac, as well as in albumen; one day after hatching, 75% of the immune cells of the bird are found in the small intestine, associated to the lymphoid tissue;⁶ in this context, it has been shown that the development of the immune system is related to the growth of the digestive system, and such aspects are favorably stimulated by the presence of lipids in the diet.⁷

Currently, researchers' interest is directed towards the benefit that is provided by CES as related to the development of the digestive and immune systems, and its main focus is on the preparation of diets with polyunsaturated fatty acids (PUFA).⁸

Introducción

La principal fuente de energía en la ración para pollos de engorda son los carbohidratos, que se aportan vía cereales, como el maíz y el sorgo; sin embargo, en los actuales sistemas de producción se incluyen fuentes concentradas de energía (FCE) como grasas, aceites vegetales o combinación de ellas, para cubrir sus necesidades de energía metabolizable (EM) y el requerimiento de ácido linoleico que necesitan esas aves, con el propósito de que manifiesten en seis o siete semanas su potencial genético productivo.¹

Durante los primeros días de los pollos existen limitaciones fisiológicas, bioquímicas y anatómicas para su completa digestión de la FCE, así como de su posterior absorción de los ácidos grasos (como la menor producción y concentración de lipasas pancreáticas), al igual que una deficiente circulación enterohepática de las sales biliares que llevan a mala emulsificación de grasas y a la formación de micelas, prerequisites fisicoquímicos indispensables para la mayor absorción de sus ácidos grasos, independientemente de la inmadurez de las vellosidades intestinales.² La emulsificación y digestión de estos ingredientes, ricos en energía, aumentan cuando los lípidos contienen mayor proporción de ácidos grasos insaturados (AGI), en comparación con los saturados (AGS),³ al igual que con la edad;⁴ de tal manera que a la segunda semana de vida el pollo de engorda tiene plena capacidad de digestión de lípidos y absorción de estos ácidos grasos.⁵

Desde el punto inmunológico, la principal fuente de anticuerpos maternos en el embrión se localiza en la proteína residual del vitelo y albúmina; las IgG se encuentran en la yema, las IgM e IgA en la albúmina. Cantidades considerables de IgM e IgA de origen materno están presentes en el saco vitelino, así como en la albúmina; un día después de la eclosión, aproximadamente 75% de las células inmunitarias del ave se hallan en el intestino delgado, asociadas con el tejido linfóide;⁶ en este contexto, se ha demostrado que el desarrollo del sistema inmune tiene relación con el crecimiento del sistema digestivo, tales aspectos son estimulados de manera favorable por la presencia de lípidos en la dieta.⁷

En la actualidad, el interés de los investigadores sobre el beneficio que proporcionan las FCE en

Main PUFA with immunomodulatory activity, according to the number of carbons, amount and type of links are linoleic (18:2n-6) and α -linolenic (18:3n-3) acids.⁹ UFAs n-6 and n-3 in the diet promote intestinal villi growth in number and length,¹⁰ and induce immunomodulatory activity after their incorporation to the lymphoid tissue, mainly in organs (Fabricius bursa, thymus and bone marrow) that have a relationship with immunoglobulin production.¹¹

In the last few years, genetic selection directed towards faster growth has had a negative impact on the development of the immune system,¹² leaving broilers more vulnerable to infectious agents; therefore, having the possibility of reducing productive performance. In light of the foregoing, the objective of this study was to evaluate the use of three different energy sources, with different UFA and SFA profile in initiation broiler chick diets (0 to 21 days of age) with two levels of ME (higher or lower amount in the CES diets), vaccinated or not against infectious Fabricius bursa disease (IBD) in order to determine its effect at 21 days of age on intestinal villi length (duodenum, jejunum and ileum), relationship of Fabricius bursa with body weight, antibody titers against IBD, and total IgG concentration in blood serum and IgA from intestinal lavage. Also, in a second experiment of complete cycle up to 49 days of age, productive parameters, flock uniformity, carcass yield and skin pigmentation were evaluated.

Material and methods

Experiment 1

This research was carried out in the farm of Veterinary Medicine and Animal Husbandry Faculty of the Autonomous University of Yucatan (FMVZ-UADY), in what was the hacienda of X'matkuil, municipality of Merida, Yucatan, located at 20°58'N and 89°36'W, at 9 masl; climate is Aw₀ type that is characterized as being the most dry one of the sub-humid warm climates, according to Köppen classification, as modified by García,¹³ with annual temperature between 21 and 33.8°C. The experimental poultry house is handled under natural environment with cement floor, divided into 48, 1 × 1 m lots; equipped with 45 cm in diameter hopper feeders, 25 cm in diameter initiation drinking system and val type nipple.

Four-hundred and eighty Hubbard line male chicks, from the same breeder lot and same hatcher were used, from day 0 until 21 days of age; birds were randomly assigned into 12 treatments with four repetitions of ten chicks each, with an initial population density of 10 birds/m². Each experimental lot was handled with artificial heating.*

relación con el desarrollo de los sistemas digestivo e inmune, ha sido enfocado principalmente en la elaboración de dietas con ácidos grasos poliinsaturados (AGPI).⁸

Los principales AGPI con acción inmunomoduladora, de acuerdo con el número de carbonos, cantidad y tipos de enlace, son los ácidos linoleico (18:2n-6) y α -linolénico (18:3n-3).⁹ Los AGI n-6 y n-3 de la dieta promueven el crecimiento de las vellosidades del intestino en cuanto a número y longitud,¹⁰ e inducen acciones inmunomodulatorias después de su incorporación al tejido linfoide, principalmente en órganos (bolsa de Fabricio, timo y médula ósea), que tienen relación con la producción de inmunoglobulinas.¹¹

En los últimos años la selección genética hacia mayor velocidad de crecimiento, ha tenido impacto negativo en el desarrollo del sistema inmunitario,¹² dejando más vulnerables a los pollos de engorda contra agentes infecciosos; por ende, puede haber decremento del rendimiento productivo. Como consecuencia de lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el uso de tres fuentes energéticas con diferente perfil de AGI y AGS en dietas de iniciación de pollos de engorda (0 a 21 días de edad) con dos niveles de EM (mayor o menor cantidad en las dietas de las FCE), vacunados o no contra la infección de la bolsa de Fabricio (IBF) con el fin de determinar su efecto a los 21 días de edad sobre la longitud de las vellosidades del intestino (duodeno, yeyuno e íleon), relación bolsa de Fabricio; peso corporal, títulos de anticuerpo contra la IBF, y la concentración total de IgG a partir del suero sanguíneo e IgA de lavado intestinal. Asimismo, en un segundo experimento de ciclo completo hasta los 49 días de edad se evaluaron los parámetros productivos, uniformidad de la parvada, rendimiento de canal y pigmentación de la piel.

Material y métodos

Experimento 1

La presente investigación se realizó en la granja de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán (FMVZ-UADY), en la ex-hacienda X'matkuil, municipio de Mérida, Yucatán, a 20°58' N y 89°36' O, a 9 msnm; el clima es del tipo Aw₀ que se caracteriza por ser el más seco de los climas cálidos-subhúmedos, de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García,¹³ con temperatura anual entre 21 y 33.8°C. La caseta avícola experimental es de ambiente natural con piso de cemento, con 48 lotes de 1 × 1 m; están equipadas con comedero de tolva de 45 cm de diámetro, bebedero iniciador de 25 cm de diámetro y bebedero de niple tipo val.

Three different energy sources were evaluated in diets with two different levels of ME (3 000 and 3 200 kcal/kg). Energy sources were: *a*) soybean crude oil (SCO), formed by 84.1% UFA, 16.2% SFA and 0.7% free fatty acids (FFA); with 8 370 kcal/kg ME;¹⁴ *b*) combination of pork (46.8%) and bovine (53.2%) fat (PBF) less saturated than fat *per se*, obtaining the following profiles: 56.4% UFA, 40.17% SFA and 3.43% FFA, with a value of 7 997 kcal/kg ME;¹⁵ *c*) combination of animal fat (39.2%) and vegetable oil (60.8%) (AVF) from refined kitchen fat and oils with 74.83% UFA, 23.76% SFA and 1.41% FFA, less saturated than PBF, but more saturated than SCO, with an energy value of 8 495 kcal/kg ME.¹⁵ Fatty acid profiles were determined in a chromatograph** by AOAC¹⁶ gas chromatography technique (Table 1).

Experimental diets were prepared with a soy paste and yellow maize meal (Table 2), and it was seen that higher ME levels required a higher amount of CES. Feed and water were provided *ad libitum*. Lighting program was 24 hours/day during the first four days of life, continuing with 20 hours/day until the end of the experiment. In the farm, chicks received orally only IBD*** vaccine or distilled water at 12 days of age.

Taking, processing and evaluation of samples

At 21 days of age the following production indicators were observed: body weight (BW) (g), feed consumption (g) and corrected feed conversion taking into account the feed consumed by mortality (g/g).

At 11 and 21 days of age blood samples were taken from the radial vein from two birds per replica complying with NOM-062-ZOO-1999, using a 3 mL syringe and 23 G × 25 mm needle. In order to obtain IBD antibodies titer, ELISA method was used according to the specifications of the equipment manufacturer,* and also the total concentration of IgG and IgA was measured using the ELISA method.^{17,18} The blood sample was placed in a 6.5 mL test tube and allowed to rest during an hour at 32°C. The serum was separated from the clot by centrifugation at 250 *g* for 10 min and frozen at -20°C until it was analyzed.¹⁷

Sampled chicks were weighed and slaughtered by cervical dislocation according to NOM-033-ZOO-1995. Fabricius bursa (FB) was dissected at necropsy to measure its diameter with a Vernier in order to obtain a relationship between FB diameter to body weight (FB:BW) according to the equation (FBD/BW)*1 000 (modified by Ismail *et al.*¹⁹).

Samples of approximately 1.5 cm in length were taken from a transverse segment of the intestine, from the duodenum of the middle part of the descending loop; a second same length segment, from the jeju-

Se utilizaron 480 pollitos, machos, de la estirpe Hubbard, desde el día 0 hasta los 21 días de edad, provenientes de un mismo lote de reproductora y de la misma máquina incubadora; las aves fueron distribuidas de forma aleatoria en 12 tratamientos con cuatro repeticiones de diez pollos cada uno, con densidad de población inicial de 10 aves/m². Cada lote experimental recibió calor artificial.*

Se evaluaron tres diferentes fuentes energéticas bajo dietas con dos distintos niveles de EM (3 000 y 3 200 kcal/kg). Las fuentes energéticas fueron: *a*) aceite crudo de soya (ACS), compuesto por 84.1% de AGI, 16.2% de AGS y 0.7% de ácidos grasos libres (AGL); con 8 370 kcal/kg de EM;¹⁴ *b*) combinación de grasa de cerdo (46.8%) y bovino (53.2%) (GCB) menos saturada que la grasa *per se*, para obtener los siguientes perfiles: 56.4% de AGI, 40.17% de AGS y 3.43% de AGL, con valor de 7 997 kcal/kg de EM;¹⁵ *c*) combinación de grasa animal (39.2%) y aceite vegetal (60.8%) (GAV) proveniente de refinado de grasas y aceites de cocina con 74.83% de AGI, 23.76% de AGS y 1.41% de AGL, menos saturada que la GCB, pero más saturada que el ACS, con valor energético de 8 495 kcal/kg de EM.¹⁵ El perfil de los ácidos grasos de las fuentes energéticas *b*) y *c*) se determinaron mediante la técnica de la AOAC,¹⁶ por medio de cromatografía de gases con un cromatógrafo** (Cuadro 1).

Las dietas experimentales fueron elaboradas con base en pasta de soya y maíz amarillo en presentación de harina (Cuadro 2), apreciándose que el nivel más alto de EM requirió mayor cantidad de las FCE. El alimento y el agua fueron proporcionados *ad libitum*. El programa de iluminación fue de 24 horas/día durante los primeros cuatro días de vida, continuando con 20 horas/día hasta el final del experimento. Los pollitos recibieron, vía oral en granja, sólo la vacuna contra la IBF*** o agua destilada a los 12 días de edad.

Toma, procesamiento y evaluación de muestras

A los 21 días de edad se obtuvieron los siguientes indicadores productivos: peso corporal (PC) (g), consumo de alimento (g) y conversión alimenticia corregida tomando en cuenta el alimento consumido por la mortalidad (g/g).

A los 11 y 21 días de edad se tomaron muestras de sangre, de la vena radial, a dos aves por réplica de acuerdo con la NOM-062-ZOO-1999, usando una jeringa de 3 mL y aguja de 23 G × 25 mm. Para obtener títulos de anticuerpos contra la IBF, se determinaron según las especificaciones del fabricante del equipo

*Criadora de gas Dyc, Estados Unidos de América.

**Hewlett Packard, Estados Unidos de América.

***Fort Dodge, Estados Unidos de América.

Cuadro 1				
CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS INSATURADOS Y SATURADOS DE CADENA LARGA (C18) EN LAS FUENTES ENERGÉTICAS (g/100 mL)				
LONG CHAIN (C18) SATURATED AND UNSATURATED FATTY ACID CONTENT IN ENERGY SOURCES (g/100 mL)				
	<i>Fatty acids (%)</i>			
	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
SCO ^a	4.90	28.20	50.20	5.60
PBF ^b	24.03	40.32	10.13	1.05
AVF ^b	3.50	38.76	24.89	2.60

^a NRC, 1994.
^b Analyzed by FMVZ-UADY
SCO: soybean crude oil.
PBF: Combination of pig (46.8%) and bovine fat (53.2%).
AVF: Combination of animal fat (39.2%) and vegetable oil (60.8%).

Cuadro 2						
DIETAS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS CALCULADO (Experimento 1)						
EXPERIMENTAL DIETS AND ANALYSIS ESTIMATE (Experiment 1)						
<i>Ingredient</i>	<i>Low ME 3 000 kcal/kg</i>			<i>High ME 3 200 kcal/kg</i>		
	<i>0 to 21 days</i>			<i>0 to 21 days</i>		
Yellow maize (8.5%)	492.47	483.30	491.23	445.11	429.36	442.96
Soy paste (46%)	405.35	406.73	405.00	414.14	416.41	413.56
SCO*	53.31	-	-	91.91	-	-
PBF**	-	61.10	-	-	105.35	-
AVF***	-	-	54.90	-	-	94.66
Calcium carbonate (36%)	18.40	18.39	18.40	18.33	18.31	18.33
Calcium ortophosphate (21% /18%)	17.51	17.53	17.50	17.62	17.65	17.61
DL-Methionin (99%)	3.51	3.52	3.51	3.54	3.55	3.54
Salt with iodine	3.35	3.35	3.35	3.36	3.36	3.36
Sodium bicarbonate	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Flavomicin (4%)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mineral premix****	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Choline chloride (60%)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Robenidin (13.2%), Etopabate (0.10%)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ETQ (20%)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Vitamin premix*****	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
L-Threonine (98%)	0.23	0.24	0.23	0.29	0.31	0.28
HCl-Lysine (78.5%)	0.17	0.14	0.18	0.00	0.00	0.00
Totals	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000

*SCO: soybean crude oil. **PBF: Combination of pig (46.8%) and bovine fat (53.2%). ***AVF: Combination of animal fat (39.2%) and vegetable oil (60.8%).
****Manganese, 80 g; zinc, 100 g; iron, 90 g; copper, 10 g; iodine, 0.70 g; selenium, 0.20 g; cobalt, 0.2 g; excipient sfp, 750 g.
*****Vitamin A, 12 000 000 IU; D₃, 3 000 000; vitamin E, 50 g; vitamin K₃, 5 g; vitamin B₁, 3 g; vitamin B₂, 6 g; vitamin B₆, 6 g; vitamin B₁₂, 50 mg; biotin, 300 mg; folic acid 2 g; niacin, 50 g; pantothenic acid, 25 g; excipient sfp, 250 g
The percentage of estimated nutriment for the experimental diets was: crude protein, 23; lysine, 1.3; methionine, 0.65' methionine + cystine, 0.97; threonine, 0.82; tryptophan, 0.27; calcium, 1.0; available phosphorus, 0.48 and sodium, 0.18%; establishing 3 000 and 3 200 kcal/kg ME for treatments with low and high energy density.

num 1 cm after the Meckel diverticulum; and a third same length segment from the ileum, having as a reference the zone immediately before the beginning of the cecum. Samples were set and preserved in neutral 10% formalin; they were processed by conventional paraffin inclusion method to obtain samples of 4 micrometers thick, then stained with hematoxylin and eosin for histological study that consisted in obtaining the average length of ten villi selected randomly from each bird-intestinal section observed with the 4X panoramic objective,** measured from the limit of the internal lamina propria mucosa up to the border of the epithelium in the apical part of the villi.

Data Analysis and statistical model

The following mixed SAS²⁰ model was applied in the treatments to explain total variation and it is represented as:

$$Y_{ijklm} = \mu + F_i + N_j + I_k + D_l + FN_{ij} + \epsilon_{ijklm}$$

where:

Y_{ijklm} = m-th random observation of the independent variable associated with the l-th sampling day, subjected to the k-th immunization, consuming the j-th level of energy from the i-th energy source.

μ = general mean.

F_i = set effect of the i-th energy source. (i = 1,2,3)

N_j = set effect of the j-th level of energy. (j = 1,2)

I_k = set effect of the k-th immunization. (k = 1,2)

D_l = set effect of the l-th sample taking day of the m-th chick. (l=1,2)

FN_{ij} and NI_{jk} = interactions between the four previous effects

and ϵ_{ijklm} = random error NID(0, σ^2).

Comparison between means was carried out with the multiple range test according to SNK,²¹ taking as a minimum significant difference $P < 0.05$.

Experiment 2

Research was carried out in the experimental farm, in Charo municipality of Michoacan, Mexico, at 19° 41' N and 101°11' W, 1 941 masl, with Cbw1 type climate, characterized by being temperate-humid according to Köppen classification, modified by Garcia,¹³ with annual temperature between -2.4 and 37.5°C. The experiment house has natural environment, cement floor, with 28 lots of 4 × 2.5 m, equipped with four hopper feeders of 45 cm in diameter and a bell type Plasjon watering system.

Three energy source diets (SCO, PBF and AVF) of Experiment 1 that were given to three thousand Ross

por el método de ELISA,* y también se midió la concentración total de IgG e IgA, la cual se realizó utilizando el método de ELISA.^{17,18} La muestra de sangre fue colocada en un tubo de ensayo de 6.5 mL, dejándola reposar una hora a 32°C. El suero fue separado del coágulo por centrifugación a 250 g por 10 min y congelado a -20°C hasta su análisis.¹⁷

Los pollitos muestreados fueron pesados y sacrificados por dislocación cervical con base en la NOM-033-ZOO-1995. A la necropsia se diseccionó la BF para medir el diámetro con un Vernier y con ello obtener la relación diámetro BF:PC de acuerdo con la ecuación (DBF/PC)*1 000 (modificado de Ismail *et al.*¹⁹).

Se tomaron muestras del intestino de un segmento transversal, aproximadamente 1.5 centímetros de largo, del duodeno de la parte media del asa descendente; un segundo segmento de la misma longitud en el yeyuno a 1 cm posterior al divertículo Meckel; y un tercer segmento de la misma longitud en el íleon, teniendo como referencia la zona inmediata anterior del inicio de los ciegos. Las muestras fueron fijadas y conservadas en formalina neutra al 10%; se procesaron mediante el método convencional de inclusión en parafina para obtener muestras de 4 micrómetros de espesor, tiñéndose con hematoxilina y eosina para su estudio histológico, que consistió en obtener el promedio de la longitud de diez vellosidades de forma aleatoria de cada sección del intestino-ave con el objetivo panorámico 4X,** desde el límite de la capa muscular interna de la mucosa y la lámina propia hasta el borde del epitelio en la parte apical de la vellosidad.

Análisis de datos y modelo estadístico

Se aplicó en los tratamientos el siguiente modelo mixto SAS²⁰ que explicó el total de la variación, y es representado como:

$$Y_{ijklm} = \mu + F_i + N_j + I_k + D_l + FN_{ij} + \epsilon_{ijklm}$$

donde:

Y_{ijklm} = m-ésima observación aleatoria de la variable independiente asociada al l-ésimo día de muestreo, sometido a la k-ésima inmunización, consumiendo el j-ésimo nivel de energía a partir de la i-ésima fuente energética.

μ = media general.

F_i = efecto fijo de la i-ésima fuente energética.

(i = 1,2,3)

N_j = efecto fijo del j-ésimo nivel de energía.

(j = 1,2)

I_k = efecto fijo del k-ésimo manejo de inmunización. (k = 1,2)

*IDEXX, Inc., Estados Unidos de América.

**Carl Zeiss, Alemania.

line not selected for gender chicks from day 0 to day 49 of age were evaluated. The chicks came from one lot of breeders and born in the same hatching machine. The chicks were randomly distributed into five treatments with five repetitions of 120 chicks each; the initial population density was 12 birds per m². During the first four weeks of age artificial heat was provided with catalytic rearing machines that were used one per each two repetitions.

Experimental feed was prepared in a commercial manner, based on soy paste and yellow maize meal during the three phases (initiation 0 to 21 days, growing 22 to 35 days and finishing 36 to 49 days) (Table 3), diets were isonitrogenated and isoenergetic, amply complying thus with recommended nutrimental requirements for broilers.¹⁴

In treatments 1, 2 and 3, each one of the three energy sources (SCO, PBF and AVF) were included during all of the experimental period; in the case of treatments 4 and 5, during the first 21 days of age SCO was used in the diets, and from day 22 on it was changed for PBF (SCO/PBF) and AVF (SCO/AVF), respectively until the end of the experimental period.

Feed and water were offered *ad libitum*. Illumination program consisted of a natural light photo-period of 11.5 hours. Sanitary and handling programs were similar for all the birds: in the hatchery Marek disease vaccine was applied and in the farm the chicks were vaccinated for Newcastle (LaSota strain), by eye and mouth at eight and 25 days of age, respectively, and against IBD at 14 days of age.

Taking, processing and evaluation of samples

On days 21, 35 and 49 of age the following were evaluated as variables BW (g), feed consumption (g) and feed conversion adjusted to mortality (feed consumption/weight gain of live and dead birds) (g/g), general mortality (%) identifying that which was caused by ascitic syndrome (AS). Efficacy index (EI) was established with the following equation:²²

$$IE = \left(\frac{\text{Viability\%} \times \text{Body Weight (kg)}}{\text{Age days} \times \text{Conversion feed}} \right) \times 100$$

At 49 days of age eight females and eight males were randomly selected to weigh them per each repetition (40 chicks/treatment) to obtain the percentage of flock uniformity based on the variation coefficient. At the end of the experiment two males and two females per repetition were randomly selected (20 birds/treatment), that had an average weight similar to the experimental lot, they were identified on the right tarsus and were subjected to eight hour fast and

D_l = efecto fijo del l-ésimo día de toma de la muestra en el m-ésimo pollito. ($l = 1, 2$)

FN_{ij} y NI_{jk} = interacciones entre los cuatro efectos anteriores

y ε_{ijklm} = error aleatorio NID(0, σ^2).

La comparación entre medias se realizó con la prueba de rango múltiple según SNK,²¹ tomando como diferencia mínima significativa $P < 0.05$.

Experimento 2

La investigación se llevó a cabo en una granja experimental, en el municipio de Charo, Michoacán, México, a 19°41'N y 101°11'O, a 1 941 msnm, con clima tipo Cbw₁, que se caracteriza por ser templado-húmedo de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García,¹³ con temperatura anual entre -2.4 y 37.5°C. La caseta experimental es de piso de cemento de ambiente natural, con 28 lotes de 4 × 2.5 m, equipados con cuatro comederos de tolva de 45 cm de diámetro y un bebedero de campana tipo Plasson de 65 cm de diámetro.

Se evaluaron las tres fuentes energéticas del Experimento 1 en dietas (ACS, GCB y GAV), en tres mil pollitos no sexados de la estirpe Ross, desde el día 0 hasta los 49 días de edad, provenientes de un solo lote de reproductoras y nacidos en la misma máquina incubadora. Los pollos fueron distribuidos de forma aleatoria en cinco tratamientos con cinco repeticiones de 120 pollos cada una, con densidad de población inicial de 12 aves/m². Durante las primeras cuatro semanas de vida se proporcionó calor artificial con criadoras catalíticas, que se utilizaron una por cada dos repeticiones.

Los alimentos experimentales se elaboraron de manera comercial, con base en pasta de soya y maíz amarillo en presentación de harina en las tres fases (iniciación 0 a 21 días, crecimiento 22 a 35 días y finalización 36 a 49 días) (Cuadro 3), las dietas fueron isoenergéticas e isonitrogenadas, con ello se cumplió ampliamente con las recomendaciones respecto de los requerimientos nutrimentales para pollos de engorda.¹⁴

En los tratamientos 1, 2 y 3 se incluyeron cada una de las tres fuentes energéticas (ACS, GCB y GAV) durante todo el periodo experimental; para el caso de los tratamientos 4 y 5, durante los primeros 21 días de edad se utilizó ACS en las dietas, a partir del día 22 se cambió por GCB (ACS/GCB) y GAV (ACS/GAV), respectivamente, hasta el final del periodo experimental.

El alimento y agua fueron ofrecidos *ad libitum*. El programa de iluminación consistió en un fotoperiodo de luz natural de 11.5 horas. El programa sanitario y

Cuadro 3									
COMPOSICIÓN DE LAS DIETAS DE INICIACIÓN, CRECIMIENTO Y FINALIZACIÓN (Experimento 2)									
COMPOSITION OF INITIATION, GROWTH AND FINISHING DIETS (Experiment 2)									
<i>Ingredient</i>	<i>Initiation (0 a 21 a days)</i>			<i>Growth (22 a 35 days)</i>			<i>Finishing (36 a 49 days)</i>		
Yellow maize (8.5%)	570.45	568.85	570.40	577.05	576.05	578.05	634.90	631.55	633.40
Soy paste (46%)	353.00	352.40	353.95	322.0	319.40	322.15	269.00	268.05	271.40
SCO*	31.00	-	-	58.00	-	-	56.00	-	-
PBF**	-	33.10	-	-	61.50	-	-	60.20	-
AVF***	-	-	30.10	-	-	56.90	-	-	55.10
Calcium ortophosphate (21/18)	17.00	17.00	17.00	14.0	14.00	14.00	13.00	13.00	13.00
Calcium carbonate (36%)	14.00	14.00	14.00	13.0	13.00	13.00	12.00	12.00	12.00
DL-Methionine (99%)	3.50	3.60	3.50	3.10	3.15	3.10	2.60	2.65	2.60
Salt with iodine	3.10	3.10	3.10	2.90	2.90	2.90	2.60	2.60	2.60
HCl-Lysine (78%)	2.10	2.10	2.10	1.20	1.25	1.15	1.00	1.05	1.00
Sodium bicarbonate	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Vitamin premix ****	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Choline chloride (60%)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mineral premix *****	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Nicarbazine (25%)	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-
Salinomycin (12%)	-	-	-	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
E.T.Q. (20%)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
L-Threonine (98%)	0.30	0.30	0.30	0.20	0.20	0.20	0.10	0.10	0.10
Flavomycin (8%)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Yellow xanthophylls (20 g/kg)	-	-	-	3.00	3.00	3.00	3.25	3.25	3.25
Total	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
ANALYSIS ESTIMATE									
ME kcal/kg.	3000	2998	2998	3174	3166	3171	3213	3208	3210
Lysine (%)	1.31	1.31	1.31	1.16	1.15	1.16	1.00	1.01	1.01
Methionine (%)	0.65	0.66	0.66	0.59	0.60	0.60	0.52	0.53	0.52
Methionine + Cystine (%)	1.00	1.01	1.00	0.92	0.93	0.93	0.82	0.83	0.83
Threonine (%)	0.82	0.82	0.82	0.75	0.75	0.76	0.66	0.66	0.67
Tryptophan (%)	0.27	0.28	0.28	0.25	0.26	0.26	0.22	0.23	0.23
Calcium (%)	1.00	1.00	1.00	0.89	0.90	0.90	0.83	0.83	0.83
Available phosphorus (%)	0.50	0.50	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Sodium (%)	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.16	0.16	0.16

*SCO: soybean crude oil. **PBF: Combination of pig (46.8%) and bovine fat (53.2%). *** AVF: Combination of animal fat (39.2%) and vegetable oil (60.8%).

**** Vitamin A, 12 000 000 IU; D₃, 3 000 000; vitamin E, 50 g; vitamin K₃, 5 g; vitamin B₁, 3 g; vitamin B₂, 6 g; vitamin B₆, 6 g; vitamin B₁₂, 50 mg; biotin, 300 mg; folic acid, 2 g; niacin, 50 g; pantothenic acid, 25 g; excipient sfp, 1000 g.

***** Manganese, 80 g; zinc, 100 g; iron, 90 g; copper, 10 g; iodine, 0.70 g; selenium, 0.20 g; cobalt, 0.2 g; excipient sfp, 500 g.

then weighed and sent to slaughter to determine carcass yield. Carcass weight (g), carcass yield (%), intestine (g), liver (g), abdominal fat (g), breast (g), thigh and leg weights (g) were determined. The carcass was placed in 4°C water during 120 minutes and skin pigmentation of left breast pteril region was established with a reflectance colorimeter,* using the CIELab scale.

Data analysis and statistical model

The used design was completely random for each sample day as represented:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + E_{ij}$$

Where:

Y_{ij} = j-th observation associated to i-th treatment.

(i = 1, 2,t)

μ = population mean. (j = 1, 2,r)

t_i = effect of bad-treatment.

E_{ij} = random error NID (0, σ^2).

Analysis was carried out by the minimum squares method (GLM, SAS²⁰). Difference between treatment means was analyzed by multiple range test (SNK²¹) taking as a minimum significant difference $P < 0.05$. Results expressed in percentages were transformed into the arc-sine square root function for analysis.

Results

Experiment 1

Fatty acid concentration determined in the three evaluated energy sources is presented in Table 1; and it is observed that SCO has a higher proportion of UFA, in PBF a higher amount of SFA was found; in the case of AVF concentration of SFA and UFA were at an intermediate level as related to the other two sources.

In Table 4 productive response of the broilers at 21 days of age was observed; when SCO was used a higher body weight was obtained with less feed consumption, said effect favorably influenced feed conversion ($P < 0.05$), when compared with AVF and PBF ($P < 0.05$), this last one recorded lower BW and higher feed consumption, affecting thus the feed conversion ($P < 0.05$). A positive effect was observed in chickens fed with the ME 3 200 kcal/kg diet as compared to the 3 000 kcal/kg one, on BW, consumption of feed and feed conversion ($P < 0.05$). BW, feed consumption and feed conversion were different ($P < 0.05$) in the non-vaccinated birds when they consumed 3 200 kcal/kg of ME. There was an interaction effect on the ME level by vaccination in relation to BW, feed

de manejo fue similar para todas las aves; en la planta incubadora se aplicó la vacuna contra la enfermedad de Marek y en la granja se vacunó contra la enfermedad de Newcastle mediante vías ocular y oral (cepa LaSota) a los ocho y 25 días de edad, respectivamente, y contra la IBF a los 14 días de edad.

Toma, procesamiento y evaluación de muestras

A los días 21, 35 y 49 de edad se evaluaron como variables de respuesta el PC (g), consumo de alimento (g) y conversión alimenticia ajustada a mortalidad (consumo de alimento/ganancia de peso de las aves vivas y muertas) (g/g), mortalidad general (%) y se identificó la ocasionada por el síndrome ascítico (SA). El índice de eficiencia (IE) se determinó mediante la ecuación:²²

$$IE = \left(\frac{\text{Viabilidad (\%)} \times \text{Peso corporal (kg)}}{\text{Edad días} \times \text{Conversión alimento}} \right) \times 100$$

A los 49 días de edad se pesaron aleatoriamente ocho hembras y ocho machos/repeticón (40 pollos/tratamiento) para obtener el porcentaje de la uniformidad de la parvada con base en el coeficiente de variación. Al final del experimento se seleccionaron de forma aleatoria dos machos y dos hembras por repetición (20 aves/tratamiento), que tuvieran el peso promedio similar al del lote experimental, se identificaron en el tarso derecho y se sometieron a un ayuno de alimento de ocho horas, posteriormente se pesaron y fueron enviadas al rastro para su sacrificio para determinar el rendimiento de canal. Se determinó el peso de la canal (g), rendimiento de la canal (%), peso del paquete intestinal (g), hígado (g), grasa abdominal (g), pechuga (g), muslos y piernas (g). La canal fue introducida en agua a 4°C durante 120 minutos y se evaluó la pigmentación en la piel de la región de pterilos izquierda de la pechuga con un colorímetro de reflectancia,* utilizando la escala de CIELab.

Análisis de datos y modelo estadístico

El diseño utilizado fue completamente al azar para cada día de muestreo representado como:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = j-ésima observación asociada al i-ésimo

*Minolta CR-300, Estados Unidos de América.

consumption and feed conversion, with a higher BW, lower feed consumption and feed conversion in chickens that received the 3 200 kcal/kg ME in the diet ($P < 0.05$); interaction was due to the fact that vaccinated chickens that received 3 000 kcal/kg when consuming SCO and AVF had a comparable BW with those that ingested 3 200 kcal/kg and were vaccinated.

In Table 5 differences can be seen ($P < 0.05$) in BW and FBD/BW by source and level of energy, only for the first variable, with a difference at ten days of age. In relation to FBD and its index with BW at 21 days (Table 4), an adverse effect was observed for FBD by vaccination ($P < 0.05$) when ME was 3 000 kcal/kg.

Results on the length of villi in duodenum, jejunum and ileum, are presented in Table 6; differences ($P < 0.05$) were found in the ileum between SCO and AVF at 11 days, as well as in length in duodenum and jejunum at 21 days ($P < 0.05$) in vaccinated chicks.

Reported values, in relation to IBD antibodies and IgG and IgA concentration are found in Table 7; at 11 days of age there was a difference ($P < 0.05$) in IBD antibody titers; and IgA concentration at 21 days, according to the source of energy that was used obtaining higher values with SCO, lower ones with PBF. ME level of 3 200 kcal/kg in the diet, at 11 as well as at 21 days, had higher titers against IBD ($P < 0.05$). Vaccinated birds reached a higher concentration of IgG and IgA with both levels of energy ($P < 0.05$).

Experiment 2

Productive yield is presented in Table 8. At 21 days of age chicken weight was numerically better with SCO, but differences ($P < 0.05$) existed only in feed conversion, being that in the treatments they received SCO in lower amounts as compared to PBF, that had a higher index in both conversions ($P > 0.05$).

Variables evaluated at 35 days of age (14 days after the change of SCO for PBF and AVF) did not show differences ($P > 0.05$) in the study variables between treatments (Table 8).

At the end of the biological test (49 days of age), the only observed difference was for feed consumption ($P < 0.05$) between the treatment that received SCO/AVF, with higher consumption of feed and treatments PBF and AVF (Table 8).

For the efficacy index (224, 220, 214, 226 and 222) and the variation coefficient of BW (13.3%, 13.1%, 14.2%, 15.4% and 13.7%) there were no differences between treatments ($P > 0.05$).

In relation to the variables obtained in carcass yield, differences were found ($P < 0.05$) in the weight of the intestinal package, and this was higher in birds that consumed SCO as compared to those that received AVF and SCO/AVF; liver weight was higher in

tratamiento. ($i = 1, 2, \dots, t$)

μ = media poblacional. ($j = 1, 2, \dots, r$)

t_i = efecto del pésimo tratamiento.

E_{ij} = error aleatorio NID ($0, \sigma^2$).

El análisis se realizó mediante el método de mínimos cuadrados (GLM, SAS²⁰). La diferencia entre las medias de los tratamientos se analizó por medio de la prueba de rango múltiple (SNK²¹) tomándose como diferencia mínima significativa $P < 0.05$. Los resultados expresados en porcentajes fueron transformados a la función arco-seno raíz cuadrada para su análisis.

Resultados

Experimento 1

La concentración de los ácidos grasos determinada en las tres fuentes energéticas evaluadas se presenta en el Cuadro 1, se observa que la ACS tiene mayor proporción de AGI, en la GCB se informa una cantidad más elevada de AGS, y en el caso de la GAV la concentración de AGS y AGI están en un nivel intermedio con respecto a las otras dos fuentes.

En el Cuadro 4 se observa la respuesta productiva del pollo de engorda a los 21 días de edad; al utilizar ACS se obtuvo un peso corporal superior y menor consumo de alimento, dicho efecto influyó favorablemente en la conversión alimenticia ($P < 0.05$), en comparación con la GAV y la GCB ($P < 0.05$), esta última registró el menor PC y mayor consumo de alimento, con ello afectó la conversión alimenticia ($P < 0.05$). Se observó efecto positivo en el peso de los pollos alimentados con la dieta de 3 200 kcal/kg en comparación con 3 000 kcal/kg de EM en PC, consumo de alimento y conversión alimenticia ($P < 0.05$). El PC, consumo de alimento y conversión alimenticia fueron diferentes ($P < 0.05$) en las aves no vacunadas cuando consumieron 3 200 kcal/kg de EM. En el PC, consumo de alimento y conversión alimenticia existió efecto de interacción del nivel de EM por la vacunación, con mayor PC, menor consumo de alimento y conversión alimenticia en los pollos que recibieron 3 200 kcal/kg de EM en la dieta ($P < 0.05$), la interacción se debió a que los pollos vacunados y que recibieron 3 000 kcal/kg al consumir el ACS y la GAV tuvieron PC comparable con los que ingirieron 3 200 kcal/kg y se les aplicó la vacuna.

En el Cuadro 5 se aprecia que hubo diferencias ($P < 0.05$) en el PC y DBF/PC por fuente y nivel de energía solamente para la primera variable, con una diferencia a los diez días de edad. Con respecto al DBF y su índice con el PC a los 21 días (Cuadro 4), se observó efecto adverso para el DBF por la vacunación ($P < 0.05$) cuando se utilizó 3 000 kcal/kg de EM.

Cuadro 4

RESPUESTA PRODUCTIVA A LOS 21 DÍAS DE EDAD (Experimento 1)

PRODUCTIVE RESPONSE AT 21 DAYS OF AGE (Experiment 1)

Variables		Body weight (g)	Feed consumption (g)	Feed conversion (g/g)
SCO*		666.8 ± 47.1 ^a	1 014.1 ± 46.4 ^c	1.53 ± 0.2 ^c
PBF**		623.8 ± 53.1 ^b	1 109.9 ± 42.1 ^a	1.79 ± 0.2 ^a
AVF***		644.1 ± 66.6 ^{ab}	1 077.5 ± 77.2 ^b	1.69 ± 0.2 ^b
3 000		624.8 ± 51.9 ^b	1 095.9 ± 64.5 ^a	1.76 ± 0.2 ^a
3 200		665.0 ± 57.4 ^a	1 038.4 ± 62.2 ^b	1.58 ± 0.2 ^b
3 000	Non- vaccinated	611.2 ± 42.7 ^a	1 079.0 ± 39.1 ^a	1.77 ± 0.1 ^a
	Vaccinated	638.3 ± 58.4 ^a	1 112.8 ± 80.9 ^a	1.76 ± 0.2 ^a
3 200	Non- vaccinated	689.0 ± 58.0 ^a	1 011.7 ± 50.7 ^b	1.48 ± 0.2 ^b
	Vaccinated	641.0 ± 47.5 ^b	1 065.0 ± 63.1 ^a	1.67 ± 0.2 ^a
3 000	Non- vaccinated	SCO	619.2 ± 43.1 ^a	1 041.4 ± 38.5 ^b
		PBF	602.0 ± 26.8 ^a	1 092.2 ± 25.2 ^a
		AVF	612.5 ± 62.6 ^a	1 103.4 ± 23.6 ^a
	Vaccinated	SCO	663.8 ± 31.3 ^b	1 041.5 ± 48.2 ^b
		PBF	610.5 ± 57.3 ^a	1 163.0 ± 35.1 ^a
		AVF	640.6 ± 79.6 ^b	1 134.0 ± 98.5 ^a
3 200	Non- vaccinated	SCO	718.8 ± 38.5 ^b	979.4 ± 16.2 ^b
		PBF	668.1 ± 76.0 ^b	1 074.1 ± 31.2 ^a
		AVF	678.0 ± 56.6 ^b	981.8 ± 20.3 ^a
	Vaccinated	SCO	665.2 ± 11.8 ^b	994.0 ± 50.4 ^b
		PBF	614.5 ± 27.0 ^a	1 110.2 ± 10.5 ^a
		AVF	643.4 ± 75.4 ^b	1 090.9 ± 39.3 ^a

*Body weight, feed consumption and feed conversion: energy level interaction according to immunization status (non- vaccinated vaccinated) (P < 0.05).

^bSame letters between columns according to the source and level of energy are not different (P > 0.05).

*SCO: Soybean crude oil. **PBF: Combination of pig (46.8%) and bovine fat (53.2%). ***AVF: Combination of animal fat (39.2%) and vegetable oil (60.8%). Mean ± SD

the case of SCO/AVF and SCO/PBF in the treatment with PBF; abdominal fat showed difference between PBF with SCO/PBF and SCO, with the first one being higher (Table 9).

In reference to skin pigmentation for yellowing and reddening, there were no differences between treatments (P < 0.05), in relation to luminosity a lower amount was observed (P < 0.05) when SCO was included (Table 10).

Discussion

Utilization of concentrated energy sources is incomplete before the second week of life of the broiler, due mainly to immaturity of intestinal villi and limited

Los resultados sobre la longitud de las vellosidades del duodeno, yeyuno e íleon, se presentan en el Cuadro 6; se encontró diferencia (P < 0.05) en el íleon a los 11 días entre ACS y GAV, así como mayor longitud en duodeno y yeyuno a los 21 días (P < 0.05) en los pollos vacunados.

Los valores notificados, referentes a los títulos de anticuerpos contra la IBF y la concentración de IgG e IgA se observan en el Cuadro 7; a los 11 días de edad se encontró diferencia (P < 0.05) para los títulos de anticuerpo contra la IBF; y en la concentración de IgA a los 21 días, de acuerdo con la fuente de energía, obteniendo valores superiores con el ACS y menores con la GCB. El nivel de 3 200 kcal/kg de EM de la dieta, tanto a los 11 como a los 21 días, presentó título

Cuadro 5

EFFECTO DE LA FUENTE ENERGÉTICA, CANTIDAD DE ENERGÍA METABOLIZABLE (kcal/kg) Y VACUNACION, SOBRE EL PESO CORPORAL (g), DIÁMETRO DE LA BOLSA DE FABRICIO (mm) Y RELACION BOLSA DE FABRICIO/PESO CORPORAL (Experimento 1)

EFFECT OF THE ENERGY SOURCE, AMOUNT OF METABOLIZABLE ENERGY (kcal/kg) AND VACCINATION, ON BODY WEIGHT (g), FABRICIUS BURSA DIAMETER (mm) AND RELATIONSHIP BETWEEN FABRICIUS BURSA DIAMETER/BODY WEIGHT (Experiment 1)

	Sampling at 11 days			Sampling at 21 days	
Variable	Body weight (g)	FBD (mm)	FBD/BW	FBD (mm)	FBD/BW
SCO*	265.2 ± 82.4 ^a	0.90 ± 0.2 ^a	3.59 ± 1.1 ^b	1.27 ± 0.1 ^a	1.83 ± 0.2 ^a
PBF**	228.0 ± 62.1 ^b	0.95 ± 0.2 ^a	4.25 ± 0.8 ^a	1.29 ± 0.1 ^a	2.01 ± 0.2 ^a
AVF***	248.3 ± 68.9 ^{ab}	0.86 ± 0.2 ^a	3.64 ± 0.8 ^b	1.30 ± 0.1 ^a	1.92 ± 0.2 ^a
3 000	237.9 ± 69.8 ^b	0.91 ± 0.2 ^a	4.02 ± 1.0 ^a	1.27 ± 0.1 ^a	1.93 ± 0.2 ^a
3 200	256.5 ± 73.8 ^a	0.90 ± 0.2 ^a	3.63 ± 0.8 ^a	1.30 ± 0.1 ^a	1.91 ± 0.2 ^a
	3 000	Non- vaccinated, 21 days		1.24 ± 0.1 ^b	1.92 ± 0.2 ^a
		Vaccinated, 21 days		1.31 ± 0.1 ^a	1.94 ± 0.2 ^a
	3 200	Non- vaccinated, 21 days		1.30 ± 0.2 ^a	1.92 ± 0.2 ^a
		Vaccinated, 21 days		1.30 ± 0.1 ^a	1.90 ± 0.3 ^a
	Sampling at 21 days				
	3 000		SCO	1.29 ± 0.1 ^a	1.93 ± 0.28 ^b
		Non- vaccinated	PBF	1.22 ± 0.6 ^a	1.98 ± 0.2 ^a
			AVF	1.21 ± 0.1 ^a	1.85 ± 0.3 ^b
		Vaccinated	SCO	1.24 ± 0.1 ^a	1.77 ± 0.2 ^b
			PBF	1.33 ± 0.1 ^a	2.02 ± 0.2 ^a
			AVF	1.35 ± 0.1 ^a	2.04 ± 0.2 ^b
	3 200	Non- vaccinated	SCO	1.28 ± 0.1 ^a	1.86 ± 0.2 ^b
			PBF	1.25 ± 0.1 ^a	1.87 ± 0.1 ^a
			AVF	1.37 ± 0.2 ^a	2.03 ± 0.2 ^b
		Vaccinated	SCO	1.28 ± 0.1 ^a	1.77 ± 0.1 ^b
			PBF	1.37 ± 0.1 ^a	2.14 ± 0.4 ^a
			AVF	1.25 ± 0.1 ^a	1.78 ± 0.2 ^b

*SCO: Soybean crude oil. **PBF: Combination of pig (46.8%) and bovine fat (53.2%). ***AVF: Combination of animal fat (39.2%) and vegetable oil (60.8%).

Same letters between columns according to the source and level of energy are not different ($P > 0.05$).

FBD: Fabricius bursa diameter. FBD/BW: Relationship Fabricius bursa diameter and body weight.

Mean ± SD

pancreatic lipase activity, as well as deficient enterohepatic circulation of bile salts which causes a lower emulsification of fatty acids.^{2,4,23} Pancreatic lipase activity is proportional to live weight and intestinal weight, which indicates that feed consumption favors an increase of pancreatic enzyme secretion at a constant rate according to feed and body growth.²⁴

Analysis results of UFA and SFA of the three energy

los mayores contra la IBF ($P < 0.05$). Las aves vacunadas alcanzaron mayor concentración de IgG e IgA en ambos niveles de energía ($P < 0.05$).

Experimento 2

En el Cuadro 8 se presenta el rendimiento productivo. A los 21 días de edad fue mejor numéricamente

Cuadro 6

EFFECTO DE LA FUENTE ENERGÉTICA, CANTIDAD DE ENERGÍA METABOLIZABLE (kcal/kg) Y VACUNACIÓN, SOBRE LA LONGITUD (μ) DE LAS VELLOSIDADES DEL INTESTINO DELGADO (Experimento 1)

EFFECT OF ENERGY SOURCE, METABOLIZABLE ENERGY AMOUNT (kcal/kg) AND VACCINATION, ON SMALL INTESTINE VILLI LENGTH (μ) (Experiment 1)

Sampling						
	11 days			21 days		
Variable	Duodenum	Jejunum	Ileum	Duodenum	Jejunum	Ileum
SCO*	1772 ± 126.2 ^{aB}	864 ± 131.7 ^{aB}	746 ± 148.6 ^{aB}	1991 ± 201.6 ^{aA}	1153 ± 155.5 ^{aA}	881 ± 186.3 ^{aA}
PBF**	1771 ± 138.8 ^{aB}	814 ± 152.7 ^{aB}	708 ± 135.1 ^{abB}	1943 ± 179.1 ^{aA}	1097 ± 190.6 ^{aA}	841 ± 115.9 ^{aA}
AVF***	1712 ± 125.7 ^{aB}	852 ± 180.5 ^{aB}	632 ± 65.0 ^{bB}	1934 ± 248.1 ^{aA}	1121 ± 264.0 ^{aA}	809 ± 101.0 ^{aA}
3 000	1745 ± 129.7 ^a	860 ± 178.3 ^a	725 ± 130.1 ^a	1949 ± 241.8 ^a	1115 ± 247.2 ^a	836 ± 120.4 ^a
3 200	1760 ± 133.9 ^a	827 ± 128.0 ^a	667 ± 122.7 ^a	1965 ± 206.4 ^a	1133 ± 157.4 ^a	851 ± 158.8 ^a
3 000		Non- vaccinated 21 days		1805 ± 98.3 ^b	1023 ± 139.1 ^b	836 ± 110.4 ^a
		Vaccinated 21 days		2092 ± 205.2 ^a	1208 ± 299.8 ^a	837 ± 134.7 ^a
3 200		Non- vaccinated 21 days		1870 ± 127.9 ^b	1117 ± 154.8 ^b	904 ± 176.1 ^a
		Vaccinated 21 days		2059 ± 230.3 ^a	1149 ± 160.2 ^a	799 ± 125.0 ^a
Sampling at 21 days						
3 000		SCO	1823 ± 60 ^a	1091 ± 145 ^a	851 ± 149 ^a	
		Non- vaccinated	PBF	1897 ± 40 ^a	1102 ± 80 ^a	891 ± 100 ^b
			AVF	1696 ± 116 ^a	877 ± 96 ^a	765 ± 63 ^a
			SCO	2065 ± 301 ^a	1255 ± 240 ^a	832 ± 118 ^a
		Vaccinated	PBF	2017 ± 183 ^a	946 ± 236 ^a	813 ± 171 ^b
			AVF	2194 ± 144 ^a	1421 ± 189 ^a	866 ± 33 ^a
3 200			SCO	1935 ± 126 ^a	1142 ± 125 ^a	1003 ± 264 ^a
		Non- vaccinated	PBF	1917 ± 48 ^a	1160 ± 231 ^a	885± 106 ^b
			AVF	1757 ± 126 ^a	1048 ± 120 ^a	825 ± 102 ^a
			SCO	2144 ± 111 ^a	1124 ± 75 ^a	839 ± 201 ^a
		Vaccinated	PBF	1942 ± 334 ^a	1182 ± 142 ^a	774 ± 57 ^b
			AVF	2092 ± 202 ^a	1141 ±256 ^a	782 ± 100 ^a

*SCO: soybean crude oil.

**PBF: Combination of pig (46.8%) and bovine fat (53.2%).

***AVF: Combination of animal fat (39.2%) and vegetable oil (60.8%).

Small same literals between columns according to the source and level of energy are not different ($P > 0.05$).

Capital same literals between lines mayúsculas according to the day of sampling and intestinal section are not different ($P < 0.05$).

Mean $\pm$ SD

Cuadro 7

EFFECTO DE LA FUENTE ENERGÉTICA, CANTIDAD DE ENERGÍA METABOLIZABLE (kcal/kg) Y VACUNACION, SOBRE LOS TÍTULOS DE ANTICUERPOS CONTRA LA IBF (MG) Y CONCENTRACIÓN DE INMUNOGLOBULINAS (ng/mL) (Experimento 1)

EFFECT OF ENERGY SOURCE, METABOLIZABLE ENERGY AMOUNT (kcal/kg) AND VACCINATION, ON IBD ANTIBODY TITERS (GM) AND IMMUNOGLOBULIN CONCENTRATION (ng/mL) (Experiment 1)

Sampling						
	11 days			21 days		
	Titers	IgG	IgA	Titers	IgG	IgA
Variable	(GM)*	(ng/mL)	(ng/mL)	(GM)*	(ng/mL)	(ng/mL)
SCO*	1 706 ± 520 ^a	631 ± 16 ^a	376 ± 213.19 ^a	250 ± 91 ^a	667 ± 145 ^a	773 ± 25 ^a
PBF**	1 432 ± 436 ^b	635 ± 27 ^a	356 ± 226.73 ^a	304 ± 127 ^a	659 ± 180 ^a	649 ± 27 ^b
AVF***	1 626 ± 634 ^{ab}	622 ± 23 ^a	377 ± 190.92 ^a	265 ± 94 ^a	657 ± 156 ^a	732 ± 22 ^{ab}
3 000	1 469 ± 528 ^b	359 ± 201 ^a	634 ± 26 ^a	243 ± 84 ^b	732 ± 154 ^a	667 ± 26 ^a
3 200	1 708 ± 532 ^a	383 ± 215 ^a	626 ± 19 ^a	304 ± 118 ^a	705 ± 181 ^a	656 ± 23 ^a
	3 000	Non- vaccinated, 21 days		250 ± 106 ^a	677 ± 92 ^b	657 ± 17 ^b
		Vaccinated, 21 days		236 ± 59 ^a	787 ± 185 ^a	678 ± 29 ^a
	3 200	Non- vaccinated, 21 days		338 ± 140 ^a	675 ± 130 ^b	650 ± 14 ^b
		Vaccinated, 21 days		269 ± 84 ^a	735 ± 222 ^a	661 ± 29 ^a
	Sampling at 21 days					
		SCO		239 ± 97 ^a	659 ± 15 ^a	709 ± 104 ^a
	3 000	Non- vaccinated	PBF	321 ± 139 ^a	644 ± 18 ^a	639 ± 121 ^a
			AVF	191 ± 32 ^a	667 ± 10 ^a	681 ± 48 ^a
			SCO	200 ± 46 ^a	686 ± 14 ^a	806 ± 212 ^a
	3 200	Vaccinated	PBF	275 ± 52 ^a	686 ± 33 ^a	787 ± 118 ^a
			AVF	231 ± 65 ^a	660 ± 34 ^a	765 ± 255 ^a
			SCO	317 ± 139 ^a	661 ± 7 ^a	754 ± 72 ^a
	3 200	Non- vaccinated	PBF	354 ± 204 ^a	645 ± 18 ^a	571 ± 172 ^a
			AVF	344 ± 96 ^a	644 ± 9 ^a	699 ± 61 ^a
			SCO	244 ± 39 ^a	661 ± 44 ^a	822 ± 185 ^a
	3 200	Vaccinated	PBF	266 ± 103 ^a	663 ± 18 ^a	599 ± 261 ^a
			AVF	296 ± 108 ^a	657 ± 28 ^a	783 ± 202 ^a

*SCO: Soybean crude oil. **PBF: Combination of pig (46.8%) and bovine fat (53.2%). ***AVF: Combination of animal fat (39.2%) and vegetable oil (60.8%).

Same letters between columns according to the source and level of energy are not different ($P > 0.05$).

*GM: Geometric mean in IBD antibody titers by ELISA method.

Mean ± SD

Cuadro 8

PARÁMETROS PRODUCTIVOS A LOS 21, 35 y 49 DÍAS DE EDAD (Experimento 2)

PRODUCTIVE PARAMETERS AT 21, 35 AND 49 DAYS OF AGE (Experiment 2)

<i>Treatment</i>	<i>Body weight (g)</i>	<i>Feed consumption (g)</i>	<i>Feed conversion (g/g)</i>	<i>General (%) mortality</i>	<i>Ascitic syndrome</i>
<i>21 days of age</i>					
SCO*	674 ^a ± 29	957 ^a ± 42	1.49 ^a ± 0.03	3.00 ^a ± 3.3	0
PBF**	642 ^a ± 38	954 ^a ± 24	1.58 ^b ± 0.11	2.40 ^a ± 2.3	0
AVF***	647 ^a ± 26	935 ^a ± 37	1.53 ^{ab} ± 0.04	2.80 ^a ± 2.1	0
SCO/PBF	671 ^a ± 27	958 ^a ± 38	1.50 ^a ± 0.03	2.20 ^a ± 0.8	0
SCO/AVF	683 ^a ± 19	958 ^a ± 30	1.48 ^a ± 0.01	3.20 ^a ± 1.3	0
<i>35 days of age</i>					
SCO	1539 ^a ± 44	2457 ^a ± 93	1.60 ^a ± 0.07	4.60 ^a ± 4.2	0.40 ^a ± 0.5
PBF	1479 ^a ± 46	2397 ^a ± 71	1.64 ^a ± 0.03	3.40 ^a ± 2.9	0.60 ^a ± 1.3
AVF	1514 ^a ± 43	2378 ^a ± 81	1.56 ^a ± 0.05	6.80 ^a ± 5.0	2.20 ^a ± 3.4
SCO/PBF	1519 ^a ± 29	2448 ^a ± 64	1.62 ^a ± 0.05	4.80 ^a ± 2.5	1.20 ^a ± 2.1
SCO/AVF	1554 ^a ± 24	2485 ^a ± 92	1.59 ^a ± 0.05	7.00 ^a ± 5.1	1.40 ^a ± 2.6
<i>49 days of age</i>					
SCO	2377 ^a ± 57	4526 ^{ab} ± 75	1.84 ^a ± 0.02	14.8 ^a ± 6.4	6.40 ^a ± 2.3
PBF	2310 ^a ± 25	4406 ^a ± 98	1.88 ^a ± 0.03	11.8 ^a ± 3.8	5.40 ^a ± 2.6
AVF	2319 ^a ± 36	4414 ^a ± 90	1.89 ^a ± 0.05	14.4 ^a ± 7.8	7.80 ^a ± 4.0
SCO/PBF	2344 ^a ± 72	4505 ^{ab} ± 64	1.90 ^a ± 0.06	9.8 ^a ± 4.3	4.20 ^a ± 2.3
SCO/AVF	2365 ^a ± 78	4573 ^b ± 81	1.88 ^a ± 0.02	13.2 ^a ± 4.5	5.60 ^a ± 3.2

*SCO: Soybean crude oil. **PBF: Combination of pig (46.8%) and bovine fat (53.2%). ***AVF: Combination of animal fat (39.2%) and vegetable oil (60.8%).

Same letters between columns do not show differences ($P > 0.05$).

AS: Ascitic syndrome.

Mean ± SD

sources are found within the ranges reported in literature.¹⁴ UFAs have higher digestibility than SFAs.^{25,26} In SCO response was higher in relation to BW ($P < 0.05$) as compared to PBF due to a higher proportion of UFA in SCO, as well as in feed consumption and conversion in relation to AVF and PBF; on the other hand AVF shows differences ($P < 0.05$) in feed consumption and better feed conversion when compared with PBF; such results are related with the proportion of UFA, SFA and FFA in the diet.

el peso de los pollos con el ACS, pero sólo existieron diferencias ($P < 0.05$) para la conversión alimenticia, siendo que en los tratamientos recibieron el ACS en cantidades inferiores en comparación con GCB, que tuvo mayor índice en ambas conversiones ($P > 0.05$).

Las variables evaluadas a los 35 días de edad (14 días después de que se realizaron los cambios de ACS por GCB y GAV) no mostraron diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos en las variables en estudio (Cuadro 8).

Lower response observed in PBF was probably due to the amount of SFA and FFA in relation to UFA; a higher degree of non-saturation and lower amount of FFA improve the emulsification capacity of the bile salts, therefore, the fatty acids absorption.²⁷ When combining an animal fat with vegetable oil there is an increase in nutrimental value, as was the case of the AVF; such concepts coincide with the studies of Lewis and Payne.³

FBD has been used as indirect reference to bursa integrity; the estimate of FBD/BW relationship, reported by Nelson *et al.*,²⁸ had a 0.60 to 0.90 correlation reliability of harm to this organ. This relationship was ample although a higher relationship is found in a healthy Fabricius bursa. With the difference among treatments in relation to weight, a higher FBD/BW was expected in chickens with higher BW, yet such an effect was not observed ($P > 0.05$) at 21 days in this study. Another important factor is that when applying a live virus vaccine a vaccine virus replication is generated in the FB, originating larger size of the tissue, which should be reflected in a higher FBD/BW index, but that was not observed ($P > 0.05$).

During the adaptation process from embryo feeding to the first two weeks of age of the birds, there are important anatomical and physiological developments until maturity of the digestive system is completed and with that the possibility of taking advantage of exog-

Al final de la prueba biológica (49 días de edad), sólo se observó diferencia ($P < 0.05$) para consumo de alimento, entre el tratamiento que recibió ACS/GAV, con mayor consumo de alimento que los tratamientos GCB y GAV (Cuadro 8).

Para el índice de eficiencia (224, 220, 214, 226 y 222) y el coeficiente de variación de PC (13.3%, 13.1%, 14.2%, 15.4% y 13.7%) no hubo diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$).

Respecto de las variables obtenidas del rendimiento de canal, se encontraron diferencias ($P < 0.05$) en el peso de intestino, éste fue mayor en las aves que consumieron ACS en comparación con las que recibieron GAV y ACS/GAV; el peso del hígado resultó superior en el caso de ACS/GAV y ACS/GCB con respecto al tratamiento con GCB; el contenido de grasa abdominal mostró diferencia entre GCB con ACS/GCB y ACS, siendo mayor en el primer caso (Cuadro 9).

En referencia a la pigmentación de la piel para el amarillamiento y el enrojecimiento, no existieron diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$), en cuanto a la luminosidad, se apreció menor cantidad ($P < 0.05$) cuando se incluyó el ACS (Cuadro 10).

Discusión

El aprovechamiento de las fuentes concentradas de energía en el pollo de engorda antes de la segunda

Cuadro 9
PESO DE CANAL, INTESTINOS, GRASA ABDOMINAL, PECHUGA, PIERNAS Y MUSLOS (g) A LOS
49 DÍAS DE EDAD DE ACUERDO CON LAS FUENTES ENERGÉTICAS (Experimento 2)
CARCASS, INTESTINES, ABDOMINAL FAT, BREAST, LEGS AND THIGHS WEIGHT (g) AT 49 DAYS
OF AGE ACCORDING TO ENERGY SOURCES (Experiment 2)

Treatment/ Parameter (g)	SCO*	PBF**	AVF***	SCO/PBF	SCO/AVF
Live weight	2370 ^a ± 183	2363 ^a ± 196	2325 ^a ± 128	2331 ^a ± 114	2312 ^a ± 104
Carcass weight	1842 ^a ± 150	1839 ^a ± 143	1787 ^a ± 130	1798 ^a ± 65	1776 ^a ± 78
Carcass yield (%)	77.7 ± 6.1	77.8 ± 6.3	76.9 ± 4.8	77.1 ± 3.3	76.8 ± 3.4
Intestines	116 ^a ± 24	107 ^{ab} ± 12	97 ^b ± 21	100 ^{ab} ± 17	96 ^b ± 10
Liver	57 ^{ab} ± 7	54 ^b ± 4	55 ^{ab} ± 4	59 ^a ± 6	60 ^a ± 8
Abdominal fat	32 ^b ± 4	41 ^a ± 9	36 ^{ab} ± 9	34 ^b ± 9	39 ^{ab} ± 7
Breast	347 ^a ± 21	354 ^a ± 19	344 ^a ± 26	347 ^a ± 34	358 ^a ± 29
Legs	206 ^a ± 17	200 ^a ± 22	198 ^a ± 20	195 ^a ± 17	192 ^a ± 14
Thighs	207 ^a ± 26	202 ^a ± 28	201 ^a ± 28	198 ^a ± 12	202 ^a ± 13

*SCO: Soybean crude oil. **PBF: Combination of pig (46.8%) and bovine fat (53.2%).

***AVF: Combination of animal fat (39.2%) and vegetable oil (60.8%).

Different letters between rows are different ($P < 0.05$).

Mean ± SD

Cuadro 10

LUMINOSIDAD (L*), ENROJECIMIENTO (a*) Y AMARILLAMIENTO (b*) EN LA PIEL
DE POLLOS A LOS 49 DÍAS DE EDAD (Experimento 2)

LUMINOSITY (L*), REDDENING (a*) AND YELLOWING (b*) OF CHICKEN SKIN AT
49 DAYS OF AGE (Experiment 2)

<i>Treatment</i>	<i>Luminosity</i>	<i>Reddening</i>	<i>Yellowing</i>
SCO*	68.26 ^b ± 1.1	1.30 ^a ± 1.6	37.85 ^a ± 3.7
PBF**	69.75 ^a ± 1.7	1.61 ^a ± 2.2	36.84 ^a ± 3.7
AVF***	70.32 ^a ± 2.3	0.87 ^a ± 2.8	34.90 ^a ± 3.7
SCO/PBF	69.68 ^a ± 2.1	1.59 ^a ± 1.4	35.95 ^a ± 4.6
SCO/AVF	69.55 ^{ab} ± 2.7	0.58 ^a ± 2.8	36.69 ^a ± 4.5

*SCO: Soybean crude oil. **PBF: Combination of pig (46.8%) and bovine fat (53.2%).

***AVF: Combination of animal fat (39.2%) and vegetable oil (60.8%).

Different letters in the column are different (P < 0.05).

Mean ± SD

enous nutriment. Villi height and depth of the crypt are modified favorably after birth; in the duodenum there is complete development between four and six days after hatching, on the other hand, ten days are required for the same to happen in the jejunum and ileum. This increase in villi surface, enzymatic changes and beginning of the active transportation of nutriment increase absorption capacity of the same by the bird.²⁹ Diets that include vegetable oils have n-6 and n-3 present, and this has a positive influence on the number and length of villi,10 having a proportional effect on the nutriment absorption capacity.⁵ This response was observed (P > 0.05) when diets with SCO were offered; at 11 days the greatest increase of villi length was recorded, with the exception of in the ileum (P < 0.05).

The UFA n-6 and n-3 induce immuno-modulator actions after its incorporation into the lymphoid tissue¹¹ and have a significant impact on the immune response.¹² Antibody titers against IBD, obtained at 11 days, reflect a protecting level of maternal antibodies close to the value that is conferring an adequate protection (antibody titers by the ELISA method of approximately 2 000).²⁸ It has been reported that with viral challenges carried out at ten days of age IBD antibody titers are reduced, to less than 150, in vaccinated as well as in non-vaccinated birds.³⁰ Birds with high IBD antibody titers are better protected against the disease, as is the case of 11 day old chickens fed SCO and AVF, or with 3 200 kcal/kg ME levels in their diet that were maintained until 21 days of age (P < 0.05). In relation to IgG and IgA concentration difference was only observed at 21 days of age (P < 0.05), being more favorable in diets with SCO and AVF. Takahashi

semana de vida es incompleto, debido, en gran parte, a la inmadurez de las vellosidades intestinales y a la limitada actividad de la lipasa pancreática, así como a circulación enterohepática deficiente de las sales biliares, lo que lleva a menor emulsificación de los ácidos grasos.^{2,4,23} La actividad de las lipasas pancreáticas es proporcional al peso vivo y del intestino, lo cual indica que el consumo de alimento favorece que se incrementa la secreción de enzimas pancreáticas a tasa constante de acuerdo con el consumo de alimento y crecimiento corporal.²⁴

Los resultados de los análisis de los AGI y AGS en las tres fuentes de energía, se hallan dentro de los rangos notificados en la literatura.¹⁴ Los AGI tienen mayor digestibilidad que los AGS.^{25,26} En el ACS se obtuvo mayor respuesta (P < 0.05) en el PC con respecto a la GCB debido a la mayor proporción de AGI en el ACS, así como en el consumo de alimento y conversión alimenticia con respecto a la GAV y GCB; por su parte, la GAV presenta diferencias (P < 0.05) en el consumo de alimento y mejor conversión alimenticia al compararla con la GCB; tales resultados están relacionados con la proporción de AGI, AGS y AGL en la dieta.

La respuesta inferior observada en la GCB se debió quizá a la cantidad de AGS y AGL en relación con los AGI; el mayor grado de insaturación y menor cantidad de AGL mejoran la capacidad de emulsificación por sales biliares y con ello la absorción de los ácidos grasos.²⁷ Al combinar una grasa animal con un aceite vegetal se incrementa su valor nutrimental, como fue el caso de la GAV; tales conceptos coinciden con el trabajo de Lewis y Payne.³

El DBF se ha usado como referencia indirecta de la

*et al.*³¹ found differences ($P < 0.05$) in IgG concentration when in an experimental diet 10 g of C18:2/kg was offered, amount that is very much higher than the C18:2 concentration obtained with the energy sources included here.

Prevention of enzootic diseases by vaccination, such as in the case of IBD, is recommended since it protects birds against infection and secondary complications maintaining a good health status; this aspect is reflected on the productive behavior of infected birds that have not been previously protected. In this experiment, there was an interaction between vaccination and the level of energy ($P < 0.05$); there was a higher BW response, less feed consumption and conversion in vaccinated chickens that consumed diets with 3 200 kcal/kg de ME (higher CES levels in the diet).

An efficacious feeding program includes in the different production phases the use of nutriment with the highest digestibility ingredients according to the anatomical and physiological conditions of the bird.⁵ In the second experiment, at the end of the initiation period (21 days of age), a lower feed conversion was obtained in diets with SCO ($P < 0.05$), resulting in a higher concentration of UFA,³ situation that did not continue during the growing and finishing periods, where there is full capacity to digest fat and absorb fatty acids in the diet with a higher proportion of SFA.^{5,6} Even though the diets had isoenergy levels and there were no differences ($P > 0.05$) for feed conversion, the efficacy index (EI) or flock uniformity, when using SCO diets, showed difference in abdominal fat ($P < 0.05$) in relation to PBF due perhaps to the proportion of UFA.³ Xanthophylls or pigments were equally offered in rations of the five treatments, observing no difference ($P > 0.05$) for skin yellowing or reddening, which indicates there was no effect by the evaluated energy source.

In conclusion, the higher proportion of UFA with lower amount of SFA and FFA present in diets during the first 21 days of age, increased productive yield and antibody titers concentration against IBD and IgA, without finding difference in length of intestinal villi in duodenum and jejunum or IgG concentration.

When evaluating CES in chicken diets for all the productive cycle, the data obtained during the initiation stage suggest that to obtain the highest genetic potential in chickens, SCO should be used, and in the later stages, AVF or PBF as concentrated energy sources, since they are more efficaciously used after 21 days of age, underlining that there were no differences found in relation to growth, breast, leg and thigh yield and skin pigmentation with the sources used in this study.

integridad de la bursa; el cálculo de la relación DBF/PC, notificado por Nelson *et al.*,²⁸ tuvo correlación de 0.60 o 0.90 de exactitud sobre el daño en este órgano; esta relación fue muy amplia aunque se indica mayor relación en una bolsa de Fabricio saludable. Al existir diferencia entre los tratamientos para el peso, se esperaba que los pollos con PC mayores tuviesen mayor DBF/PC, pero tal efecto no se observó ($P > 0.05$) a los 21 días en este estudio. Otro factor importante es que al aplicar la vacuna de virus vivo se genera replicación del virus vacunal en la BF, originando mayor tamaño del tejido, ello debería reflejarse en mayor índice DBF/PC, que no se observó ($P > 0.05$).

En el proceso de adaptación de una alimentación embrionaria hasta las dos primeras semanas de vida del ave, ocurren importantes desarrollos anatómicos y fisiológicos para completar la madurez del sistema digestivo y con ello el mejor aprovechamiento de los nutrimentos exógenos. La altura de la vellosidad y la profundidad de la cripta se modifican favorablemente después del nacimiento; en el duodeno se tiene un desarrollo completo entre los cuatro a seis días pos-eclosión; en cambio, para el yeyuno e íleon se requieren diez días. Este aumento en la superficie de las vellosidades, los cambios enzimáticos y el inicio de los sistemas de transporte activo de nutrimentos, incrementan la capacidad de absorción.²⁹ Los n-6 y n-3 presentes en las dietas que incluyeron aceites vegetales, influyeron positivamente en el número y longitud de las vellosidades,¹⁰ teniendo un efecto proporcional sobre la capacidad de absorción de los nutrimentos,⁵ esta respuesta se observó ($P > 0.05$) cuando se ofrecieron dietas con ACS al registrar las vellosidades mayor extensión, con excepción del íleon ($P < 0.05$) a los 11 días.

Los AGI n-6 y n-3 inducen acciones inmunomodulatorias después de su incorporación al tejido linfoide¹¹ y tienen impacto significativo sobre la respuesta inmune.¹² Los títulos de anticuerpos contra la IBF obtenidos a los 11 días, reflejan un nivel protector de anticuerpos maternos cercanos al valor que confiere una adecuada protección (título de anticuerpos por el método de ELISA de aproximadamente 2 000).²⁸ En desafíos virales realizados a los diez días de edad, se ha informado que los títulos de anticuerpos contra la IBF descienden, incluso en los no vacunados, a menos de 150.³⁰ Las aves con títulos elevados de anticuerpos contra IBF estarán mejor protegidas contra la enfermedad, como es el caso de los pollos de 11 días alimentados con el ACS y GAV, o con los niveles de 3 200 kcal/kg de EM en su dieta que se mantuvieron hasta los 21 días ($P < 0.05$). Sobre la concentración de IgG e IgA solamente se observó diferencia ($P < 0.05$) a los 21 días de edad, siendo favorable para esta última en dietas con ACS y GAV. Takahashi *et al.*³¹ encon-

Acknowledgements

Thanks are given to the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Husbandry of the National Autonomous University of Mexico for the professional formation that was received, as well as for the direction of this research; to the National Science and Technology Council of Mexico, for the grant received; and the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Husbandry of the Autonomous University of Yucatan for the support given in the use of the facilities; the enterprise Avicola Fernandez for their support given to the biological assay, especially Mr. Jorge E. Fernandez Martin, General Director; MVZ Hamana Salden, MC Isaías Sauri and QBF Francisco de Asís Santos Perez for their support in the Immunology Laboratory; to the Applied Research group for their valuable support in the Histology Laboratory, especially MVZ Joaquin Chapa and Elizabeth Rodriguez; MVZ Javier Castro and Jonathan Herrera for their help in field work; to the National Renderers Association for the technical participation of engineer German Davalos and funding; to Poultry Group KAKI for the preparation of the experimental feed, by engineer Pedro Lugo.

Referencias

1. Reece FN, McNaughton JL. Effects of dietary nutrient density on broiler performance at low and moderate environmental temperatures. *Poult Sci* 1982;61:2208-2211.
2. Viera SL, Moran ET Jr. Effects of egg of origin and chick post-hatch nutrition on broiler live performance and meat yields. *World's Poult Sci J* 1999;56:125-142.
3. Lewis D, Payne CG. Fats and amino acids in broiler rations: 6 synergistic relationships in fatty acid utilization. *Br Poult Sci* 1966;7:209-218.
4. Renner R, Hill FW. The utilization of corn oil, lard and tallow by chickens of various ages. *Poult Sci* 1960;39:849-854.
5. Sklan D. Development of the digestive tract of poultry. *World's Poult Sci J* 2001;57:415-428.
6. Dibner JJ, Knight ML, Kitchell CA, Atwell AC, Ivey FJ. Early feeding and development of the immune system in neonatal poultry. *J Appl Poult Res* 1998;7:425-436.
7. Uni Z, Noy V, Sklan D. Posthatch development of small intestine function in poultry. *Poult Sci* 1999;78:215-222.
8. Simopoulos AP. Symposium: Role of poultry products in enriching the human diet with N-3 PUFA. *Poult Sci* 2000;79:961-970.
9. Sijben JWC, Nieuwland B, Kemp HK, Parmentier JW, Schrama JW. Interactions and antigen dependence of dietary n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids on antibody responsiveness in growing layer hens. *Poult Sci* 2001;80:885-893.
10. Lopez-Pedrosa JM, Ramirez M, Torres MI, Gil A. Dietary phospholipids rich in long-chain polyunsaturated differences ($P < 0.05$) in the concentration of IgG when 10 g of C18:2/kg in an experimental diet, amount that is very above the concentration of C18:2 obtained with the energy sources included here.

La prevención contra las enfermedades enzoóticas mediante la vacunación, como en el caso de la IBF, es recomendable, ya que protegerá a las aves contra la infección y complicaciones secundarias, manteniendo un buen estado de salud; ese aspecto se reflejará en el comportamiento productivo con respecto a los infectados sin previa protección. En este experimento existió interacción entre la vacunación y nivel de energía ($P < 0.05$), se obtuvo respuesta superior en el PC, menor consumo de alimento y conversión alimenticia en los pollos vacunados que consumieron las dietas con 3 200 kcal/kg de EM (mayores niveles en las dietas de FCE).

Un programa de alimentación eficiente incluye la utilización de los nutrimentos en las distintas fases de producción de ingredientes con mayor digestibilidad, de acuerdo con las condiciones anatómicas y fisiológicas del ave.⁵ En el segundo experimento, al término del periodo de iniciación (21 días de edad), se obtuvo menor conversión alimenticia ($P < 0.05$) en dietas con el ACS, resultado de la mayor concentración de los AGI,³ situación que no continuó en el periodo de engorda y finalización, donde ya se tiene plena capacidad digestiva de la grasa y de absorción de los ácidos grasos de la dieta con mayor proporción de AGS.^{5,6} A pesar de que las dietas fueron isoenergéticas y de que no existieron diferencias ($P > 0.05$) para la conversión alimenticia, IE o uniformidad de la parvada, al utilizar en las dietas el ACS, se observó diferencia ($P < 0.05$) en el depósito de grasa abdominal ($P < 0.05$) con respecto a la GCB debido quizá a la proporción de AGI.³ El aporte de xantofilas o pigmentos en las raciones fueron iguales en los cinco tratamientos y no se presentó diferencia ($P > 0.05$) para el amarillamiento y enrojecimiento de la piel, ello indica que no existió efecto a la fuente de energía evaluada.

En conclusión, la mayor proporción de AGI con menor cantidad de AGS y AGL presentes en las dietas los primeros 21 días de edad, incrementó el rendimiento productivo, títulos de anticuerpos contra IBF y la concentración de IgA, sin encontrar diferencia en longitud de las vellosidades intestinales en duodeno y yeyuno o concentración de IgG.

Al evaluar las FCE en las dietas de pollos todo el ciclo productivo, los datos obtenidos en la etapa de iniciación sugieren que para lograr el mayor potencial genético de los pollos debe utilizarse ACS, y en etapas posteriores, GAV o GCB como fuentes concentradas de energía, ya que se aprovechan más eficientemente después de los 21 días de edad, resaltando que no se

rated fatty acids improve the repair of small intestine in previously malnourished piglets. *J Nutr* 1999;129:1149-1155.

11. Sijben JWC, De Groot H, Nieuwland MGB, Schrama JW, Parmentier HK. Dietary linoleic acid divergently affects immune responsiveness of growing layer hens. *Poult Sci* 2000;79:1106-1115.
12. Fritsche KL, Cassity NA, Huang SC. Effect of dietary fat on the fatty acid compositions of serum and immune tissues in chickens. *Poult Sci* 1991;70:1213-1222.
13. García E. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. México DF: UNAM, 1973. 246.
14. NRC. Nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. ed. Washington, DC: National Academy Press, 1994.
15. NRA, INC. Pocket information manual – a buyer's guide to rendered products. National Renderers Association, 1993.
16. Association of Official Agricultural Chemists. Fatty acid profile: Method 28.057 a 28.068. Official Methods of Analysis. 13th ed. Arlington, VA: AOAC 1980.
17. Grajeda DA, Merino GR. Método ELISA para la detección de IgA en intestino de pollos. Memorias de VIII Jornadas Médico Avícolas; 2002 febrero 20-22; México (DF). México (DF): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, 2002: 95.
18. Kit Bethyl Lab. Specialty Products ELISA Kits. Serial online : 2002 Jan. Cited : 2005 Aug 20. Available from : www.bethyl.com/matrix.asp?catid=3
19. Ismail NM, Saif M, Wigle WL, HA Venstein GB, Jackson C. Infectious bursal disease virus variant from commercial leghorn pullets. *Avian Dis* 1991;34:141-145.
20. SAS User's Guide. Version 8.1. Cary; NC: SAS Inst. Inc, 2001.
21. Mendenhall W. Introduction to probability and statistics. In: Mendenhall W, Beaver RJ, Belmont, editors. Introduction to linear models and the design and analysis of experiments. Belmont (California): Duxbury, 1994:244-251.
22. Ross Breeders. Producing quality broiler meat. Ross broiler management manual. Ross. Scotland UK: Ross Breeders Limited, 1996; 85.
23. Serafin JA, Nesheim MC. Influence of dietary heat-labile factors in soybean meal upon bile acid pools and turnover in the chick. *J Nutr* 1970;100:786-796.
24. Nitsan Z, Ben-Avraham G, Zoref Z, Nir I. Growth and development of the digestive organs and some enzymes in broiler chicks after hatching. *Br Poult Sci* 1991;32:515-523.
25. Ketels E, De Groote G. Effect of ration of unsaturated to saturated fatty acids of the dietary lipid fraction on utilization and metabolizable energy of added fats in young chicks. *Poult Sci* 1989;68:1506-1512.

encontraron diferencias en cuanto a crecimiento, rendimiento de pechuga, pierna, muslo y pigmentación de la piel entre las fuentes estudiadas.

Agradecimientos

Se agradece a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México por la formación profesional recibida, así como por la dirección de esta investigación; al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, de México, por la beca otorgada; a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán por las facilidades en el uso de instalaciones; a la empresa Avícola Fernández por su apoyo en el ensayo biológico, particularmente al señor Jorge E. Fernández Martín, Director General; a la MVZ Hamana Salden, al MC Isaías Sauri y al QBF Francisco de Asís Santos Pérez por su apoyo en el Laboratorio de Inmunología; al grupo de Investigación Aplicada por su valioso apoyo en el Laboratorio de Histología, especialmente a los MVZ Joaquín Chapa y Elizabeth Rodríguez; al MVZ Javier Castro y a Jonathan Herrera por su ayuda en la parte del trabajo de campo; a la National Renderers Association por la participación técnica del ingeniero Germán Dávalos y aporte de recursos; al grupo Avícola KAKI por la elaboración del alimento experimental, por intermedio del ingeniero Pedro Lugo.

26. Lilburn MS. Practical aspects of early nutrition for poultry. *J Appl Poultry Res* 1998;7:420-424.
27. Sklan D. Digestion and absorption of lipids in chicks fed triglycerides or free fatty acids: Synthesis of monoglycerides in the intestine. *Poult Sci* 1979;58:885-889.
28. Nelson P, Ching-Ching W, Tsang-Long L, Robert K. Efecto de diferentes niveles de anticuerpos maternos del virus de la enfermedad infecciosa de la bursa sobre la protección de sus progenies contra diferentes cepas del IBDV. *Vet Trop* 1998;23:147-167.
29. Noy Y, Sklan D. Digestion and absorption in the young chick. *Poult Sci* 1995;74:366-373.
30. Cardoso B, Morales O. Enfermedad de Gumboro – el desafío de la vacuna. Apuntes técnicos de Avimex; 2000 Mayo 18; Mérida (Yucatán) México: Avimex, 2000: 15-20.
31. Takahashi K, Akiba Y, Iwata T, Kasai M. Effect of a mixture of conjugated linoleic acid isomers on growth performance and antibody production in broiler chicks. *Br J Nutr* 2003;89:691-694.