



# Zoometría en cerdos obesos intervenidos con cirugía bariátrica experimental reloj de arena con derivación gastro-yeyunal

Mastoby M. Martínez M<sup>1\*</sup> ; Diana M. Pérez B<sup>1</sup> ; Valery Lancheros S<sup>2</sup> .

<sup>1</sup>Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Departamento de Ciencias Pecuarias, Grupo de Investigación en Medicina y Cirugía Veterinaria (MECIVET). Montería, Colombia.

<sup>2</sup>Universidad de Córdoba, Facultad de ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica, Grupo de investigación ingeniería ciencia y tecnología (ICT). Montería, Colombia.

\*Correspondencia: [mmiguelmartinez@correo.unicordoba.edu.co](mailto:mmiguelmartinez@correo.unicordoba.edu.co)

Recibido: Enero 2024; Aceptado: Junio 2024; Publicado: Julio 2024.

## RESUMEN

**Objetivo.** Evaluar variables zoométricas en cerdos Landrace obesos intervenidos con la cirugía bariátrica experimental reloj de arena con derivación gastro-yeyunal (CBERADG-Y). **Materiales y métodos.** La evaluación se realizó en tres fases con 12 animales puros divididos en un grupo experimental y dos grupos control. Fase 1: inducción de obesidad alcanzada en 120 días. Fase 2: práctica de la cirugía experimental. Fase 3: evaluación de variables zoométricas [masa corporal (MC), longitud occipito-coccígea (L Occ-Co), diámetro abdominal (DA) e índice de masa corporal (IMC)] en los cerdos del experimento; comparando medidas al día cero, día 15 y día 30 entre grupos e intra-grupo. **Resultados.** Al final del estudio, el grupo experimental redujo la MC, el DA y el IMC sin afectar la L Occ-Co, mientras que los dos grupos control mantuvieron estables estas variables. **Conclusiones.** Pese a no existir diferencias significativas entre grupos, se logró estandarizar una cirugía bariátrica que influyó cuantitativamente sobre las variables zoométricas del grupo experimental.

**Palabras clave:** Cerdos; cirugía metabólica; obesidad; sobrepeso; zoometría (*Fuente: DeCS, MeSH*).

## ABSTRACT

**Objective.** Evaluate zoometric variables in Landrace obese pigs who had experimental hourglass bariatric surgery with gastrojejunal derivation (CBERADG-Y, for its Spanish acronym). **Materials and methods.** The evaluation was carried out in three phases with 12 pure animals divided into an experimental group and two control groups. Phase 3: assessment of zoometric variables [body mass (BM), body mass index (BMI), occipital-coccyx length (Occ-Co L), abdominal perimeter (AP)] in the experimental pigs; comparing measurements at day zero, day 15 and day 30 between groups and within group. **Results.** At the end of the study, the experimental group reduced the BM, AP and BMI without affecting the Occ-Co L, while both control groups kept all variables stable. **Conclusions.** Despite there being no significant differences between groups, it was possible to standardize a bariatric surgery that quantitatively influenced the zoometric variables of the experimental group.

**Keywords:** Pigs; metabolic surgery; obesity; overweight; zoometry. (*Source: DeCS, MeSH*).

### Como citar (Vancouver).

Martínez MMM, Pérez BDM, Lancheros SV. Zoometría en cerdos obesos intervenidos con cirugía bariátrica experimental reloj de arena con derivación gastro-yeyunal. Rev MVZ Córdoba. 2024; 29(3):e3483. <https://doi.org/10.21897/rmvz.3483>



©El (los) autor (es) 2024. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

## INTRODUCCIÓN

La obesidad es un estado crónico de aumento patológico de la masa de células adiposas blancas y representa una de las epidemias mundial del siglo XXI (1). En el 2022, según datos de la OMS, 2500 millones de adultos de 18 o más años tenían sobrepeso equivalente a 43%, de los cuales un 43% eran hombres y un 44% mujeres, y; alrededor del 16% de los adultos de 18 años o más en todo el mundo eran obesos con una prevalencia que va en aumento, si se toma como referencia los datos de 1990 (aumentó en más del 100% con respecto al 2022) (2). La obesidad predispone a la diabetes y a nivel mundial, hay aproximadamente 500 millones de personas con la patología y se espera un crecimiento aproximado del 25 y 51% para 2030 y 2045, respectivamente (3).

En medicina veterinaria y en especial en los animales de compañía; la obesidad también ha alcanzado cifras altas: aproximadamente el 40% de los perros, y en torno a un 35-50% de los gatos, presentan sobrepeso u obesidad, donde el sedentarismo animal y el poco ejercicio son factores que se relacionan con la condición. Además, existen otros factores predisponentes como raza, edad, género y estado reproductivo (4).

El sobrepeso y la obesidad se asocia en un 90-95% con riesgo de diabetes mellitus tipo 2 (DM2) en humanos (5), al igual que en gatos con el agravante de padecer enfermedad renal. En cuanto a los perros obesos, alrededor del 23% pueden presentar hipercolesteronemia, hipertrigliceridemia, hipertensión arterial y limitación funcional para andar por la tendencia a desarrollar osteoartritis (4). En humanos a parte de las patologías anteriores, pueden desarrollar enfermedades pancreáticas, la enfermedad del hígado graso no alcohólico (NAFLD) y varios cánceres específicos (6). En personas el sobrepeso y la obesidad mórbida se relacionan con una alta tasa de mortalidad y con un mayor riesgo de sufrir enfermedad cardiovascular o de morir por asocio de causas (7). Además de las comorbilidades asociadas a la obesidad, existe una importante repercusión psicosocial y laboral, que reduce la calidad de vida de las personas obesas (5).

La cirugía bariátrica proporciona la opción más sólida para tratar la obesidad en comparación con otras estrategias actualmente disponibles que incluyen modificación del estilo de vida, farmacoterapia y terapia endoscópica (6,7,8,9).

La gastrectomía en manga (SG) es la cirugía más utilizada y desde 2013 se ha convertido en el procedimiento de pérdida de peso preferido e incluso por encima del bypass gástrico en Y de Roux (RYGB) con influencia sobre la microbiota digestiva y sobre el sistema entero-endocrino-inmunológico (10).

Los cambios en la saciedad son profundos desde el período post-operatorio temprano después de BGYR y SG y, en algunos casos, también hay alteraciones en las preferencias alimentarias después de estos procedimientos. Estas técnicas bariátricas pueden ser efectivas en la inducción de la pérdida de peso, sin embargo; la gran mayoría de personas no logran mantenerla a largo plazo e incluso con complicaciones pos-operatorias como las deficiencias nutricionales (6).

De lo anterior, se puede inferir que cualquier intervención que se haga al sistema digestivo; induce cambios que van desde la microbiota nativa hasta cambios morfo-fisiológicos con impacto sobre el metabolismo y el peso. Es por ello que el grupo de investigación en medicina y cirugía en animales de compañía (MECIVET) de la universidad de Córdoba, Colombia en busca de respuestas a hipótesis y con el fin de minimizar complicaciones pos-quirúrgicas; evaluaron la influencia de una nueva técnica bariátrica sobre parámetros zoométricos en cerdos Landrace obesos (*Sus scrofa domesticus*) como modelo biológico. La nueva técnica combina la compartimentalización del estómago (dos sacos) con la rápida llegada de los nutrientes al último cuarto del intestino delgado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Animales de estudio.** Se incluyeron cerdos machos Landrace, de seis a siete meses de edad, castrados a la segunda semana de vida según manejo del programa porcícola y provenientes de dos camadas diferentes. Los animales se alojaron en corrales individuales, cada uno con un área de 2 m<sup>2</sup>, con barrotes que permitían el contacto entre animales de corrales adyacentes. Se mantuvieron en condiciones controladas por cinco meses y la temperatura se mantuvo en torno a los 23±2°C, con humedad relativa entre 45-65% y viviendo en un ciclo de luz-oscuridad de 12 horas/12 horas.

Los animales ingresaron al estudio con peso promedio de 20 kg y 2.5 meses de edad hasta alcanzar peso promedio de 115 kg y signos de

sobrepeso u obesidad a los 6.5 meses. En este período de tiempo, fueron alimentados con una dieta comercial de acabado (Levante); y para inducir la obesidad en todos los animales, se enriqueció la ración diaria con 18% de aceite comercial vegetal y 15% de melaza (Tabla 1), basado en la información reportada (11,12). Los animales fueron alimentados dos veces al día (07:00 y 15:00 horas) y la cantidad dependió del peso corporal y etapa productiva siguiendo las indicaciones del fabricante. Todos los cerdos que ingresaron a la investigación, se evaluaron clínicamente y se les realizó análisis sanguíneo con la confirmación de un buen estado de salud.

**Tabla 1.** Composición de la dieta comercial y del suplemento energético con que se alimentó por cuatro meses a los cerdos Landrace en la etapa de crecimiento para inducir obesidad.

Tipo de dieta	Composición	Cantidad (%)
Comercial	Proteína mínima	17
	Grasa mínima	5
	Humedad máxima	13
	Fibra máxima	7
	Ceniza máxima	8
Suplemento energético	Aceite comercial vegetal <sup>1</sup>	18
	Melaza <sup>2</sup>	15

<sup>1</sup>El aceite comercial aportó 80 calorías de grasa con una cantidad por porción de grasa total de 9 g (14%).

<sup>2</sup>La melaza aportó 2100 Kcal/kg que para la cantidad adicionada a la ración de engorde comercial corresponde a 787.5 Kcal.

**Aspectos éticos.** El estudio se realizó de acuerdo con la Declaración de Helsinki y fue aprobado y supervisado por el Comité de Ética de la FMVZ de la Universidad de Córdoba - Colombia (Ley No.009 del 30 de noviembre de 2021) para estudios en animales.

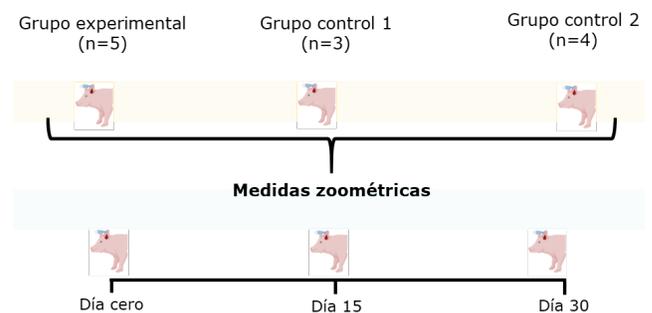
**Diseño del estudio.** Los cerdos tuvieron cuatro meses de manejo animal a partir de los 2.5 meses de edad y una fase experimental con duración de 30 días a partir de los 6.5 meses de edad donde se realizaron pesajes y mediciones, al día 0, al día 15 y al día 30 pos-intervención quirúrgica.

Inicialmente se seleccionaron 15 animales, pero el tamaño de la muestra se redujo a 12 cerdos por ser el número aprobado por el comité de ética. Para el experimento, el grupo inicial se dividió en tres sub-grupos mediante muestreo intencional, donde el primer grupo control

(GC1) estuvo conformado por tres animales sin cirugía y que continuaron con suplementación energética hasta el final del estudio; un segundo grupo control (GC2) que estuvo conformado por cuatro animales con celiotomía y se les retiró la suplementación energética, y el grupo experimental (GE) estuvo conformado por los cinco animales de mayor peso a los que se les realizó cirugía experimental sin suplementación energética (Figura 1).

## Diseño de estudio

### Estratificación de animales



**Figura 1.** Estratificación de los cerdos Landrace que conformaron al grupo de estudio.

**Localización.** El estudio se realizó en el campus Berástegui donde funciona la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Córdoba, ubicada en el corregimiento Berástegui, zona rural del municipio de Ciénaga de Oro, departamento de Córdoba, con una temperatura promedio de 29°C, humedad relativa de 85%, altitud de 22 m.s.n.m. y con una precipitación promedio anual de 1200 mm.

**Recolección de la información.** Entre las variables zoométricas; el peso en kilogramos (MC) se obtuvo con balanza analítica de precisión (balanza J.W. Baumann Waagenfbrik Thierseim/Bayern). La longitud occipito-coccígea (L Occ-Co) en centímetros (cm) se midió con cinta métrica y su medida iba desde la protuberancia occipital hasta la base de la cola. Para el perímetro abdominal (PA) en cm; se tuvo en cuenta el arco costal que coincidió con el área umbilical de los cerdos Landraces. Para estimar el índice de masa corporal (IMC), se tuvo en cuenta el peso en kg dividido entre el cuadrado de la longitud occipito-coccígea en cm (peso/L Occ-Co<sup>2</sup>) que fue adaptado de una investigación previa (13). Las formas y técnicas de sujeción e inmovilización

física se hicieron teniendo en cuenta provocar la mínima lesión física de los pacientes.

**Pre-operatorio, anestesia, cirugía y cuidados postoperatorios.** Previo a la intervención, los cerdos se sometieron a ayuno hídrico y sólido de seis y 12 horas respectivamente. Todas las cirugías se realizaron bajo anestesia general, y previamente se aplicó un analgésico (flunixin meglumine a 1.1 mg/kg/vía IM) y un antiemético (metoclopramida a 0.5 mg/kg/vía IM). Para la tranquilización se aplicó azaperona (4 mg/kg/vía IM) y la anestesia fue inducida con inyección intramuscular de la mezcla de xilacine al 2% (0.5 mg/kg) y ketamina al 5% (2 mg/kg) y mantenida con isoflurano. Se realizó intubación oro-traqueal y se suministró oxígeno durante todo el procedimiento, realizando además monitoreo de la frecuencia cardíaca, respiratoria, temperatura, color de mucosas, tiempo de llenado capilar, posición de globo ocular y tamaño de la pupila.

La técnica experimental denominada por el autor cirugía bariátrica reloj de arena con derivación gastro-yeyunal que se identifica con la sigla "CBERADG-Y"; se clasifica como restrictiva-malabsortiva, porque se dividió el estómago en dos sacos comunicantes, donde el primer saco receptor tiene aproximadamente 20% de la capacidad total y el segundo saco, un 80% aproximadamente de la capacidad total; y que seguidamente se le cerró la salida pilórica. El segundo saco se anastomosó con el último cuarto del intestino delgado. La técnica busca reducir la capacidad gástrica para que el cerdo tenga sensación de saciedad temprana y prolongada con una cantidad de alimentos mucho menor a la habitualmente ingerida, y que; el quimo llegue más rápido al último cuarto del intestino delgado (yeyuno distal e íleon), con la consecuente pérdida de sobrepeso. Todas las cirugías fueron realizadas por el autor, quien es cirujano veterinario e investigador junior según la categorización de Colciencias.

Después de la cirugía, el control del dolor se manejó con inyección intramuscular de flunixin meglumine (1.1 mg/kg de peso vivo), cada 12 horas durante 3 días. Se realizó antibiótico-profilaxis mediante inyección intramuscular de oxitetraciclina (5 mg/kg de p.v.) cada 24 horas

por tres días, complementado con dosis única intravenosa de metronidazol (10 mg/kg de p.v.) durante la operación. Cabe decir, que los cerdos de los dos grupos control también recibieron este tratamiento.

**Análisis estadístico.** Como los datos corresponden a un tamaño de muestra pequeño (inferior a 50), se realizó prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, con significancia estadística (valor de  $p \leq 0.05$ ), la cual dio como resultado que no tienen una distribución normal, por lo que se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para comparar las diferencias de las medidas zoométricas de los grupos de estudio. El software STATA17® de la empresa Innovaseg Colombia SAS, fue empleado para los análisis estadísticos.

## RESULTADOS

**Medidas zoométricas.** Los resultados mostraron que la longitud occipito-coccígea, fue similar entre los grupos analizados (12 cm para los GC y 10 cm para el GE). En cuanto al perímetro abdominal, para los GC se observó un promedio de 13 cm, mientras que en el GE hubo una disminución de 4.4 cm al final del estudio. Esta misma tendencia fue observada en el peso, encontrándose menos aumento de esta variable en los cerdos intervenidos con la cirugía experimental (aumento de 5.4 kg), comparados con los grupos controles (28 kg para el GC1 y 22 kg para el GC2). El comportamiento IMC, tanto en el GC1 como para el GC2 aumentó en un 17.0 y 9.7% respectivamente, mientras que para el GE presentó una reducción del 6% (Tabla 2).

Los resultados mostraron que los animales del grupo experimental al final del estudio, tuvieron menor masa corporal (peso), reducción significativa en el PA ( $p=0.0434$ ) y en el IMC ( $p=0.0440$ ) al compararse con los grupos control (Tabla 2 y Figuras 2,3 y 4).

Finalmente, al hacer una comparación entre los grupos respecto al IMC, los resultados mostraron una ganancia en IMC para los grupos GC1 y el GC2 comparados con el grupo experimental ( $p=0.0079$ ).

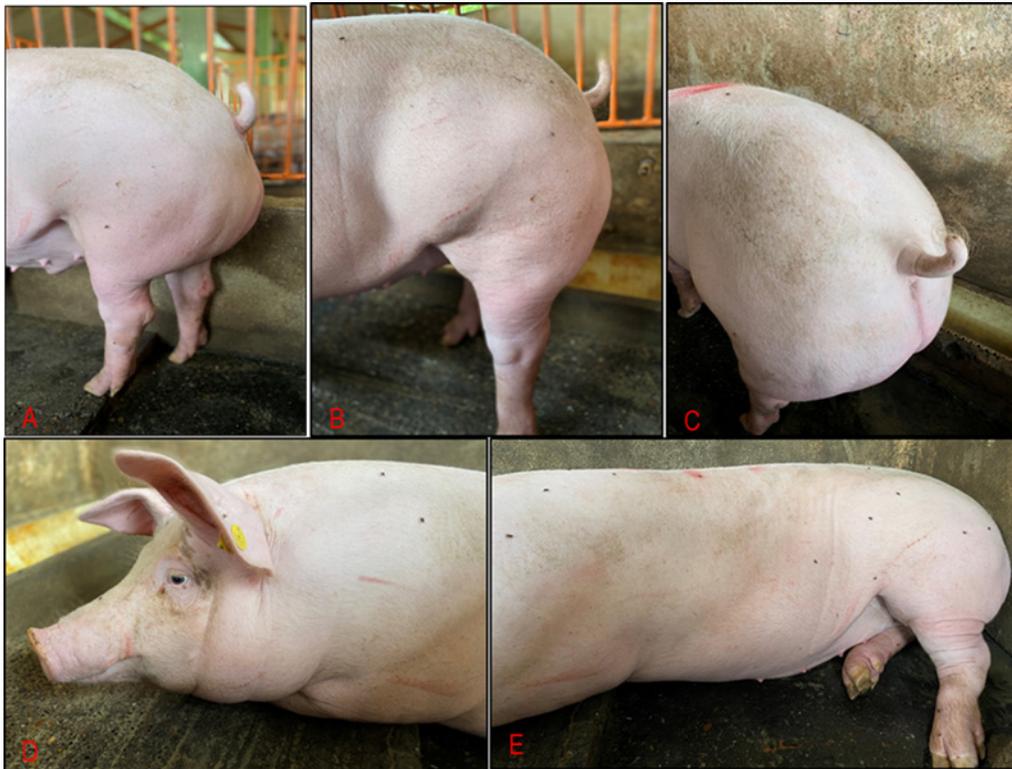
**Tabla 2.** Medianas y rangos intercuartílicos de las medidas zoométricas de cerdos Landrace de acuerdo al seguimiento y al grupo durante el tiempo de estudio.

	Grupo control 1		Grupo control 2		Grupo experimental		
	Mediana	RIC (25-75)	Mediana	RIC (25-75)	Mediana	RIC (25-75)	
2.5 meses	peso	103	95-107	106	105.5- 112.5	122	122-126
	P-Valor			0.0206			
	L Occ-Co	122	112-124	121	116.5-124.5	121	119-124
	P-Valor			0.9026			
	PA	120	118-120	122	120-126	126	122-126
	P-Valor			0.0676			
	IMC	0.84	0.83-0.87	0.91	0.87-0.93	0.98	0.98-1.05
6.5 meses	Peso	119	110-127	119	118-124,5	121	119-126
	P-Valor			0.8780			
	L Occ-Co	125	124-127	126	122.5-128.5	125	125-132
	P-Valor			0.8431			
	PA	124	124-127	127	125-132,5	127	126-128
	P-Valor			0.5156			
	IMC	0.95	0.87-0.98	0.96	0.94-0.99	0.95	0.92-0.98
7.5 meses	Peso	131	124-134	130	129-133	123	121-128
	P-Valor			0.2288			
	L Occ-Co	132	127-134	132	130.5-134	132	129-134
	P-Valor			0.9041			
	PA	133	132-133	135.5	132.5-138.5	126	126-130
	P-Valor			0.0434			
	IMC	0.98	0.98-1.01	0.99	0.97-1.00	0.95	0.92-0.95
	P-Valor			0.0440			

L Occ-Co: longitud occipito-coccígea; IMC: índice de masa corporal; PA: perímetro abdominal; RIC: rangos intercuartílicos.



**Figura 2.** GC1 a los 30 días de evaluación donde se observa su condición de sobre-peso (=5) de acuerdo a la escala de clasificación zootécnica y de acuerdo con los diferentes puntos de distribución de la grasa. A. Nalgas y jamones, B. Abdomen, C. Abdomen y flanco, D. Papada y E. Coxal, nalgas y jamones.



**Figura 3.** GC2 a los 30 días de evaluación donde se observa su condición de sobre-peso (=5) de acuerdo a la escala de clasificación zootécnica y de acuerdo con los diferentes puntos de distribución de la grasa. A. Coxa y jamones, B. Flanco, C. Coxa y dorso, D. Papada, y F. Abdomen.



**Figura 4.** GE a los 30 días de evaluación donde se observa su condición de magritud (=3) de acuerdo a la escala de clasificación zootécnica y de acuerdo con los diferentes puntos de distribución de la grasa. A. Dorso y coxa, B. Nalgas y jamones, C. Papada, y D. Papada, abdomen y flanco.

## DISCUSIÓN

### **Variables zoométricas: enfoque general.**

Las variables zoométricas junto con la masa animal e IMC tuvieron un comportamiento semejante a estudio previo de cirugía bariátrica en adolescentes (14), por lo que se presume que la masa grasa fue la que mayor influencia tuvo sobre la reducción de peso en los cerdos operados con la cirugía bariátrica reloj de arena con derivación gastro-yeyunal.

Además; de acuerdo a la escala visual de clasificación zootécnica para cerdas reproductivas (15) se pudo observar que los controles mantuvieron su condición de sobrepeso u obesidad (valor=5) mientras que los del GE involucionaron su condición a magritud (valor=3); por lo que se infiere, que la cirugía propuesta no altera el desarrollo corporal de los cerdos más sí puede influir sobre la masa corporal; donde tal vez se dio un consumo en proporciones adecuadas o suficientes para el mantenimiento de las funciones vitales sin alcanzar el ahorro de energía bajo la modalidad de masa grasa.

La tendencia de los cerdos del GE a perder masa grasa según la valoración subjetiva y según el peso durante el mes de estudio, permite presumir que la cirugía bariátrica experimental influyó sobre esta variable y que los resultados pueden ser semejantes con lo reportado por Parmar and Mahawar (16), quienes consiguieron reducir el sobrepeso con mantenimiento de la pérdida en el tiempo cuando practicaron el bypass gástrico de una anastomosis o mini-bypass gástrico en humanos adultos, donde las pérdidas de peso a los seis, 12, 24 y 60 meses estuvieron en el orden del 60, 72, 78 y 76.6% respectivamente. También; semejante con la investigación de Hernández Hurtado et al (11) quienes dan a conocer que el Bypass duodeno-ileal de una anastomosis con gastrectomía en manga, logra un porcentaje de pérdida del sobrepeso superior al 90% a los dos años de la cirugía y que se mantuvo hasta el quinto año.

De los parámetros zoométricos obtenidos también se podría inferir que: La CBERADG-Y posiblemente influyó sobre la masa grasa y menos sobre la masa magra, lo que explicaría por qué los animales tuvieron ganancia de peso y crecieron en el tiempo de estudio. En otras palabras, el resto de sistemas entre los que está el musculo-esquelético, la piel y las vísceras que integran al sistema digestivo; continuaron

su desarrollo, estando de acuerdo con quienes hablan del método de Matiegka que divide el peso corporal en cuatro partes: esqueleto, músculo esquelético, piel más tejido adiposo subcutáneo y el resto con crecimiento continuo hasta determinada etapa de la vida (17).

### **Masa corporal (el peso) - IMC - PA.**

Cambios en el estilo de vida y la farmacoterapia no han resultado eficaces para perder peso a largo plazo ni para reducir la mortalidad. Actualmente, la cirugía bariátrica es la modalidad de tratamiento más efectiva para conseguir los dos objetivos anteriores e incluso la remisión de las comorbilidades de los individuos obesos (5). Aunque la cirugía bariátrica ahora se acepta como la primera opción para tratar la obesidad mórbida recalcitrante en adultos, en los adolescentes representan aproximadamente el 0.73% de los casos realizados en los Estados Unidos, y se estima que esta tasa aumente (18).

Investigaciones en cerdos minipig obesos (11), confirman que la reducción de peso significativa conlleva a una disminución de los ácidos grasos libres y que la restricción calórica por sí sola pueden afectar positivamente la sensibilidad a la insulina, atenuándose la lipo-toxicidad y gluco-toxicidad de las células  $\beta$ , afirmación que anima a creer que la cirugía experimental propuesta (CBERADG-Y) pueda favorecer el metabolismo de pacientes con obesidad, teniendo en cuenta; que se consiguió reducir el IMC en un 6% del peso basal pre-quirúrgico y menor PA al ser comparados con los grupos control.

Se podría pensar que la pérdida de masa grasa en los cerdos del GE es reflejo del equilibrio energético alcanzado y que en cierta forma y conjuntamente con el no aporte de alta densidad energética, podría ejercer un feedback sobre hormonas que regulan el apetito, manifestándose con menor consumo de alimento y pérdida de sobrepeso por masa grasa. Otra hipótesis del adelgazamiento de los cerdos del GE podría estar sustentada en que el porcentaje de energía que habitualmente es producida por el intestino delgado tiene que ser soportado por otras fuentes como la grasa corporal (sub-cutánea y abdominal). El planteamiento anterior se basa en los resultados obtenidos por Jang et al (19) quienes dicen que el intestino delgado contribuye con el 25% de la gluconeogénesis sistémica tanto en ayuno prolongado como en diabetes.

En los animales obesos, sobre todo en los del GC1; el exceso de fructosa proporcionado por la

melaza, posiblemente escapó a los mecanismos de control hepático generando fuentes de ácidos grasos que terminaron acumulándose en el tejido sub-cutáneo y como grasa abdominal que son los puntos observables clínicamente. El planteamiento anterior se fundamenta en resultados previos (19) que dice, que el exceso de fructosa en intestino delgado afecta al microbioma intestinal y al funcionamiento hepático reflejado en la activación de genes que mejoran la absorción y metabolismo de esta azúcar como fuente de gluconeogénesis. Basado en la afirmación anterior surge la hipótesis que estos genes quedaron sensibilizados en los cerdos del GC2 que mantuvieron su estado de obesidad pese a retirárseles la fuente oral de energía (melaza y aceite mineral de soja).

Según los datos arrojados por el GC2, la suspensión del suplemento no fue suficiente para reducir la condición corporal y el IMC. De lo anterior se puede inferir que la CBERADG-Y tuvo mayor influencia sobre la condición corporal que el tipo de alimento-suplemento, porque los GC mantuvieron su comportamiento y condición corporal de obesidad hasta el final del estudio (Figura 2 y 3). Según la literatura (20), el mayor consumo de energía derivada de grasa y carbohidratos conduce a una mayor ingesta de energía que clínicamente se expresa con mayor consumo de alimentos y el subsiguiente aumento de peso.

Existen investigaciones (11) que interrelacionan variables zoométricas como el tejido graso intra-abdominal (TGIA) con el metabolismo de la glucosa y llegan a afirmar que este parámetro parece jugar un papel fundamental en la sensibilidad a la insulina y en la homeostasis de la glucosa, porque en su modelo animal cuando le practicaron la cirugía bariátrica laparoscópica en Y de Roux condujo a un control de la glucosa, así como a una reducción significativa en los valores de TGIA en comparación con las evaluaciones del modelo. El menor aumento de PA y el menor peso de los cerdos del GE; demuestran que la cirugía bariátrica experimental influyó sobre estas variables. Estos resultados semejantes a uno de las variables de Hernández Hurtado et al (11), animan a pensar que la CBERADG-Y podría influir positivamente en el control del sobrepeso y sobre el control glicémico.

En otro sentido las cirugías bariátricas buscan reducir peso a expensas del tejido adiposo, siendo el abdomen uno de los locales de mayor acumulación y entre estos el tejido adiposo visceral (TAV), que es fuente de alta tasa de lipólisis, con la consecuente liberación de ácidos grasos y citoquinas pro-inflamatorias hacia el hígado y la circulación en niveles elevados. Los ácidos grasos libres causan insulino-resistencia en los tejidos receptores activando la apoptosis de las células beta pancreáticas, lo que se conoce como lipotoxicidad. La insulino-resistencia se asocia con hipertensión arterial, hipertrigliceridemia y con disminución de los niveles de colesterol HDL, que en conjunto son factores de riesgo para el sistema cardio-vascular. Por otro lado, la movilización de ácidos grasos libres desde el tejido adiposo visceral hacia el hígado y la hiperinsulinemia compensatoria a nivel de circulación portal, promueven la condición de esteatosis hepática (21). Los dos últimos párrafos animan a creer que la cirugía experimental propuesta (CBERADG-Y) pueda bajar los riesgos cardio-vasculares, hepáticos y pancreáticos asociados a la obesidad mórbida; por los logros sobre el IMC y sobre el perímetro abdominal que fueron menores a los de los grupos control.

En conclusión, de acuerdo con las estructuras anatómicas intervenidas, según la reducción de peso y según el seguimiento o fase de desarrollo en el tiempo respectivamente; la cirugía bariátrica experimental reloj de arena con derivación gastro-yeyunal (CBERADG-Y) se puede clasificar como una técnica gastro-intestinal, restrictiva - mal absorbita y en desarrollo; que durante la evaluación y con base a los datos cuantitativos, demostró ser efectiva y eficiente para inducir pérdida de peso en poco tiempo, no afectó el crecimiento, redujo el perímetro abdominal y redujo el índice de masa corporal. Con esta cirugía bariátrica/metabólica se abre la puerta para futuras investigaciones orientadas a la génesis de la pérdida de peso derivada de masa grasa.

## Conflictos de intereses

Declaramos no tener conflictos de intereses.

## Agradecimientos

Al programa porcícola de la FMVZ de la Universidad de Córdoba-Colombia por proporcionar los cerdos, su alimentación y manejo.

## Financiación

La investigación se realizó con recursos propios y recursos de la Universidad de Córdoba-Colombia.

## Contribución de los autores

## REFERENCIAS

- Stein CJ, Colditz GA. The Epidemic of Obesity. *J Clin Endocrinol Metab* 2004; 89(6):2522-2525. <https://doi.org/10.1210/jc.2004-0288>
- Okunogbe A, Nugent R, Spencer G, Powis J, Ralston J, Wilding J. Economic impacts of overweight and obesity: current and future estimates for 161 countries. *BMJ Glob Health*. 2022; 7(9):e009773. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2022-009773>
- Nagaya M, Hasegawa K, Uchikura A, Nakano K, Watanabe M, Umeyama K, et al. Feasibility of large experimental animal models in testing novel therapeutic strategies for diabetes. *World J Diabetes* 2021; 12(4):306-330. <http://dx.doi.org/10.4239/wjd.v12.i4.306>
- Pérez López LDC, Wägner AM. La obesidad en nuestras mascotas, un problema actual. En 30 aniversario de la ULPGC Cultura Científica. Servicio de Publicaciones, 2020.
- Pacheco Sánchez D, Pinto Fuentes P, Asensio Díaz E. Actualización en cirugía bariátrica/metabólica. *Nutr Clin EN Med*. 2019; 8(2):113-127. <https://doi.org/10.7400/NCM.2019.13.2.5077>
- Papamargaritis D, le Roux CW. Do Gut Hormones Contribute to Weight Loss and Glycaemic Outcomes after Bariatric Surgery? *Nutrients* 2021; 13(3):762. <https://doi.org/10.3390/nu13030762>
- Albaugh VL, Banan B, Ajouz H, Abumrad NN, Flynn CR. Bile acids and bariatric surgery. *Mol Aspects Med*. 2017; 56:75-89. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2017.04.001>
- Khan S, Rock K, Baskara A, Qu W, Nazzari M, Ortiz J. Trends in bariatric surgery from 2008 to 2012. *Am J Surg*. 2016; 211(6):1041-1046. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2015.10.012>
- McCarty TR, Echouffo-Tcheugui JB, Lange A, Haque L, Njei B. Impact of bariatric surgery on outcomes of patients with nonalcoholic fatty liver disease: a nationwide inpatient sample analysis, 2004-2012. *Surg Obes Relat Dis*. 2018; 14(1):74-80. <https://doi.org/10.1016/j.soard.2017.09.511>
- Khorgami Z, Shoar S, Andalib A, Aminian A, Brethauer SA, Schauer PR. Trends in utilization of bariatric surgery, 2010-2014: sleeve gastrectomy dominates. *Surg Obes Relat Dis*. 2017; 13(5):774-778. <https://doi.org/10.1016/j.soard.2017.01.031>
- Hernández Hurtado L, Sánchez-Margallo FM, De la Cruz Vigo JL, Maestre Antequera J, Matos Azevedo AM, Casado JG, et al. Changes on Adipose Tissue Distribution After Laparoscopic Roux-en-Y Gastric Bypass in Obese Göttingen Minipig. Effects on Glucose Metabolism. *Obes Surg*. 2016; 26(12):3001-6. <http://link.springer.com/10.1007/s11695-016-2223-z>

12. Curtasu MV, Skou Hedemann M, Nygaard Lærke H, Bach Knudsen KE. Obesity Development and Signs of Metabolic Abnormalities in Young Göttingen Minipigs Consuming Energy Dense Diets Varying in Carbohydrate Quality. *Nutrients*. 2021; 13(5):1560. <https://www.mdpi.com/2072-6643/13/5/1560>
13. Plua W, Vázquez HA, Jarrim K. Impacto del bypass gástrico sobre el Índice masa corporal de adultos diabéticos en el primer año postquirúrgico. *RECIAMUC*. 2022; 6(3):612-624. <https://reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/933>
14. DeAntonio J, Cockrell H, Kang HS, Bean MK, Thompson N, Brengman M, et al. A pilot study of laparoscopic gastric plication in adolescent patients with severe obesity. *J Pediatr Surg*. 2019; 54(8):1696-1701. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022346819300119>
15. Benítez R, Trakooljul N, Núñez Y, Isabel B, Murani E, De Mercado E, et al. Breed, Diet, and Interaction Effects on Adipose Tissue Transcriptome in Iberian and Duroc Pigs Fed Different Energy Sources. *Genes*. 2019; 10(8):589. <https://doi.org/10.3390/genes10080589>
16. Parmar CD, Mahawar KK. One Anastomosis (Mini) Gastric Bypass Is Now an Established Bariatric Procedure: a Systematic Review of 12,807 Patients. *Obes Surg*. 2018; 28(9):2956-2967. <http://link.springer.com/10.1007/s11695-018-3382-x>
17. Heymsfield SB, Gonzalez MCC, Shen W, Redman L, Thomas D. Weight loss composition is one-fourth fat-free mass: a critical review and critique of this widely cited rule: Weight loss composition. *Obes Rev*. 2014; 15(4):310-321. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/obr.12143>
18. De La Cruz-Muñoz N, Lopez-Mitnik G, Arheart KL, Miller TL, Lipshultz SE, Messiah SE. Effectiveness of bariatric surgery in reducing weight and body mass index among Hispanic adolescents. *Obes Surg*. 2013; 23(2):150-156. <https://doi.org/10.1007/s11695-012-0730-0>
19. Jang C, Hui S, Lu W, Cowan AJ, Morscher RJ, Lee G, et al. The Small Intestine Converts Dietary Fructose into Glucose and Organic Acids. *Cell Metab*. 2018; 27(2):351-361. <https://doi.org/10.1016%2Fj.cmet.2017.12.016>
20. Stinson EJ, Piaggi P, Ibrahim M, Venti C, Krakoff J, Votruba SB. High Fat and Sugar Consumption During *Ad Libitum* Intake Predicts Weight Gain. *Obesity*. 2018; 26(4):689-695. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/oby.22124>
21. Lahsen MR, Kuzmanic VA. Cirugía metabólica 10 años después: una mirada desde la diabetología. *Rev Médica Clínica Las Condes*. 2016; 27(2):188-194. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2016.04.008>