



Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias

<http://rccp.udea.edu.co>

RCCP

Componentes anatómicos y coeficientes alométricos en cerdos machos castrados desde el nacimiento [✉]

Anatomic components and allometric coefficients of barrows at birth

Componentes anatômicos e coeficientes alométricos em suínos machos castrados desde o nascimento

Gloria A Casas^{1*} MV, Msc; Germán Afanador¹, MVZ, Msc, PhD; Daniel Rodríguez¹, Zoot.

¹Departamento de Ciencias para la Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Carrera 30 No. 45-03, Bogotá, D. C.
gacasasbe@unal.edu.co

(Recibido: 4 septiembre, 2008; aceptado: 12 marzo, 2009)

Resumen

El propósito de este trabajo fue describir los cambios en los componentes anatómicos: canal, vísceras y órganos en cerdos machos castrados de un genotipo comercial, desde el nacimiento hasta los 273 días de edad y cuantificar las relaciones entre cada uno de ellos, mediante el uso de ecuaciones alométricas. Para el análisis de los cambios en los componentes anatómicos se sacrificaron 39 cerdos machos castrados (cuatro por edad) de un cruce terminal, a 10 edades (1, 21, 63, 99, 126, 154, 175, 210, 239 y 273 días de edad), se aplicó estadística descriptiva y se evaluaron seis ecuaciones alométricas. El peso corporal vacío, el peso de la canal, la masa de vísceras total y la masa de vísceras rojas y blancas mostraron una tendencia lineal cuadrática con respecto al peso vivo, mientras que la tendencia del peso de la canal fue solamente lineal ($p < 0.01$) con respecto al peso corporal vacío. Todos los órganos evaluados incrementaron su peso de manera lineal, cuadrática y cúbica, con excepción del bazo, cuya tendencia fue solamente lineal ($p < 0.01$). Las mismas relaciones (lineal – cuadrática) fueron observadas para el peso de la vísceras rojas, blancas y el total de vísceras ($p < 0.01$). Se encontró que las ecuaciones que mejor describieron las relaciones entre el peso corporal y los diferentes componentes corporales y órganos fueron la alométrica aumentada y la alométrica linealizada. Los valores de los interceptos obtenidos para las ecuaciones evaluadas, difieren de los reportados en la literatura, debido probablemente a la alta presión de selección a la que se someten los genotipos para producción intensiva, la cual puede conducir a cambios fisiológicos que se expresan a diferentes niveles anatómicos.

Palabras clave: *alometría, anatomía, cerdos.*

✉ Para citar este artículo: Casas GA, Afanador G, Rodríguez D. Componentes anatómicos y coeficientes alométricos en cerdos machos castrados desde el nacimiento. Rev Colomb Cienc Pecu 2009; 22: 156-167.

* Autor para correspondencia: Departamento de Ciencias para la Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Carrera 30 No. 45-03, Edificio 561, Bogotá, D. C. E-mail: gacasasbe@unal.edu.co

Summary

This paper describes the changes in anatomic components such as carcass, viscera and organs in commercial genotype barrows from birth to 273 days old. The relationships between them were quantified by using allometric equations. To analyze the changes in anatomic components, 39 terminal cross barrows (four per age) were slaughtered. The barrows were 1, 21, 63, 99, 126, 154, 175, 210, 239 and 273 days old. Descriptive statistics were used and six allometric equations were evaluated. Empty body weight, carcass weight, total viscera mass and total red and white viscera mass showed a quadratic linear trend in relation to live weight. Carcass weight trend was linear ($p < 0.0001$) with regard to empty body weight. Evaluated organs increased their weight in a linear, quadratic and cubic way except for the spleen, whose trend was linear ($P < 0.001$). The same ratios (linear-quadratic) were observed in red, white and total viscera weight ($p < 0.01$). The equations that best described the relationship between body weight and the different body components and organs were the increased allometric and the linearized allometric equations. The intercept values obtained for the evaluated equations were different from the ones reported in the literature, probably due to the high selection pressure imposed on swine genotypes used for pork production. This selection pressure may imply physiological and anatomical changes.

Key words: *allometry, anatomy, pigs.*

Resumo

Com este trabalho objetivou-se descrever as mudanças nos componentes anatómicos: carcaça vísceras e órgãos de suínos machos canal, vísceras y órgãos em suínos machos castrados, desde o nascimento até os 273 dias de idade e quantificar as relações entre cada um deles, mediante o uso de equações alométricas. Para a análise das mudanças nos componentes anatómicos foram sacrificados 39 suínos de idades 1, 21, 63, 99, 126, 154, 175, 210, 239 e 273 dias. Foi realizada a estatística descritiva e foram avaliadas seis equações alométricas. O peso corporal vazio, o peso da carcaça, a massa das vísceras vermelha, branca e total mostraram uma tendência linear quadrática com respeito ao peso vivo, entretanto o peso da canal foi somente linear com respeito ao peso corporal vazio. Todos os órgãos avaliados incrementaram seu peso de maneira linear, quadrática e cúbica, com exceção ao bazo, onde a tendência foi somente linear. As mesmas relações (linear – quadrática) foram observadas para o peso das vísceras vermelhas, brancas e total. Encontrou-se que as equações que melhor descreveram as relações entre o peso corporal e os diferentes componentes corporais e órgãos foram a alométrica aumentada e a alométrica linearizada. Os valores dos interceptos obtidos para as equações avaliadas diferem dos reportados na literatura, devido provavelmente à alta confiabilidade da seleção dos suínos.

Palavras chave: *alometria, anatomia, suínos.*

Introducción

El tamaño y el peso de los órganos viscerales del cerdo han recibido poca atención de la investigación en los últimos años, a pesar del efecto fundamental de estos aspectos en las variaciones del peso de la canal, lo cual resulta importante cuando el sistema de comercialización de los cerdos, se lleva a cabo con base en el peso vivo. Por ejemplo, una correlación genética negativa ha sido reportada entre el espesor de la grasa dorsal y el peso de los órganos, de tal forma que la selección para reducir la grasa dorsal, resulta en una selección indirecta para obtener órganos más pesados. Esto implicaría, en condiciones prácticas, que no solamente se tienen

animales con mayores ganancias de peso corporal y más eficientes, sino también más resistentes al estrés biótico y abiótico; sin embargo, mayores progresos en la investigación son necesarios para explorar estas oportunidades en un mercado específico de producción (9).

Estudios marginales asociados con el mejoramiento genético sugieren que el peso de los órganos varía entre genotipos, sexos y tipo de cerdos (4, 10). En consecuencia, el objetivo de este estudio fue describir los cambios en componentes anatómicos: canal, vísceras y sus órganos en cerdos machos castrados de un genotipo comercial, desde el nacimiento hasta los 273 días de edad, en condiciones comerciales y cuantificar las relaciones

entre cada uno de ellos, mediante acercamientos sistémicos, con el uso de ecuaciones alométricas.

Materiales y métodos

Comité de ética

El estudio contó con la aprobación del Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia. (Acta 03/2008).

Se sacrificaron 39 cerdos machos castrados de un cruce terminal comercial (Duroc-Landrace x Yorkshire), provenientes de una granja de cría, ubicada a 1600 msnm, con una temperatura promedio de 22 °C. El proceso de crecimiento y los cambios en los componentes anatómicos fueron analizados a 10 diferentes edades (1, 21, 63, 99, 126, 154, 175, 210, 239 y 273 días de edad). Los animales fueron seleccionados al nacimiento, de hembras de dos a cinco partos, servidas con machos de la misma línea genética.

Los partos fueron inducidos el día 114, se utilizaron lechones de 1.6 ± 0.3 kg y se registró el peso corporal antes de consumir calostro. Considerando el número de partos semanales de la granja y la restricción de seleccionar solamente machos, se constituyeron dos grupos los cuales fueron marcados con muescas en la 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 sacrificio, dejando

los restantes, como comodines para reemplazar las posibles pérdidas por mortalidad. Todos los animales fueron sometidos a prácticas comerciales de manejo (descolmillado, descolado, aplicación de 2 mg de hierro dextrán) 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 a jaulones elevados del suelo 60 cm, con piso plástico ranurado, donde se consolidaron dos grupos de 24 animales (1 al 26 y del 27 al 52), dado que murieron cuatro en lactancia, asignando un espacio de 0.25 m² 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 m² por animal. A los 70 días de edad se transportaron al Centro Agropecuario Marengo, (2600 msnm y 14 °C) donde cada grupo fue separado (11 animales por corral), asignando 0.60 m² por animal y posteriormente 1.5 m² por animal, la temperatura fluctuó entre 14 – 25 °C, y no se utilizó calefacción.

Se utilizó alimento comercial, suministrado a voluntad, se ofrecieron cuatro dietas comerciales, cuya composición química fue determinada (véase Tabla 1), el suministro se hizo diariamente a las 7:00 a.m. y a las 3:00 p.m. y la medición del residuo se realizó al día siguiente, a las 7:00 a.m.

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

Producto	Edad (días)	Energía Bruta (Kcal/gr)	MS	Agua	Proteína	Lípidos (%)	Ceniza	FC	FDN
DIETA 1	42	4489	90.47	9.53	23.78	3.1	7.61	2.62	10.89
DIETA 2	63	4222	90.86	9.14	24.10	8.04	8.04	2.73	9.41
DIETA 3	123	4486	86.87	13.13	21.92	7.16	8.21	8.21	12.42
DIETA 4	150	4629	85.73	14.27	23.60	7.63	6.99	6.99	12.98

Los lechones hasta los 63 días fueron sacrificados en la granja de cría, mediante desensibilización por electrocución (110v) y desangre de inmediato. Posteriormente se separaron y pesaron las vísceras y la canal, luego cada órgano fue pesado

individualmente; para los recién nacidos las vísceras no fueron diferenciadas entre rojas o blancas, pero para las demás edades se diferenciaron en dos grupos; las vísceras rojas comprendieron pulmón, corazón, hígado, bazo, páncreas, riñones, órganos

genitourinarios y diafragma, y las vísceras blancas estómago, intestino delgado e intestino grueso.

El estómago, intestino delgado e intestino grueso fueron pesados con su 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 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. 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 los 126 días de edad, la canal fue dividida por la línea media y se conservó la mitad izquierda.

Análisis de información

Se aplicó estadística descriptiva para los componentes anatómicos: peso corporal vivo, peso corporal vacío, peso de la canal, peso de las vísceras y peso de órganos individuales. Las tendencias lineal, cuadrática o cúbica fueron determinadas utilizando el procedimiento GLM de SAS (12).

Seis ecuaciones fueron probadas para cuantificar las relaciones entre el peso corporal vacío y cada uno de los órganos o grupo de vísceras (blancas o rojas). Las ecuaciones probadas fueron: una función cuadrática convencional (I), la función alométrica (II), la función alométrica linealizada (III), la función cuadrática alométrica (IV), la función alométrica aumentada (V) y una función exponencial (VI) (13, 18).

$$y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + e \quad \text{(I)}$$

$$y = \beta_0 X^{\beta_1} + e \quad \text{(II)}$$

$$y = \text{Log } \beta_0 + \beta_1 \text{Log } X \quad \text{(III)}$$

$$y = \text{Log } \beta_0 + \beta_1 \text{Log } X + \beta_2 \text{Log } X^2 + e \quad \text{(IV)}$$

$$y = \text{Log } \beta_0 + \beta_1 \text{Log } X + \beta_2 \text{Log } (c-X) + e \quad \text{(V)}$$

$$y = M(1 - e^{\beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2}) + e \quad \text{(VI)}$$

Donde Y es peso de cada órgano o componente químico en kg y X es el peso corporal vacío en kg. El valor de c en la ecuación alométrica aumentada (5) para la relaciones de componentes químicos se fijó a través de una constante cuyo valor fue de 700, teniendo en cuenta que el valor del r^2 no cambia en un rango de valores entre 500 a 900 (18). Cada componente anatómico fue evaluado 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 así: análisis de regresión lineal, comparación de pertinencia del modelo y análisis del cuadrado medio de predicción del error (MSPE) (16).

Resultados

Descripción de componentes anatómicos

Los cambios en las variables peso corporal vivo (PC), peso corporal vacío (PV), peso de la canal, peso total de vísceras (VT), peso de vísceras rojas (VR) y peso de vísceras blancas (VB), se presentan en la tabla 2. El peso corporal vacío (libre de ingesta) y el peso de la canal presentaron una tendencia lineal cuadrática en el tiempo ($p < 0.01$). Desde el nacimiento hasta los 162 kg, el peso de la canal se incrementó 105 veces, mientras que el peso de la VT, VR y VB se incrementó en 48, 46 y 62 veces, respectivamente.

El peso corporal vacío, el peso de la canal, la masa de vísceras total y la masa de vísceras rojas y blancas mostraron una tendencia lineal cuadrática con respecto al peso vivo, mientras que la tendencia del peso de la canal fue solamente lineal con respecto al peso corporal vacío. Las mismas relaciones (lineal cuadrática) fueron observadas en el peso de la vísceras rojas y blancas y el total de vísceras. La fase lineal se expresó hasta los 74 kg en el caso de la víscera roja y hasta los 120 kg en el caso de la víscera blanca.

Tabla 2. Promedios de peso corporal y de las partes (kg) de cerdos machos castrados desde el nacimiento hasta los 273 días de edad.

Edad (días)	Peso Vivo	Peso Vacío ²	Peso Canal	Peso Vísceras	Peso Vísceras rojas ³	Peso Vísceras Blancas ⁴
1	1.68 ± 0.10	1.68 ± 0.84	1.34 ± 0.05	0.24 ± 0.02	0.13 ± 0.01	0.09 ± 0.01
21	6.02 ± 0.50	5.79 ± 0.90	4.75 ± 0.93	0.67 ± 0.12	0.42 ± 0.06	0.22 ± 0.03
63	22.4 ± 1.45	21.4 ± 1.50	17.75 ± 11.10	3.00 ± 0.90	1.49 ± 0.06	1.44 ± 0.04
99	45.1 ± 4.04	43.7 ± 4.10	35.69 ± 3.80	5.42 ± 0.15	2.95 ± 0.06	2.39 ± 0.12
126	64.4 ± 5.82	62.6 ± 5.68	51.87 ± 5.14	7.36 ± 3.00	3.93 ± 0.30	3.23 ± 0.24
154	74.7 ± 0.75	73.3 ± 1.30	61.00 ± 1.40	7.33 ± 0.57	3.88 ± 0.11	3.01 ± 0.07
175	104.7 ± 1.65	103.5 ± 1.42	85.72 ± 1.43	9.15 ± 0.26	4.74 ± 0.12	4.35 ± 0.19
210 ¹	125.0 ± 3.03	123.6 ± 3.11	107.66 ± 3.10	10.13 ± 0.29	5.28 ± 0.0008	4.81 ± 0.28
239	150.0 ± 4.37	148.7 ± 4.43	131.4 ± 2.00	13.21 ± 0.54	6.20 ± 0.26	5.72 ± 0.57
273	162.0 ± 6.38	160.9 ± 6.13	142.3 5.73	11.69 ± 0.61	5.96 ± 0.27	5.61 ± 0.29
Lineal		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Cuadrático		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0672
Cúbico		<0.0001	0.1834	<0.0001	0.0002	0.0674

n= Número de cerdos sacrificados en cada edad

¹n= Número de cerdos sacrificados en este grupo

±SEM, n=4, ¹n=3

²Calculado como el peso corporal menos el contenido intestinal

³Sumatoria de peso de pulmón, corazón, hígado, riñones, páncreas, bazo, diafragma y órganos genitourinarios.

⁴Sumatoria de peso vacío de estómago, intestino grueso e intestino delgado vacíos.

El peso de la canal representó el 76.7% del peso corporal al nacimiento, mientras que a los 162 kg esta relatividad fue del 87.5%. En proporción el peso de la VT decreció de 14% a los 22 kg, al 8% a los 122 kg. El peso de la VR descendió de 6%

a los 74 kg a 3.7% a los 162 kg y comparados los anteriores resultados con el de la VB, esta última representó un rango mayor de 6.7% y 3.7% a los 22 y 125 kg, respectivamente. (véase Tabla 3).

Tabla 3. Promedios relativos (%) de los componentes corporales durante el crecimiento de cerdos machos castrados desde el nacimiento hasta los 273 días de edad.

Edad (días)	Peso Corporal (kg)	Peso Corporal Vacío	Peso Canal	Peso Vísceras (%)	Vísceras rojas	Vísceras blancas
1	1.68	100	76.76	14.29	8.04	5.42
21	6.02	96.18	78.90	11.61	7.32	3.82
63	22.4	95.5	79.17	14.01	6.96	6.75
99	45.1	96.94	79.05	12.38	6.75	5.46
126	64.4	97.25	80.54	11.75	6.28	5.16
154	74.7	98.14	81.61	9.99	5.29	4.11
175	104.7	98.85	81.83	8.84	4.58	4.21
210 ¹	125.0	98.93	86.13	8.19	4.27	3.89
239	150.0	99.16	87.60	8.88	4.17	3.85
273	162.0	99.04	87.57	7.26	3.71	3.49

n= Número de cerdos sacrificados en cada edad

¹n= Número de cerdos sacrificados en este grupo

n=4, ¹n=3

Los valores de peso promedio de los órganos componentes de la VR se presentan en la tabla 4. Se observó que todos los órganos incrementaron su peso de manera lineal, cuadrática y cúbica, con excepción del bazo, cuya tendencia fue solamente

lineal ($p < 0.01$). El páncreas y el bazo presentaron un incremento de 134.5 y 185 veces su peso inicial, mientras que para el pulmón y el riñón, el incremento fue de cerca de 40 veces. En el corazón fue de 49 y en el hígado de 32.

Tabla 4. Promedio generales de peso (g.) de órganos componentes de vísceras rojas de cerdos machos castrados desde el nacimiento hasta 273 días de edad.

Edad (días)	P C Vacío (kg)	Pulmón	Corazón	Hígado	Riñones	Páncreas	Bazo
1	1.68	37 ± 5.5	12 ± 1.0	56 ± 6.5	10 ± 0.5	2 ± 0.25	1.3 ± 0.2
21	5.79	104 ± 2.5	37 ± 4.5	158 ± 35	59 ± 18.5	8 ± 0.95	9.6 ± 1.3
63	21.4	341 ± 65	131 ± 16	609 ± 18.5	107 ± 7.5	54 ± 3.1	40 ± 1.3
99	43.7	696 ± 55	225 ± 14	1160 ± 19	186 ± 9.5	94 ± 25	78 ± 5
126	62.6	879 ± 36.6	316 ± 32.5	1710 ± 24	253 ± 14.5	147 ± 16	107 ± 11
154	73.3	929 ± 30.	340 ± 17.5	1470 ± 80	278 ± 19.5	146 ± 7	107 ± 6
175	103.5	1170 ± 55	405 ± 13	1640 ± 90	354 ± 13	170 ± 15	143 ± 7
210 ¹	123.6	1180 ± 22.5	513 ± 66	1850 ± 100	377 ± 21.3	232 ± 27	184 ± 13.2
239	148.7	1730 ± 0.0185	565 ± 56.5	1740 ± 120	350 ± 26	217 ± 7	222 ± 13.5
273	160.9	1530 ± 145	596 ± 57	1830 ± 50	406 ± 8	269 ± 35	241 ± 8
Lineal		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Cuadrático		0.0008	0.0013	<0.0001	<0.0001	0.0007	0.1709
Cúbico		0.0703	0.0306	0.005	<0.0001	0.0575	00.1722

n= Número de cerdos sacrificados en cada edad
¹n= Número de cerdos sacrificados en este grupo
 ±SEM, n=4, ¹n=3

Los cambios en las variables peso del estómago, intestino grueso (IG) e intestino delgado (ID), componentes de la VB, se observan en la tabla 5. Desde el nacimiento hasta las 162 kg, el estómago y el ID incrementaron su peso de manera lineal-cuadrática ($p < 0.01$) con respecto al peso corporal vacío, presentado la fase cuadrática después de los 154 días, mientras que el peso del IG se incrementa de manera lineal ($p < 0.01$). El componente cúbico solo fue significativo en el ID. El peso del estómago se incrementó 91 veces desde el nacimiento a los 162 días, comparado con ID y IG que se incrementaron 63 y 54 veces, en el mismo periodo.

El peso del pulmón decreció de 1.61% a 0.95% de los 12 a 25 kg de peso corporal vacío (PV). El peso del corazón disminuyó de 0.52% a 0.38% de los 45 a 150 kg de PV, el páncreas siguió la misma tendencia con valores de 0.21% a 0.14% de los 45

a los 150 kg de peso corporal. El bazo decreció su peso de 0.19% a 0.14% de los 6 a 125 kg, mientras que el estómago disminuyó de 0.63% a 0.45% de los 64 a 162 kg y el ID decreció 4.2% a 1.66% de 22 a 162 kilos. El peso del IG no presentó una tendencia específica en el tiempo, durante el periodo de evaluado.

En cuanto a las proporciones de los órganos y el peso de VT, se observó que el peso del hígado y del ID presentaron tendencias parciales al descenso entre 125 y 162 veces entre 64 y 150 kg de PV, respectivamente. Los pesos del pulmón, corazón y riñón mantuvieron un porcentaje estable entre 11% y 13%, 4.1% y 5.1% y 3.5% a 3.9% de las VT, respectivamente, desde los 22 hasta los 162 kg. El páncreas presentó proporciones similares de peso (1.80% a 1.99% de VT) entre los 22 y 104 kg, con un aumento posterior a 2.30%.

Tabla 5. Promedio generales de peso (g.) de órganos componentes de vísceras blancas de cerdos machos castrados desde el nacimiento hasta 273 días de edad.

Edad(días)	Peso corporal vacío (kg)	Estómago	I. Delgado	I. Grueso
1	1.68	8.0 ± 0.5	42.0 ± 0.016	41.0 ± 10.0
21	5.79	31.0 ± 5.0	13.0 ± 0.024	58.0 ± 4.0
63	21.4	146 ± 1.3	0.909 ± 50.0	390 ± 11.0
99	43.7	300 ± 1.4	1340 ± 087	748 ± 41.0
126	62.6	390 ± 33.0	1740 ± 106	1110 ± 121
154	73.3	460 ± 6.0	1710 ± 089	829 ± 77.0
175	103.5	600 ± 42.0	2090 ± 132	1693 ± 97.0
210 ¹	123.6	650 ± 24.0	2140 ± 47.0	2015 ± 220
239	148.7	700 ± 27.0	2430 ± 369	2586 ± 270
273	160.9	730 ± 73.0	2670 ± 124	2208 ± 144
Lineal		<0.0001	<0.0001	<0.0001
Cuadrático		<0.0001	<0.0001	0.8575
Cúbico		0.638	0.0005	0.542

n= Número de cerdos sacrificados en cada edad
¹n= Número de cerdos sacrificados en este grupo
 ±SEM, n=4, ¹n=3

Evaluación de ecuaciones alométricas

Los valores de los coeficientes de determinación obtenidos para cada una de las funciones alométricas evaluadas se muestran en la tabla 6. La mayoría de los valores estuvieron en el rango de 0.95 a 0.98, seguido por el rango de 0.90 a 0.95. Solamente se obtuvo un valor menor de 0.90 en el caso del intestino delgado (0.87).

La función que presentó los valores más altos de r^2 fue la alométrica aumentada con 10 variables con valores superiores a 0.98, seguida por la alométrica linealizada con cinco variables. En el siguiente rango (0.95-0.98), se ubicaron 8 variables con la función no lineal y la alométrica común, seguida de

seis variables con la función alométrica linealizada. Las ecuaciones en las cuales se repitió con mayor frecuencia el menor valor, fueron la alométrica aumentada, no lineal y la alométrica común, con 46, 44 y 36 veces, respectivamente.

El análisis de los residuales para cada una de las variables de composición anatómica muestra que los menores valores se obtuvieron con las funciones alométrica linealizada y alométrica aumentada ($6.442 \cdot 10^{-17}$ y $-6.039 \cdot 10^{-16}$). Sin embargo esta función, al igual que la alométrica común tiende a subestimar los valores para las diferentes variables. Esta tendencia también fue observada al analizar la pendiente de la regresión entre lo observado y lo predicho.

Tabla 6. Modelos que describen la relación entre el peso corporal vacío y el peso de los órganos y grupos de vísceras.

Componente	Modelo	COEFICIENTES		
		β	β_1	β_2
Bazo	Alométrica aumentada	-11.4	1.23	2.93
	Alométrica linealizada	-2.95	1.07	
Pulmón	Alométrica aumentada	-5.88	0.92	1.48
	Alométrica linealizada	-1.61	0.84	
Páncreas	Alométrica aumentada	-13.18	1.26	3.58
	Alométrica linealizada	-2.86	1.07	
Intestino Grueso	Alométrica aumentada	0.284	0.927	-0.706
	Alométrica linealizada	-1.74	0.96	
Intestino Delgado	Alométrica aumentada	-17.96	1.26	5.68
	Alométrica linealizada	-1.59	0.96	
Hígado	Alométrica aumentada	-14.33	1.03	4.5
	Alométrica linealizada	-1.37	0.799	
Estómago	Alométrica aumentada	-10.99	1.15	3.03
	Alométrica linealizada	-2.24	0.99	
Corazón	Alométrica aumentada	-5.82	0.91	1.3
	Alométrica linealizada	-2.065	0.84	
Riñón	Alométrica linealizada	-9.85	0.94	2.70
	Alométrica linealizada	-2.08	0.79	
Viscera Blanca	Alométrica aumentada	-8.64410	1.04	2.56916
	Alométrica linealizada	-1.24615	0.938	
Viscera Roja	Alométrica aumentada	-9.4212	0.98	2.9124
	Alométrica linealizada	-1.067	0.833	
Viscera Total	Alométrica aumentada	-7.76458	1.00	2.42252
	Alométrica linealizada	-0.78886	0.887	

Las funciones con los menores valores de MSPE correspondieron a la alométrica aumentada, la alométrica linealizada y la alométrica común.

En resumen, se encontró que las ecuaciones que mejor describieron las relaciones entre el peso corporal y los diferentes componentes corporales y órganos fueron la ecuación alométrica aumentada y la alométrica linealizada.

Discusión

Los principales tejidos que hacen parte del peso corporal vacío de un cerdo en crecimiento son el músculo (tejido magro comestible), la grasa, los órganos viscerales, los huesos y la sangre. Los

tejidos nervioso, linfático y vascular, contribuyen con menos del 10% al peso corporal vacío durante esta fase. En cerdos que han alcanzado el peso corporal para sacrificio, entre el 45 y 60% está representado en tejido magro, mientras que aproximadamente el 15% corresponde a los órganos viscerales (5). En este estudio, el peso corporal vacío representó entre el 96 y el 99% de peso vivo, las vísceras representaron entre 15% (a los 25 kg en promedio) y 6.7% del peso vacío. A los 100 kg de peso, las vísceras representaron el 8.8% del peso corporal vivo, valor significativamente inferior al reportado en la literatura (5).

El contenido intestinal representa la diferencia entre el peso corporal vivo y el peso corporal vacío y en algunos casos es asumido como una constante

del 5% del peso corporal vivo. Sin embargo, otros hallazgos indican que el intestino lleno representa entre el 4.5% y 9% del peso corporal vivo en cerdos de 20 a 100 kg de peso corporal, respectivamente (19). Estos datos corroboran los obtenidos en este estudio, donde el valor del contenido intestinal estuvo en el rango de 1% a 5%. Es importante tener en cuenta que algunos factores que influyen en las divergencias de los diferentes estudios en el peso del contenido intestinal, son el nivel de alimentación, las características de la dieta y el tiempo de ayuno (15), así como también el consumo de fibra dietaria (20). En este estudio el peso corporal vacío se asoció con el peso corporal mediante la ecuación $\text{Peso Vacío} = \text{PC} * 0.9881$ ($p < 0.01$).

La canal generalmente constituye el peso corporal vivo menos el contenido intestinal, los órganos viscerales, (incluyendo órganos reproductivos), pelos y la capa más externa de la piel. El peso de la canal de un cerdo puede oscilar entre el 70% y 80% de su peso vivo; sin embargo, este valor está influenciado por factores tales como la edad, el sexo, el genotipo y las prácticas de manejo previas al sacrificio, tales como el transporte y el ayuno. De otra parte, el peso de la canal aumenta con el peso vivo, de tal forma que con pesos menores de 50 kg, el rendimiento en canal no supera el 80%, mientras que después de los 75 kg, se pueden obtener mayores valores que oscilan entre 81% y 87%. Esto se debe a que la canal crece en términos relativos más rápidamente que el intestino y que este a su vez representa una proporción menor del animal a medida que este crece y que los depósitos de grasa subcutánea son mayores a medida que aumenta el peso corporal. En este estudio se estimó que el peso de la canal puede ser calculado mediante la ecuación $\text{Peso Canal} = \text{Peso Vacío} * 0.8552$ ($p < 0.01$).

De otra parte, en el estudio se comprobó que la masa de órganos viscerales, está inversamente relacionada con el peso corporal, siendo del 14% al nacimiento y de solamente 7% a los 162 kg. El porcentaje de vísceras obtenido fue inferior al reportado por De Lange et al (5), quien adaptó datos del estudio de Quinou y Noblet (11), en los cuales el rango fue de 12.8% a 16.8% en animales cuyo peso vacío fue de 42.7 kg, y fueron similares a los

resultados obtenidos por Shields et al (14), quienes reportan una variación del porcentaje de vísceras de 14% a los 21 días (8.8 Kg) hasta 8.1% a los 175 días de edad (106 Kg). Los resultados del peso del tracto gastrointestinal como víscera blanca, fueron también comparables a los obtenidos en otro estudio (14), donde los pesos relativos fueron más altos en las primeras etapas de vida; entre 7.9% y 5.6%, para luego disminuir y mantener una proporción estable entre 4% y 4.8% con pesos corporales de 127 a 146 kg. Se estimó que el peso total de las vísceras puede ser establecido mediante su asociación con el peso corporal vacío a través de la ecuación $\text{Peso vísceras} = \text{Peso Vacío} * 0.03926$ ($p < 0.01$).

El tamaño de órganos viscerales es una función del peso corporal, el nivel de alimentación, la composición de la dieta y el genotipo del cerdo. Sin embargo, no solamente el consumo de alimento incrementa el tamaño de órganos viscerales, sino que también altera la distribución de la proteína corporal, entre órganos viscerales y la cantidad y composición de tejido magro separable. Entre los órganos viscerales, la masa del tracto gastrointestinal es la más sensible a la influencia de las características de la dieta y en particular a los niveles de fibra (17). Adicionalmente, el tamaño de los órganos que controlan funciones vitales (hígado, riñón y cerebro) es relativamente más grande en animales pequeños con respecto a los grandes. Esto se explica en el hecho de que mientras el número de células se incrementa con la masa corporal, el número de funciones que estos órganos controlan permanecen constante (8).

Cliplef y McKay (3), afirman que cerdos más livianos tienen órganos viscerales más grandes, excepto en la línea de tipo Pietran; además, machos enteros y hembras alimentados a voluntad, pero seleccionados para producción de tejido magro, presentaron órganos más grandes y pesados, mientras que en animales sometidos a restricción alimenticia, el peso de los órganos fue menor. En cuanto al tamaño de órganos individuales, en este estudio se obtuvieron pesos menores en bazo, hígado y estómago, los cuales fueron comparables con los obtenidos por Cliplef y McKay (3), quienes reportan valores de 152 g para bazo, 1761 g para hígado y 484 g en estómago en cerdos

Yorkshire al sacrificio. El peso del riñón fue igual al promedio obtenido para machos enteros en la quinta generación de selección (354 g). El peso del corazón fue mayor que el reportado por Cliplef y McKay (3), pero muy cercano al promedio reportado por Yang y Lin (21) (456 vs 405 g). Es importante aclarar que el peso del corazón está correlacionado con el nivel de ejercicio de la especie o el individuo, de tal forma que el peso del corazón tiende a variar más directamente con el peso corporal durante el crecimiento, ya que el trabajo que realiza el corazón está directamente relacionado con esta variable (2).

La alometría es usada frecuentemente para estudiar las relaciones entre diferentes medidas del crecimiento de un individuo. El presente estudio ofrece una aproximación sistémica para valorar dichas relaciones en un genotipo comercial de cerdos, utilizando técnicas convencionales de regresión. Estas técnicas permiten optimizar la predicción de Y a partir de X en condiciones no controladas de la expresión de la variable X, como es el caso de una explotación comercial. Lo anterior sugiere un mejor acercamiento y definición de los parámetros, comparado con otras técnicas de regresión utilizadas en estudios evolutivos.

En este contexto, la aproximación alométrica está basada en una relación constante de las tasas específicas de crecimiento de los diferentes componentes corporales. En muchos estudios se observa un cambio en la relación lineal entre componentes, especialmente cuando se trata de datos de crecimiento, desde el nacimiento hasta la madurez (5). Adicionalmente, la agregación de términos cuadráticos o mayores a la ecuación alométrica no es consistente con la relación lineal descrita por Huxley (7). En consecuencia en este estudio, se demuestra que las funciones que más se ajustaron fueron la alométrica linealizada y la alométrica aumentada.

Al comparar los valores de los interceptos para pulmón, hígado, corazón, y riñón, con los reportados por Lindstedt y Schaeffer (8), quienes utilizaron la ecuación alométrica linealizada para relacionar el peso de estos órganos en cuatro especies (ratón, rata, perro y humano), se observa que no existe similitud con los obtenidos por medio

de las dos ecuaciones utilizadas en este estudio. En el caso del coeficiente b, los valores reportados por los anteriores autores están más próximos a la ecuación alométrica aumentada en órganos como pulmón (0.92 vs. 0.98), hígado (1.03 vs. 0.93), corazón, (0.91 vs 1.02) y riñón (0.94 vs. 0.84). Otro estudio muestra que el coeficiente b calculado para corazón de cerdos fue de 0.73 y el intercepto de 67.17 (21). Otros valores de b reportados para los órganos mencionados fueron, para pulmón 0.99 y 1.03, hígado, 0.85 y 0.87, para corazón 0.98 y 1 y para riñón 0.85. (8).

Varios factores pueden afectar el tamaño de los órganos en los animales, por ejemplo, Davey y Bereskin (4) reportaron que el peso del corazón en cerdos comerciales, se correlaciona significativamente, con el contenido de proteína de la canal y con la ganancia de proteína, pero no con la ganancia de grasa; así mismo, animales que fueron restringidos a 80% y 85% de la dieta a voluntad, presentaron corazones más pequeños. El coeficiente alométrico de 0.91 indica que la relación relativa del peso del corazón decrece con el incremento del peso corporal, alcanzado una proporcionalidad cercana 0.0039 a los 110 kg. Lo anterior concuerda con diferentes investigaciones (1, 2, 6). Yang y Lin (21) reportaron que los ancestros de los cerdos presentaban relaciones de 0.007 (40 kg.) y de 0.006 (90 kg.). En este estudio a los pesos relacionados se observaron, proporciones de 0.005 y 0.004, respectivamente. Al respecto Engelhard (6), sugiere que la estrecha relación entre el peso del corazón y el peso corporal vacío de los genotipos modernos de cerdos obedece al proceso de mejoramiento genético, que en muchos casos conduce a un desbalance entre la tasa de crecimiento del corazón y la tasa de crecimiento corporal.

Los hallazgos de Yang y Lin (21) muestran para cerdos con pesos corporales de 120 kg valores de 407 g para cruces y para machos enteros de 456. Los datos observados en este estudio para el caso de machos castrados fueron de 461 g (0.0038). Algunos factores que pueden explicar estas diferencias son la actividad locomotora disminuida para conservar energía para producción y la exposición de los cerdos durante el periodo de finalización a alturas superiores a 1800 msnm,

como es el caso de la Sabana de Bogotá (2650 msnm). Este relativo mayor tamaño del corazón debería ser examinado en el futuro en la perspectiva del metabolismo energético, del crecimiento y de cambios fisiopatológicos que pueden incluir la hipertrofia del órgano.

En resumen, es ampliamente reconocido que el cerdo doméstico es descendiente de cerdos salvajes (*Sus scrofa*) y que el proceso de domesticación ha producido grandes cambios en su conformación corporal. Las características de la producción porcina, los bajos niveles de locomoción para conservación de energía, facilitar el manejo y reducir uso de espacio, han favorecido los cambios descritos. En este mismo sentido la alta presión de selección a la que se someten los genotipos para producción intensiva, pueden exceder los límites, fisiológicos conduciendo al animal a ajustes que se expresan con cambios fisiopatológicos tales como hipertrofias a diferentes niveles de órganos.

Cada detalle de la estructura de un animal tiene su expresión funcional, de tal forma que, el significado de un estado estructural dado esta ligado al conocimiento del correspondiente estado fisiológico. Por lo tanto, la estructura y la función deben ser consideradas simultáneamente. Con respecto a la descripción de los componentes anatómicos, este estudio muestra que el peso corporal vacío, el peso de

la canal, la masa de víscera total y la masa de vísceras rojas y blancas mostraron estados de crecimiento con incrementos lineales cuadráticos en el tiempo. Jerarquías inferiores de componentes de órganos como pulmón, corazón, hígado, riñones, páncreas, estómago e intestino delgado, presentaron las mismas tendencias. La excepción a esta sistemática fue observada en bazo y en intestino grueso, los cuales se incrementaron de manera lineal.

En la literatura se encuentran diferentes ecuaciones de tipo alométrico para describir las relaciones anatómicas y fisiológicas en diferentes especies; sin embargo, estos valores a pesar de ser representativos no constituyen valores únicos y verdaderos, pero se utilizan como puntos de partida para los análisis, en los cuales, no es posible realizar mediciones directas. En este estudio se demostró que las mejores ecuaciones que describían las relaciones anatómicas de cerdos castrados en condiciones comerciales fueron la ecuación alométrica aumentada y la alométrica linealizada.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo para la realización de la presente investigación al personal del Centro Agropecuario Marengo, del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) y a la División de Investigación de la Sede Bogotá.

Referencias

- Alaku O, Steinbach J. Effect of season of birth and sex on heart weight and their interrelationships in pigs reared in the tropics. *Anim Prod* 1984; 495-502.
- Brody S. *Bioenergetics and growth*. Reinhold Publishing Corporation. New York. 1945.
- Cliplef RL, Mckay RM. Visceral organ weights of swine selected for reduce back fat thickness and increased growth rate. *Can J Anim Sci* 1993; 73:201-206.
- Davey RJ, Bereskin B. Genetic and nutritional effects on carcass chemical composition and organs weight of market swine. *J Anim Sci* 1978; 46:992-1000. 1978.
- De Lange CFM, Morel PCH, Birkett SH. Modeling chemical and physical body composition of the growing pig. *J Anim Sci* 2003; 81(E Suppl 2):E159- E165.
- Engelhard WV. Swine cardiovascular physiology – a review. In *Swine in biomedical research* (ed. L. K. Bustad, R. O. McClellan and M. P. Burns). 1966. pp. 307-327.
- Huxley JS. *Problems of relative growth*. Londres. Methuen, 1932.
- Lindsted SL, Schaeffer PJ. Use of allometry in predicting anatomical and physiological parameters of mammals. *Lab Anim* 2002; 36:1-19.
- Mckay RM. Response to index selection for reduced backfat thickness and increased growth rate in swine. *Can J Anim Sci* 1990; 70:973-977.
- Mckay R M, Rempel WE, Cornelius SG, Allen CE. Visceral characteristics of three breeds of swine and their crosses. *Can J Ani Sci*. 1984; 64:9-19.
- Quiniou N, Noblet J. Prediction of tissular body commovement on the energy metabolism of the growing pig position from protein and lipid deposition in growing pigs. *J Anim Prod* 1995;73:1567-1575.

12. SAS Institute Inc. SAS user's guide: statistics, version 8.02 edition. Cary, North Carolina: SAS Institute Inc. 2002.
13. Schinckel AP, De Lange CF. Characterization of growth parameters needed as inputs for pigs growth models. *J Anim Sci* 1996; 74:2021-2036.
14. Shields RG, Mahn DC, Graham PL. Change in swine body composition from birth to 145 Kg. *J Anim Sci* 1983; 57(1):43-65. 1983.
15. Stranks MH, Cooke BC, Fairbairn CB, Fowler NG, Kirby PS, Mckracken KJ, Morgan CA, Palmer FG, Peers GD. Nutrient allowances for growing pigs. *Res Dev Agric* 1988; 5:71-88.
16. Tedeschi O. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agric Systems* 2006; 89:225-247.
17. Van Milgen J, Noblet J. Partitioning of energy intake to heat, protein, and fat in growing pigs. *J Anim Sci* 2003; 81(E. Suppl 2): E86-E93. 2003.
18. Wagner JR, Schinckel AP, Chen W, Forrest JC. Analysis of body composition changes of swine during growth and development. *J Anim Sci* 1999; 77:1442-1466.
19. Whittemore CT, Tullis JB, Emmans GC. Protein growth in pigs. *Anim Prod* 1988; 46:437-445.
20. Whittemore CT. *Ciencia y práctica de la producción porcina*, Longman Group UK, Essex, England, Ed. Acribia. 1993.
21. Yang TS, Lin JH. Variation of Heart size and its correlation with growth performance and vascular space in domestic pigs. *Anim Sci* 1997; 64:523-528.