

# DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES QUÍMICOS Y COEFICIENTES ALOMÉTRICOS EN CERDOS CASTRADOS HASTA LOS 273 DÍAS EN EL TRÓPICO ALTO COLOMBIANO

Casas GA<sup>1</sup>, Afanador G<sup>2</sup>

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia  
Departamento de Ciencias de la Producción Animal

## RESUMEN

Las relaciones entre la ingestión de nutrientes y la composición química y física corporal son afectadas a nivel práctico por un rango de factores asociados con la nutrición, el genotipo, el ambiente y el estado de madurez, y constituyen la base para manipular la calidad de la carne y la eficiencia en un contexto específico de producción. El objetivo de esta investigación fue describir los componentes químicos de un genotipo de cerdos, y las relaciones de tipo alométrico que se generan entre los diferentes componentes, teniendo como referencia la proteína en la canal y en el peso corporal vacío, en un contexto específico y comercial de producción. Se utilizaron 39 cerdos castrados del cruce Duroc-Landrace x Yorkshire, desde el nacimiento hasta los 273 días de edad, los cuales fueron sometidos a prácticas convencionales comerciales de manejo. Después de los 70 días los animales fueron trasladados a 2600 msnm (14 °C). Cuatro cerdos fueron sacrificados a 1, 21, 63, 99, 126, 154, 175, 210, 239 y 273 días de. Se estimaron los contenidos de agua, proteína, lípidos y cenizas en canal, vísceras rojas y vísceras blancas, mediante análisis proximal. Los animales fueron alimentados con dietas comerciales cuya composición fue determinada. Se evaluaron seis ecuaciones para estimar la predicción de las relaciones alométricas entre los componentes químicos y la proteína. Se confirmó que la proteína, los lípidos y el agua se incrementaron de forma lineal y cuadrática mientras que la ceniza lo hizo de forma lineal, tanto en la canal como en el cuerpo vacío. La proporción de los componentes químicos en la canal y cuerpo vacío mostraron diferentes comportamientos a lo largo del ciclo de crecimiento. Se obtuvieron relaciones lípido:proteína de 2,14, agua:proteína de 3,22, y cenizas:proteína de 0,16. Las ecuaciones alométricas aumentadas y linealizadas fueron las que mejor describieron los datos, mostrando coeficientes alométricos de 0,86 para la relación agua:proteína, 1,45 para lípidos:proteína y 0,81 para ceniza:proteína.

**Palabras clave:** composición química, cerdos, alometría.

1 gacasabe@unal.edu.co

2 gafanadort@unal.edu.co

# DESCRIPTION OF CHEMICAL BODY COMPONENTS AND ALLOMETRIC COEFFICIENTS IN BARROWS TO 273 DAYS IN THE COLOMBIAN HIGH TROPICAL REGION

## ABSTRACT

A range of factors associated with nutrition, genotype, environment and the stage of maturity have an effect on the relationship between nutrient intake, chemical and both chemical and physical body composition at a practical level. These factors constitute the bases to manipulate meat quality and its efficiency of production in a specific scenario.

The objective of this research was to describe the composition of a pig genotype and the allometric relationships among the different components taking into account the carcass protein level in the empty body weight, in a specific context of commercial production. We used 39 barrows of the cross breed Duroc-Landrace x Yorkshire, from birth to 273 days of age, who were managed on conventional condition. After 70 days the animals were moved to 2600 msnm (14 °C). Four barrows were sacrificed at days 1, 21, 63, 99, 126, 154, 175, 210, 239 and 273 of age. Water, protein, lipids and ash were estimated in the canal, red and white entrails using proximal analysis. Animals were feed with a commercial diet whose composition was determined. Six equations were used to estimate allometric relationships between chemical components and protein content. We found that protein, lipids and water content increased linearly and quadratic while ash content increased linearly in both canal and empty body. The proportions of chemical components in the canal and the empty body showed different behavior along the commercial growth cycle. The relationships lipid:protein, water:protein and ash: protein were 2.14, 3.22 and 0.16 respectively. Increased and linearized allometric equations showed the best prediction of the data. They showed allometric coefficients of 0.86 for the relationship water: protein, 1.45 for lipids: protein and 0.81 for ash:protein.

**Key words:** Chemical composition, allometry, pigs.

## INTRODUCCIÓN

La eficiencia en la producción de carne de cerdo, y la obtención del peso corporal al sacrificio ajustado a las exigencias del mercado, dependen de una apropiada descripción del tipo de cerdo, escenario que debe considerar las características de crecimiento de los tejidos comestibles. La optimización del proceso de producción demanda de una definición tan exacta como sea posible de la capacidad de producción del cerdo, particularmente de los componentes físicos y químicos de la canal.

En general, estas descripciones están definidas de manera inadecuada comercialmente (1). Además, los componentes químicos, proteína, lípidos, agua y cenizas son insumos y variables de estado para el desarrollo de modelos matemáticos, a partir de los cuales

se estiman las tasas de deposición de tejido magro y de lípidos, componentes que determinan los requerimientos nutricionales, el costo de un kilogramo de producto y, por tanto, el valor económico del animal (2).

Las relaciones entre la ingestión de nutrientes y la composición química y física corporal son afectadas en la práctica por un rango de factores asociados con la nutrición, el genotipo, el ambiente y el estado de madurez, y constituyen la base para manipular la calidad de la carne y la eficiencia en un contexto específico de producción.

Este trabajo retoma la premisa de que el determinante genético del tamaño de un órgano es la cantidad de ADN, la cual determina la cantidad de proteína que puede depositar un animal, y tiene por objetivo describir la composición química de un

genotipo de cerdos y las relaciones de tipo alométrico que se generan entre los diferentes componentes teniendo como referencia la proteína en la canal y en el peso corporal vacío, en un contexto específico y comercial de producción en la región del trópico de altura colombiano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### SELECCIÓN Y MANEJO DE ANIMALES

Se utilizaron 39 cerdos machos castrados de un cruce terminal comercial (Duroc-Landrace x Yorkshire). El proceso de crecimiento y los cambios en composición fueron analizados a 10 diferentes edades (1, 21, 63, 99, 126, 154, 175, 210, 239 y 273 días de edad). Para cada grupo de edad se sacrificaron cuatro cerdos, excepto para el de 210 días, en el cual se sacrificaron solo tres animales. Inicialmente, 52 lechones fueron seleccionados al nacimiento, de hembras de 2 a 5 partos, servidas con machos de igual línea genética.

Los partos fueron inducidos el día 114, se utilizaron lechones de  $1,6 \pm 0,3$  kg, y se registró el peso corporal antes de consumir calostro. Considerando el número de partos en la granja y la restricción de seleccionar solamente machos, se constituyeron dos grupos que fueron marcados con muescas en las orejas en consecutivo de 1 a 26 (primer grupo) y de 27 a 52 (segundo grupo). Cuatro lechones fueron asignados al azar a cada edad de sa-

crificio, dejando los restantes como comedines para reemplazar las posibles pérdidas por mortalidad. Todos los animales fueron sometidos a prácticas comerciales de manejo (descolmillado, descolado, aplicación de 200 mg de hierro dextran), y adicionalmente se les suministró 2 ml de un prebiótico comercial. Los cerdos fueron pesados cada semana individualmente en una báscula electrónica, previo ayuno de 12 horas, hasta el día del sacrificio. Los lechones fueron destetados a los 21 días y trasladados en jaulones elevados del piso 60 cm, con piso plástico ranurado, donde se consolidaron dos grupos de 24 animales (1 a 26 y de 27 a 52) dado que murieron 4 en lactancia, asignando un espacio de 0,25 m<sup>2</sup> por animal, similar al utilizado comercialmente. La temperatura se mantuvo en un rango entre 22-28 °C utilizando calefactores de gas propano, y la ventilación se manejó con cortinas. A los 56 días se trasladaron a piso de concreto conservando un espacio 0,40 m<sup>2</sup> por animal. A los 70 días de edad se trasladaron al Centro Agropecuario Marengo, donde cada grupo fue separado (11 animales por corral), asignando 0,60 m<sup>2</sup> por animal, y posteriormente 1,5 m<sup>2</sup> por animal, la temperatura fluctuó entre 14-25 °C, y no se utilizó calefacción. El alimento comercial fue suministrado a voluntad, se utilizaron 4 dietas comerciales, cuya composición química fue determinada y se presenta en la Tabla 1, el suministro se hizo diariamente a las 7:00

**Tabla 1.** Composición química estimada de dietas comerciales suministradas

Producto	Edad	Energía bruta	MS	Agua	Proteína	Lípidos	Ceniza	FC	FDN
	Días	Kcal/gr				%			
<b>Dieta 1</b>	42	4489	90,47	9,53	23,78	3,1	7,61	2,62	10,89
<b>Dieta 2</b>	63	4222	90,86	9,14	24,10	8,04	8,04	2,73	9,41
<b>Dieta 3</b>	123	4486	86,87	13,13	21,92	7,16	8,21	8,21	12,42
<b>Dieta 4</b>	150	4629	85,73	14,27	23,60	7,63	6,99	6,99	12,98

a.m. y a las 3:00 p.m., la medición del residuo se realizó al día siguiente a las 7:00 a.m.

### SACRIFICIO Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS CERDOS

Los lechones hasta los 63 días fueron sacrificados en la granja de cría, utilizando desensibilización por electrocución (110 v), y desangrado de inmediato. Posteriormente se separaron y pesaron las vísceras y la canal; el estómago, intestino delgado e intestino grueso fueron pesados con contenido, posteriormente dicho contenido fue retirado y se pesaron los órganos vacíos. La canal y los grupos de vísceras, blancas y rojas, se conservaron por separado a -20 °C. Los cerdos de 99 a 273 días fueron sacrificados en la planta piloto de carnes del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) de la Universidad Nacional de Colombia, utilizando procedimientos convencionales de sacrificio: desensibilización, izado, exanguinado, escaldado, pelado y eviscerado. A todos los cerdos seleccionados para cada edad se les suspendió el suministro de alimento 24 horas antes del sacrificio, y fueron transportados a la planta 12 horas antes del mismo. Igualmente, se separaron vísceras rojas, blancas y canal. A partir de 126 días de edad, la canal fue dividida por la línea media y se conservó la mitad izquierda.

**Procesamiento de muestras.** La carne y el tocino fueron separados de la canal y cortados en trozos de 3 cm<sup>2</sup>, los huesos fueron cortados con sierra eléctrica en trozos de 3 cm<sup>2</sup>, posteriormente se mezclaron las partes (tocino, carne y hueso), y fueron molidas, la mezcla se pasó por un molino para carne con disco de 2,1 mm y luego por un disco de 1,5 mm, y se tomaron muestras de 200 g las cuales fueron almacenadas en bolsas plásticas por triplicado. Las vísceras rojas y blancas fueron cortadas, por separado, en trozos de 3 cm<sup>2</sup>, y molidas en molino para carne con disco de 2,1 mm y luego con disco

de 1,5 mm, y se tomaron muestras de 200 g. De las muestras colectadas de canal, vísceras rojas y vísceras blancas, una fue llevada al laboratorio para determinación de materia seca, en horno a 100 °C por 24 horas; otra muestra fue liofilizada para realizar la determinación de proteína cruda, extracto etéreo (éter de petróleo) y ceniza; posteriormente, la muestra restante se conservó a -20 °C. Los componentes químicos proximales totales (proteína total, lípido total, agua total y ceniza total), fueron analizados de acuerdo con las técnicas descritas por AOAC (3), y calculados sumando el peso de cada componente en la canal, en la víscera roja y en la víscera blanca; no se tuvieron en cuenta los componentes químicos de la sangre y los pelos.

**Análisis de información.** Se realizó estadística descriptiva para los componentes químicos (agua, proteína, lípidos y ceniza) en los componentes: canal, víscera roja (VR) y víscera blanca (VB). Las tendencias lineal o cuadrática y cúbica fueron determinadas utilizando el procedimiento GLM de SAS (4).

Se probaron seis ecuaciones para cuantificar las relaciones entre el peso corporal vacío y cada uno de los órganos o grupo de vísceras (blancas o rojas), y el componente químico proteína con los demás componentes (lípidos, ceniza y agua) en la canal, las vísceras blancas y las rojas. Las ecuaciones probadas fueron: una función cuadrática convencional (a), la función alométrica (b), la función alométrica linealizada (c), la función cuadrática alométrica (d), la función alométrica aumentada (e) y una función exponencial (f) (2, 5).

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 \quad (a)$$

$$Y = bX^{bl} \quad (b)$$

$$Y = \text{Log } b + b_1L\text{log } X \quad (c)$$

$$Y = \text{log } b + b_1\text{Log } X + b_2(\text{Log } X)^2 \quad (d)$$

$$Y = \text{Log } b + b_1\text{Log } X + b_2\text{Log } (c-X) \quad (e)$$

$$Y = M(1 - e^{b + b_1X + b_2X}) \quad (f)$$

Donde Y es el peso de cada órgano o componente químico en kg, y X es el peso de corporal vacío en kg. El valor de c en la ecuación alométrica aumentada (e) para las relaciones de componentes químicos se estimó entre 60 y 70, utilizando como criterio la estabilidad del  $r^2$ .

Cada variable (componentes anatómicos y químicos) fue evaluada con cada una de las ecuaciones descritas. La selección de la mejor ecuación se realizó mediante la metodología de evaluación y comparación de modelos matemáticos descrita por Tedeschi (6), así: análisis de regresión lineal, comparación de pertinencia del modelo y análisis del cuadrado medio de predicción del error (MSPE).

## RESULTADOS

### DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES QUÍMICOS

Los componentes químicos del peso corporal vacío se observan en la Tabla 2. Estos resultados indican que el agua, la proteína y los lípidos se incrementan de forma lineal-cuadrática, mientras que la ceniza lo hace de forma lineal ( $P < 0,001$ ). La masa de proteína aumentó linealmente hasta los 123 kg, el agua hasta los 148 kg, y los lípidos hasta los 73 kg de peso corporal vacío.

Desde el nacimiento hasta los 161 kg de peso corporal el peso del agua, la proteína, los lípidos y la ceniza del peso corporal vacío se incrementaron en 62,6, 115 y 2333 y 65 veces, respectivamente.

**Tabla 2.** Promedio de peso de componentes químicos de cuerpo vacío (kg) durante el crecimiento de cerdos castrados, desde el nacimiento hasta 273 días de edad

Edad	Peso corporal vacío	Agua	Proteína	Lípidos	Ceniza
Días				kg.	
1	1,68	1,24 ±0,065	0,20 ±0,016	0,021 ±0,001	0,060 ±0,004
21	5,79	3,70 ±0,635	0,84 ±0,134	0,623 ±0,250	0,181 ±0,034
63	21,4	14,2 ±0,707	3,58 ±0,355	2,08 ±0,456	0,613 ±0,061
99	43,7	28,4 ±2,56	6,91 ±0,634	4,51 ±0,825	1,25 ±0,116
126	62,6	36,2 ±2,67	11,15 ±1,06	10,1 ±2,087	1,53 ±0,1167
154	73,3	42,5 ±1,19	12,31 ±0,92	10,9 ±1,662	1,87 ±0,061
175	103,5	53,9 ±1,91	15,68 ±0,763	22,3 ±0,994	2,57 ±0,150
210 <sup>1</sup>	123,6	57,7 ±3,54	20,91 ±1,00	36,4 ±4,909	3,01 ±0,067
239	148,7	72,8 ±1,67	21,83 ±1,16	43,2 ±3,655	3,82 ±0,423
273	160,9	75,1 ±2,80	23,29 ±0,567	49,9 ±5,05	3,92 ±0,142
Lineal		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,001
Cuadrático		<0,0001	0,0001	0,0005	0,0463
Cúbico		0,292	0,2741	0,0032	0,7516

±SEM, n=4, <sup>1</sup>n=3

Los componentes químicos de la canal mostraron las mismas tendencias descritas para el peso corporal vacío (Tabla 3).

En las VR, el agua y la proteína mostraron una tendencia lineal-cuadrática con respecto al peso de la víscera roja ( $P < 0,01$ ), mientras que las cenizas mostraron una tendencia lineal ( $P < 0,001$ ). En contraste, las VB mostraron una tendencia lineal-cuadrática para las cuatro macromoléculas ( $P < 0,0001$ ).

La Tabla 4 muestra las proporciones de componentes químicos en el peso corporal vacío, se observa que el agua disminuye del 74% al nacimiento a 64,1% al destete (5,79 kg), y fue estable a los 123 kg con 49,8%. El porcentaje de proteína aumentó de 12% al nacimiento, a 16% a los 21 kg, y se mantuvo en un rango de 14,5 a 16%. Desde el nacimiento hasta los 161 kg de peso corporal, los lípidos se incrementaron linealmente durante el crecimiento de 1,3 a 29,3%. La ceniza no mostró una tendencia específica de expresión con la edad.

Las proporciones de componentes químicos en el peso de la canal mostraron comportamientos contrastantes en el ciclo comparados con el peso corporal vacío (Tabla 5), explicado posiblemente por la influencia de los componentes químicos en vísceras en este último.

El contenido de agua fue similar en los dos grupos de vísceras. Las vísceras rojas presentaron mayor proporción de proteína y cenizas, y menor proporción de lípidos, con respecto a las vísceras blancas.

Las relaciones lípido:proteína (LP), agua:proteína (AP) y ceniza:proteína (CP) se observan en la Tabla 6. La relación LP se incrementó de 0,89 a 2,14 de los 74 a 162 kg, mientras que la relación AP disminuyó de 6,31 al nacimiento a 3,35 a los 150 kg de peso, y la relación CP se mantuvo estable (0,13 a 0,17) entre los 22,4 kg y los 162 kg de peso corporal.

**Tabla 3** Promedio de peso de componentes químicos de la canal durante el crecimiento de cerdos castrados, desde el nacimiento hasta 273 días de edad

Edad	Peso canal	Agua	Proteína	Lípidos	Ceniza				
Días			kg.						
1	1,3	1,1	±0,05	0,2	±0,02	0,02	±0,0008	0,06	±0,004
21	4,7	3,2	±0,55	0,7	±0,12	0,6	±0,24	0,17	±0,03
63	17,7	12,1	±0,49	3,0	±0,26	1,9	±0,31	0,54	±0,05
99	35,7	34,4	±2,56	6,0	±0,62	4,3	±0,78	1,15	±0,11
126	51,9	31,1	±2,35	10,0	±0,99	9,5	±2,00	1,44	±0,11
154	61,0	37,5	±1,18	11,2	±0,93	10,3	±1,63	1,77	±0,05
175	85,7	48,1	±1,85	14,3	±0,74	20,9	±1,17	2,44	±0,15
210 <sup>1</sup>	107,7	51,3	±3,38	19,4	±0,91	34,8	±4,78	2,82	±0,04
239	131,4	65,4	±1,77	20,3	±1,20	40,9	±3,45	3,65	±0,42
273	142,3	68,5	±2,57	21,8	±0,58	46,8	±4,9	3,77	±0,13
Lineal			<0,0001		<0,0001		<0,0001		<0,0001
Cuadrático			<0,0001		0,0009		<0,0001		0,4206
Cúbico			0,1044		0,1176		0,5814		0,2484

±SEM, n=4, <sup>1</sup>n=3

**Tabla 4** Porcentajes de componentes químicos en el peso corporal vacío durante el crecimiento de cerdos castrados, desde el nacimiento hasta 273 días de edad

Edad	Peso corporal vacío	Agua		Proteína		Lípidos		Ceniza	
Peso	kg	%							
1	1,68	74,2	±1,30	12,0	±1,09	1,30	±0,07	3,60	±0,26
21	5,79	64,1	±2,60	14,7	±0,22	9,39	±2,72	3,08	±0,12
63	21,4	66,4	±4,60	16,7	±1,71	9,69	±1,95	2,80	±0,23
99	43,7	65,1	±0,37	15,8	±0,41	10,0	±1,01	2,90	±0,23
126	62,6	58,1	±1,42	17,8	±0,46	15,7	±1,93	2,46	±0,06
154	73,3	58,1	±2,09	16,7	±1,17	14,8	±2,14	2,55	±0,07
175	103,5	52,1	±1,20	15,1	±0,65	21,6	±1,22	2,49	±0,17
210 <sup>1</sup>	123,6	49,8	±3,25	16,9	±0,69	29,3	±3,31	2,43	±0,06
239	148,7	49,1	±2,02	14,7	±0,95	29,0	±2,06	2,57	±0,25
273	160,9	46,7	□ ±1,66	14,5	±0,39	30,9	±2,48	2,44	±0,11

±SEM, n=4, <sup>1</sup>n =3**Tabla 5.** Porcentaje de componentes químicos en el peso de la canal durante el crecimiento de cerdos castrados desde el nacimiento hasta 273 días de edad.

Edad	Peso canal	Agua		Proteína		Lípidos		Ceniza	
Días	kg	%							
1	1,3	79,00	±0,68	13,19	±1,48	1,38	±0,06	4,28	±0,22
21	4,7	68,21	±1,79	16,07	±0,89	10,77	±2,99	3,56	±0,26
63	17,7	68,25	±1,72	17,03	±0,50	10,69	±1,03	3,01	±0,14
99	35,7	68,33	±0,67	16,9	±0,41	11,67	±1,05	3,29	±0,33
126	51,9	60,34	±1,67	19,23	±0,63	17,81	±2,17	2,80	±0,086
154	61,0	61,72	±2,97	18,37	±1,40	16,71	±2,32	2,91	±0,086
175	85,7	56,03	±1,33	16,67	±0,62	24,45	±1,71	2,85	±0,19
210 <sup>1</sup>	107,7	47,78	±3,47	17,99	±0,81	32,22	±3,68	2,63	±0,09
239	131,4	49,83	±1,78	15,43	±0,96	31,10	±2,39	2,77	±0,29
273	142,3	48,24	±1,93	15,34	±0,42	32,71	±2,73	2,66	±0,14

±SEM, n=4, <sup>1</sup>n =3

**Tabla 6.** Relación lípido/proteína, agua/proteína y ceniza/proteína en cuerpo vacío durante el crecimiento de cerdos castrados, desde el nacimiento hasta 273 días de edad

Edad días	Peso corporal vacío	Lípido/proteína		Agua /Proteína		Ceniza/proteína	
1	1,68	0,11	±0,009	6,31	±0,58	0,30	±0,035
21	5,79	0,64	±0,19	4,34	±0,20	0,20	±0,009
63	21,4	0,56	±0,067	4,01	±0,20	0,17	±0,005
99	43,7	0,63	±0,065	4,12	±0,11	0,18	±0,016
126	62,6	0,88	±0,11	3,27	±0,12	0,13	±0,005
154	73,3	0,89	±0,11	3,54	±0,40	0,15	±0,009
175	103,5	1,44	±0,11	3,45	±0,12	0,16	±0,014
210 <sup>1</sup>	123,6	1,72	±0,15	2,79	±0,30	0,14	±0,009
239	148,7	2,01	±0,25	3,35	±0,13	0,17	±0,014
273	160,9	2,14	±0,20	3,22	±0,075	0,16	±0,008

±SEM, n=4, <sup>1</sup>n =3

## RELACIONES ALOMÉTRICAS

Las relaciones alométricas de los componentes químicos se establecieron tomando como referencia la proteína en tres niveles:

a) un nivel global donde se realizó la sumatoria de los pesos de cada uno de los componentes químicos medidos en la canal, las vísceras rojas y las vísceras blancas;

b) un segundo nivel de análisis donde se comparó la proteína total con la proteína medida en las vísceras blancas y en las vísceras rojas;

c) en un tercer nivel se relacionó la proteína de la canal con los otros componentes químicos de la misma.

Utilizando como criterio los mayores valores de  $r^2$ , los menores valores de sesgo de la media, de cuadrado medio del error, y de cuadrado medio de predicción del error, se concluyó que las ecuaciones que presentaron mejor ajuste de los datos fueron la alométrica linealizada y la alométrica aumentada. Los coeficientes alométricos y los interceptos de estas ecuaciones se muestran en la tabla 7.

## DISCUSIÓN

### DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES QUÍMICOS

Durante el periodo de crecimiento del cerdo ocurren cambios cualitativos y cuantitativos en la masa corporal, los cuales están ampliamente relacionados con beneficios económicos y en productividad para los productores. Desde hace varios años se han reportado diferentes tasas de crecimiento para músculo, hueso y grasa durante el desarrollo de los cerdos, encontrando que el hueso y el músculo se desarrollan primero, y luego la tasa de crecimiento de estos componentes disminuye, mientras que la de los lípidos aumenta (7).

El peso corporal vacío puede calcularse mediante la suma del peso de los lípidos y del cuerpo vacío libre de grasa, y éste a su vez es la suma del peso del agua y de la materia seca libre de lípidos (8). En este estudio se presentó una diferencia entre el peso corporal vacío observado y el estimado mediante sumatoria de 6,36%, lo cual se explica porque en la metodología de sacrificio

**Tabla 7.** Coeficientes alométricos para la relación de proteína total y proteína de la canal con respecto a otros componentes químicos.

COMPONENTE	MODELO	b	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
<b>Proteína total frente a</b>				
agua total	Alométrica aumentada	0,48263	0,87875	0,11144
	Alométrica linealizada	0,67806	0,868	
Lípido total	Alométrica aumentada	1,35169	1,41707	1,68
	Alométrica linealizada	-0,49142	1,5185	5,79
				21,4
Ceniza total	Alométrica aumentada	0,47275	0,81415	43,7
	Alométrica linealizada	-0,65455	0,87619	62,6
<b>Proteína total frente a</b>				3
proteína en v. total	Alométrica aumentada	-3,84176	1,03777	103,5
	Alométrica linealizada	-0,91927	0,87694	123,6
				148,7
Proteína en v. blanca	Alométrica aumentada	-4,84252	1,074	160,9
	Alométrica linealizada	-1,3473	0,8817	
Proteína en v. roja	Alométrica aumentada	-3,6474	1,0144	1,43725
	Alométrica linealizada	-1,1268	0,87568	
<b>PROTEINA CANAL frente a</b>				
agua canal	Alométrica aumentada	0,44485	0,87651	0,12413
	Alométrica linealizada	0,662540	0,865600	
Lípido canal	Alométrica aumentada	0,76801	1,45187	-0,69265
	Alométrica linealizada	-0,446740	1,512790	
Ceniza canal	Alométrica aumentada	0,62901	0,80398	-0,72135
	Alométrica linealizada	-0,636070	0,867410	

no se tuvieron en cuenta los componentes químicos de la sangre, de los pelos y de la primera capa de la piel.

Los porcentajes de agua y lípidos en el cuerpo vacío obtenidos fueron inferiores a los reportados por Shields *et al.* (9), mientras que los porcentajes de proteína en cuerpo vacío y en los componentes de la canal fueron mayores. En la canal, todos los componentes químicos fueron mayores a los reportados por estos investigadores. Así mismo, las relaciones de agua:proteína y cenizas:proteína

fueron similares a las calculadas, mientras que la relación lípidos:proteína fue menor. Los valores reportados por Gómez *et al.* (10), en términos de gramos del componente químico por kg de peso corporal vacío, fueron menores en agua (675 ó 657 frente a 683), similares en proteína y ceniza (176 ó 178 frente a 174, y 24 ó 26 frente a 29, respectivamente) y mayores en lípidos (125 ó 139 frente a 101). En la canal, los contenidos de todos los componentes fueron mayores comparados con los reportados por Shields

*et al.* (9), y con respecto a los valores reportados por Gómez *et al.* (10) se observa un comportamiento similar al descrito para el componente del cuerpo vacío con proteína.

Se confirmó lo reportado por diferentes autores en cuanto al comportamiento lineal cuadrático del contenido del agua, la proteína y los lípidos, y la tendencia lineal de la ceniza en el cuerpo vacío (9, 2). La tendencia general a disminuir el porcentaje de agua, mientras se aumenta el porcentaje de lípidos, fue descrita por Shields *et al.* (9), y también fue encontrada en este estudio, al analizar la composición del peso corporal vacío, la canal y las vísceras. Es común que la proporción del agua en el cuerpo vacío disminuya, y que la proporción de lípidos aumente, a medida que el cerdo crece en condiciones ideales. La forma mediante la cual el contenido de proteína cambia en el cuerpo depende del incremento en la deposición de grasa; sin embargo, como el contenido de la proteína de la materia seca libre de lípidos es constante, el crecimiento de este componente puede ser estimado como un múltiplo del crecimiento de la proteína. En este sentido, si el peso del agua y los lípidos pudieran también ser descritos a partir del crecimiento de la proteína, en una forma simple en condiciones ideales, entonces el potencial de crecimiento de todos los componentes corporales del cerdo podría ser descrito (8).

Esta descripción de los componentes corporales se concibe en el escenario en que el crecimiento de la proteína es probablemente menos afectado por condiciones ambientales y nutricionales prevalentes, comparadas con el potencial de deposición de lípidos. En general, la cantidad total de proteína depositada es el resultado de diferentes tasas de deposición en varios compartimentos del cuerpo (canal, vísceras, etc.). Algunos tejidos tienen una tasa alta de síntesis pero baja tasa deposición, debido a una alta tasa de degradación fraccional. La

relación de deposición a síntesis es sensible a factores tales como la edad, la genética y el estado nutricional del cerdo. El genotipo determina el nivel diario de deposición de proteína, la cual está altamente correlacionada con el total de proteína depositada. Por otra parte, la deposición de lípidos está determinada por el suministro de energía y la relación proteína:energía metabolizable de la dieta, de tal forma que el porcentaje de grasa por unidad de materia seca en el músculo se incrementa con la concentración de energía en la dieta y el consumo diario de energía, y disminuye cuando se incrementa la relación proteína:energía en cerdos de 90 kg de peso corporal (11).

En cuanto a la composición química de las vísceras, diferentes estudios han llevado a la conclusión de que la composición química de los órganos cambia con la composición corporal, y el porcentaje de proteína total en los órganos es una función de la proteína total corporal. Se han observado respuestas lineales entre el porcentaje de grasa en las vísceras totales y el porcentaje de grasa en la víscera roja con el porcentaje de grasa en el cuerpo vacío (11).

En este estudio se estimaron las mismas tendencias lineales con coeficientes de correlación de 0,94 y 0,89 para víscera total y víscera roja respectivamente. Los estimativos de esta asociación muestran que por cada kilogramo de grasa de víscera roja hay 40,88 kg de grasa total en el cuerpo vacío, es decir, esta grasa representa el 2,69% de la grasa del cuerpo vacío, mientras que para la grasa presente en la víscera total, esta relación fue de 1 a 16,8, o sea que la grasa de víscera total es el 5,95% de la grasa presente en el cuerpo vacío.

Las relaciones entre componentes químicos han sido descritas por Fergusson y Kyriazis (12), quienes reportan que la relación cenizas:proteína a la madurez permanece relativamente constante y presenta

valores desde 0,18 a 0,25 entre diferentes genotipos, con un valor promedio de 0,22.

El valor obtenido en el presente estudio a los 161 kg de peso vacío fue 0,17, el cual fue similar al obtenido por el genotipo 1 (Large White F1) del trabajo Surafricano. La relación agua:proteína calculada en 3,22 a los 161 kg es comparable con los datos reportados en el estudio de referencia, los cuales varían desde 2,93 a 3,42, con un promedio de 3,17. Para los lípidos esta variación fue de 1,24 a 2,37 con un valor cercano al obtenido con el genotipo Large White x Pietran. Por otra parte, la relación lípido:proteína (2,14) al mismo peso corporal (161 kg) se encuentra entre los valores reportados para los genotipos Large White x Duroc (1,79) y Large White x Hamline (2,37), los cuales fueron caracterizados como genotipos intermedios para esta relación (12).

### **RELACIONES ALOMÉTRICAS ENTRE COMPONENTES QUÍMICOS**

Schinckel y de Lange (5) afirman, con base en el análisis de varios grupos de datos, que la ecuación alométrica convencional no ajusta bien a la relación de los componentes químicos con el peso corporal, ya que ésta asume que la masa del componente corporal expresada como porcentaje del peso vivo o peso vacío disminuye, permanece constante o aumenta, dependiendo de si el valor del coeficiente es menor, igual o mayor a uno. Sin embargo, el valor de la proteína aumenta desde el nacimiento hasta aproximadamente los 45 ó 65 kg de peso corporal a medida que el porcentaje de agua disminuye, mientras que después de los 65 kg, el porcentaje de proteína disminuye a medida que el porcentaje de lípidos aumenta, esta misma tendencia fue observada en este estudio.

En este contexto, Evans y Kempster (13) habían establecido tres objeciones para el uso de la ecuación alométrica y relacionan

componentes corporales: a) no es aplicable a estados tempranos o tardíos del crecimiento, b) el crecimiento de los componentes corporales en el tiempo tiene puntos de inflexión que ajustan mejor a funciones de crecimiento; por tanto, la relación de los componentes corporales de la masa corporal no se ajusta alométricamente desde el nacimiento a la madurez, y c) existen dificultades con el uso de funciones alométricas en modelos de crecimiento multicomponentes, de tal forma que si dos o más componentes presentan alometría simple con el peso corporal vacío, entonces la suma de los componentes no es el peso corporal, a menos que los coeficientes de todos los componentes sean iguales, o sea, que todos los componentes no pueden, simultáneamente, mostrar alometría con la suma de las partes. En consecuencia, estos autores, después de probar funciones, encontraron que la ecuación alométrica aumentada ajustó mejor los datos a la masa de proteína. En particular en este estudio, llevado a cabo en el ámbito comercial, cuando se realizan aproximaciones tanto de la ecuación alométrica aumentada como de la ecuación alométrica en su forma linealizada, se presentaron valores de  $r^2$  similares, y con las dos ecuaciones se obtuvieron los menores valores MSPE, cuando se compararon con otras cinco ecuaciones evaluadas. De otra parte, una mayor variabilidad fue observada en los análisis de los MSPE de la grasa comparada, con otras macromoléculas como agua y cenizas en relación con la proteína.

En referencia a la caracterización de genotipos, Ferguson y Kyriazis (12) encontraron diferencias significativas en los coeficientes alométricos entre genotipos; sin embargo, no observaron tendencias definidas para agruparlos. Al comparar el estudio realizado en Sudáfrica con los resultados obtenidos en esta investigación, el valor del coeficiente b para lípidos fue mayor al obtenido por estos autores (1,18), pero menor

al reportado por Doornenbal (14) (1,66) o Tullis (15) (1,84). Lo anterior sugiere que el genotipo evaluado en este estudio correspondería a uno relativamente graso, teniendo en cuenta que los lípidos crecen más rápido que la proteína en comparación con los genotipos reportados por Ferguson y Kyriazis (12). Sin embargo, esta tendencia, como se describió, es afectada por la tipología de formulación comercial de alimentos utilizada en los sistemas de alimentación por fases. En contraste, los coeficientes alométricos de las cenizas fueron menores a los reportados, 0,87 y 0,97, respectivamente. Los del agua fueron similares a los reportados por los autores mencionados (0,87 frente a 0,88), pero mayores a los reportados por Emmans y Kyriazakis (16), de 0,85.

La relación alométrica del agua con la proteína en el peso corporal vacío de los animales, o el contenido del agua en el peso corporal libre de lípidos, disminuye sistemáticamente a medida que los cerdos crecen, y ha sido la más documentada en la literatura. El agua está estrechamente relacionada con el tejido magro y los órganos viscerales; dada esta asociación, el contenido de agua puede ser estimado a partir de la proteína, con una razonable precisión, usando relaciones alométricas. La ecuación reportada por el ARC (17) muestra valores menores que 1, por lo que el peso del agua disminuye a medida que el cerdo crece (16). El exponente alométrico característico de esta relación (0,855), reportado como constante a través de este estándar nutricional y de estos estudios en diferentes tipos de cerdos, representa cambios en la distribución de la proteína en los diversos componentes anatómicos del cuerpo vacío, y las diferencias en las relaciones agua:proteína entre dichos componentes (18). Moughan *et al.* (19) reportaron un coeficiente alométrico de 0,92, estimado a partir de la composición anatómica de hembras y machos enteros a los 20, 55 y 90 kg de peso vivo. Emmans y

Kyriazakis (16) critican esta aproximación, ya que los autores utilizaron un rango estrecho de datos para su estimación, y aclaran que es peligroso utilizar solamente un grupo de datos para estimar estos parámetros, que a menudo son asumidos como constantes en los modelos.

Un enfoque más mecanicista para estimar la cantidad de agua es llevado a cabo por medio de una representación mecánica de la distribución de proteína en varios tejidos corporales, y la relación agua:proteína en dichos tejidos. Esta aproximación canadiense muestra una relación agua:proteína de 4,52 en órganos viscerales, mientras el peso corporal no afectó esta relación; en contraste, la relación agua:proteína observada en el lomo fue de 4,45 a los 25 kilos, y de 3,43 a los 125 kilos de peso corporal. Por tanto, el descenso gradual en la contribución de los órganos viscerales al peso corporal, y la reducida relación agua:proteína en tejido magro, contribuyen a la reducción en la relación global agua:proteína a medida que aumenta el peso corporal (18).

El contenido de cenizas se puede predecir a partir de la cantidad de proteína con una razonable precisión utilizando un modelo lineal, donde cenizas (C)  $\text{kg} = c * P$ , siendo P la proteína, con un valor de c que varía entre 0,186 y 0,210. Este coeficiente refleja la estrecha relación del tejido óseo con los contenidos corporales de cenizas y tejido magro, pero la variabilidad observada en este parámetro tiene poco impacto sobre la predicción del peso corporal y las características de la canal. Dada la asociación entre proteína, agua y cenizas descritas en los anteriores párrafos, gran parte de la variación de la composición química de los cerdos puede ser atribuida a la variación en el contenido de lípidos, como ha sido detallado en ese estudio.

En resumen, la selección de cerdos para mejorar la tasa de crecimiento, disminuir la grasa, mejorar la conformación y el conteni-

do de carne magra puede afectar la composición química del cuerpo vacío, al mismo grado de madurez de la proteína. Al parecer, la relación lípidos:proteína a un grado de madurez dado ha sido reducida por la selección genética; sin embargo, las relaciones agua:proteína, y ceniza:proteína no han sido alteradas por tal selección. Los resultados de este estudio soportan el uso de funciones no lineales para describir las relaciones entre los componentes corporales.

## CONCLUSIONES

Los procesos analíticos descritos en este estudio permiten predecir con precisión la dinámica de macromoléculas, y son la base para formular los requerimientos de nutrientes en condiciones específicas de producción. Los esfuerzos para examinar diferentes patrones de crecimiento definen oportunidades para los productores de manipular las dietas y los sistemas de alimentación para optimizar el proceso productivo en fases en las que los depósitos de grasas se incrementan. Para realizar acercamientos sistémicos se debe tener en cuenta que el agua, la proteína y los lípidos se incrementan de forma lineal cuadrática, mientras que la ceniza lo hace de forma lineal, al analizar los componentes químicos del peso corporal vacío y el peso de la canal. En consecuencia, una mayor variabilidad en la composición química de los cerdos es atribuida a la dispersión en el contenido de lípidos.

El contenido de agua fue similar en los dos grupos de vísceras, pero las rojas presentaron mayor proporción de proteína y cenizas, y menor proporción de lípidos con respecto a las vísceras blancas.

Las relaciones alométricas de los componentes químicos se ajustaron mejor a modelos matemáticos de alometría linealizada y alometría aumentada, pero se recomienda explorar funciones no lineales para usarlas en los modelos nutricionales.

## REFERENCIAS

1. Whittemore CT, Gunn RG, Animal Production. Occasional Publication 5. London; p. 103-110; 2006.
2. Wagner JR, Schinckel AP, Chen W, Forrest JC, Coe BL. Analysis of body composition changes of swine during growth and development. *Journal of Animal Science*; 77:1442-1466; 1999.
3. Association of Official Analytical Chemist (AOAC), Official methods of analysis. Washington, D. C.: Association of Official Analytical Chemist. SAS Institute Inc.; 2002. SAS user's guide: statistics, version 8.02 edition. Cary, North Carolina: SAS Institute Inc.; 1980.
5. Schinckel AP, De Lange CFM. Characterization of growth parameters handed as inputs for pig growth models. *Journal of Animal Science*; 74:2021-2036; 1996.
6. Tedeschi O. Assessment of the adequacy of mathematical models *Agricultural Systems*; 89:225-247; 2006.
7. Gu Y, Schinckel AP, Martin TG. Growth Development, and carcass composition in five genotypes of swine. *Journal of Animal Science*; 70:1719-1729; 1992.
8. Emmans GC, Kyriazakis I. Growth and Body Composition. En: *A quantitative biology of the pig*. CAB International. Ed I. Kyriazakis; 1999.
9. Shields RG, Mahn DC, Graham PL. Change in swine body composition from birth to 145 Kg. *Journal of Animal Science*; 57 (1):43-65; 1983.
10. Gómez RS, Lewis AJ, Miller PSH, Chen G, Diedrichsen RM. Body composition and tissue accretion rates of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *Journal of Animal Science*; 80:654-662; 2002.
11. Halas V, Babinszky L, Verstegen MWA. Conceptual paper for modelling protein and lipid accretion in different body parts of growing

- and fattening pigs: a review. *Archives of Animal Nutrition*; 57:137-150; 2003.
12. Ferguson NS, Kyriazis ST. Evaluation of the growth parameters of six commercial crossbreed pig genotypes 1. Under commercial housing conditions in individual pens. *South African Journal of Animal Science*; 33 (1):11-20; 2003.
  13. Evans DG, Kempster AJ. The effects of genotype, sex and feeding regimen on pig carcass development. *Journal Agriculture Science*; 93:339-347; 1979.
  14. Doornenbal H. Growth, development and chemical composition of the pig: (2) fatty tissue and chemical fat. *Growth*; 36:185-194; 1971.
  15. Tullis JB. Protein growth in pigs. PhD. Thesis University of Edinburgh; 1981.
  16. Emmans GC, Kyriazakis I. A general method for predicting the weight in the empty bodies of pigs. *Animal Science*; 61:103-108; 1995.
  17. ARC. The nutrient requirements of pigs. Slough, England: Commonwealth Agricultural Bureau; 1981.
  18. De Lange CFM, Morel PCH, Birkett SH. Modelling chemical and physical body composition of the growing pig. *Journal of Animal Science*; 81 (Suppl 2):E159-E165; 2003.
  19. Moughan PJ, Smith WC, Stevens EUJ. Allometric growth of chemical body components and several organs in the pig. *New Zealand Journal of Agriculture Research*; 33:77-84; 1990.