

Morfometría de la gónada masculina y espermatozoides de cuyes (*Cavia porcellus*) nativos y mejorados del sur de Ecuador

Morphometry of the male gonad and sperm of native and improved guinea pigs (*Cavia porcellus*) from southern Ecuador

Cornelio Rosales J.^{1,3}, Guillermo Guevara V.¹, Fernando Perea G.², Luis Ayala G.¹, Pedro Nieto E.¹

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue describir la morfometría de los testículos y espermatozoides de cuyes (*Cavia porcellus*) de dos grupos genéticos, nativos y mejorados, del sur de Ecuador. Se utilizaron 22 cuyes nativos y 20 mejorados de la línea Perú, los cuales fueron criados en jaulas elevadas y alimentados con forraje y concentrado, hasta alcanzar la edad de sacrificio de 97 a 112 días. Luego de faenados, se retiraron los testículos y epidídimos, y mediante disección se separó el epidídimo del testículo para tomar sus dimensiones, y recolectar los espermatozoides del epidídimo por la técnica de lavado por flujo retrógrado. Se prepararon frotis de semen para las mediciones de espermatozoides. Los datos se procesaron por análisis de varianza GLM y se utilizó el procedimiento LSMeans para comparar las medias (SAS V.9.0). Los parámetros morfométricos de los testículos fueron diferentes ($p < 0.05$) entre subpoblaciones; testículos opuestos del mismo grupo genético fueron similares, mientras que los ipsilaterales entre subpoblaciones mostraron diferencias estadísticas ($p < 0.05$). El tamaño testicular tuvo relación directa con el peso corporal, y el índice gonadosomático de los cuyes nativos fue mayor que el de los mejorados ($p < 0.05$). Los espermatozoides fueron diferentes ($p < 0.05$) entre grupos genéticos en la longitud del acrosoma y cabeza y en la relación longitud/anchura de cabeza. En conclusión, se encontraron diferencias morfológicas en los testículos y en los espermatozoides entre los dos grupos de cuyes.

Palabras clave: cuy, testículo, espermatozoides, morfometría, índice gonadosomático

¹ Facultad de Ciencias Agropecuaria, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador

² Departamento de Ciencias Agrarias, Universidad de Los Andes, Trujillo, Venezuela

³ E-mail: cornelio.rosales@ucuenca.edu.ec

Recibido: 5 de junio de 2020

Aceptado para publicación: 5 de diciembre de 2020

Publicado: 24 de abril de 2021

ABSTRACT

The aim of this research was to describe the morphometry of the testicles and sperm of guinea pigs (*Cavia porcellus*) of two genetic groups, native and improved, from southern Ecuador. Twenty-two native and 20 improved guinea pigs of the Peru line were used. The animals were reared in elevated cages and fed with forage and concentrate, until reaching the slaughter age of 97 to 112 days. After slaughtering, the testicles and epididymis were removed, and the epididymis was separated of the testis. Measurements of the testicles were done, and sperm was collected from the epididymis by the retrograde flow washing technique. Semen smears were prepared for sperm measurements. The data were processed by GLM analysis of variance and the LSMeans procedure was used to compare the means (SAS v. 9.0). The morphometric parameters of the testes were different ($p < 0.05$) between subpopulations. Opposite testes from the same genetic group were similar, while the ipsilateral ones between subpopulations showed statistical differences ($p < 0.05$). Testicular size was directly related to body weight, and the gonadosomatic index of native guinea pigs was higher than that of improved ones ($p < 0.05$). Spermatozoa were different ($p < 0.05$) between genetic groups in acrosome and head length and in head length / width ratio. In conclusion, this study showed morphological differences in the testes and sperm between the two genetic groups of guinea pigs.

Key words: guinea pigs, testis, spermatozoa, morphometry, gonadosomatic index

INTRODUCCIÓN

La pérdida de diversidad genética en especies domésticas implica la disminución de su capacidad de adaptación a los cambios naturales, como es el cambio climático y los antrópicos ocasionados por los procesos de domesticación y selección reproductiva, usados para alcanzar mayores índices de producción (Tammone, 2016). Muchas razas de animales domésticos se encuentran amenazadas por el uso no sostenible del patrimonio genético, existiendo cerca de 20% de razas locales de animales de granja en el mundo que están en peligro de extinción, y 58% en situación de riesgo por desconocerse su realidad actual (FAO, 2015, 2019).

El cuidado del material genético local por sus características de resiliencia resulta fundamental, debiendo conservarse la diversidad genética en base a cruzamientos racionales que implique un manejo sostenible de la

especie, sin descuidar el incremento de la producción y productividad dentro del manejo zootécnico (Posada *et al.*, 2015; Vargas *et al.*, 2015; Meza *et al.*, 2017).

Lo dicho, obliga a profundizar y avanzar en el conocimiento de la fisiología reproductiva de las especies animales. Actualmente, existe reducida información sobre estos aspectos en los ecotipos locales ecuatorianos del *Cavia porcellus*, siendo pertinente emprender procesos de investigación dada la importancia de la especie para la seguridad alimentaria de la población andina y su proyección mundial, especialmente si se considera la necesidad de delinear estrategias de conservación *ex situ* poco desarrolladas para el cuy. El Plan de Acción Mundial para los Recursos Zoogenéticos aprobado en la Conferencia de Interlaken para el mejoramiento de la gestión de la diversidad de razas ganaderas, contempla dentro de sus prioridades el estudio de las capacidades nacionales para administrar programas de conservación y mejoramiento genético (FAO, 2019).

En la actualidad, las biotecnologías reproductivas juegan un papel importante dentro del manejo reproductivo con fines zootécnicos y de conservación de recursos zoogenéticos. Estas se sustentan en el conocimiento profundo tanto de gónadas como de células germinales de machos y hembras. Las técnicas como crioconservación, inseminación artificial, fecundación *in vitro* y otras se vuelven más comunes, aunque no han sido desarrolladas a la misma velocidad para todas las especies. La morfología espermática se continúa usando dentro de la valoración seminal dirigida a la conservación del semen, y también para la predicción de su capacidad fecundante. Es fundamental su estudio morfométrico como base para el avance y aplicación de las técnicas biotecnológicas en las especies animales (Córdova *et al.*, 2011). Por lo tanto, la presente investigación planteó como objetivo la descripción morfométrica de la gónada y células germinales masculinas de cuyes (*Cavia porcellus*) nativos y mejorados del sur de Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la Unidad de Investigación en Cuyes, de la granja experimental Irquis de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca, ubicada en el altiplano sur de Ecuador, a una altitud de 2664 msnm y con temperatura ambiental entre 7 y 12 °C.

Se utilizaron 42 cuyes. De estos, 22 correspondieron a una subpoblación nativa desarrollada entre los 2583 y 4440 msnm, temperatura entre 4 y 15 °C y precipitación anual de 599 a 789 mm; cuyas características fundamentales son su conformación corporal longilínea, poca profundidad, cabeza triangular y escasa musculatura. Los otros 20 animales eran parte de una subpoblación de animales mejorados de la línea Perú, caracterizada por su conformación corporal brevilínea, amplia profundidad, cabeza bracoide y marcado desarrollo muscular (Aliaga *et al.*, 2009).

Los animales fueron criados en jaulas elevadas y alimentados con base forrajera de ray grass (*Lolium multiflorum*) – trébol (*Trifolium repens*) y concentrado comercial, hasta alcanzar la madurez y edad de sacrificio. Los cuyes eran criados con fines comerciales de producción de carne. A una edad comprendida entre 97 y 112 días fueron pesados, previo ayuno de 12 horas con el uso de una balanza de precisión BPS Plus BOECO (± 0.01 g) e inmediatamente faenados de acuerdo con la metodología descrita por Caycedo *et al.* (2011). Luego del sacrificio, se retiraron los testículos junto con el epidídimo, las piezas fueron colocadas en suero fisiológico (0.9% ClNa) y trasladadas en refrigeración (4 -7 °C) al laboratorio en una caja de poliestireno.

En el laboratorio se procedió a la separación de testículo y epidídimo por disección, así como al retiro del tejido periférico. Las mediciones testiculares (en centímetros) fueron longitud, ancho y espesor, utilizando un calibrador digital Vernier. Además, los testículos fueron pesados (balanza de precisión BPS Plus BOECO, precisión 0.01g). Se calculó el volumen (cm^3) utilizando las medidas corporales, siguiendo lo descrito por Junaidi y Martin (2013), quienes asumieron el testículo como un elipsoide. Además, se determinó la densidad testicular (g/cm^3) según Ali Abdullahi *et al.* (2012) y el índice gonadosomático (IGS), considerado como la relación del peso total de los testículos y el peso vivo del animal.

Los epidídimos fueron mantenidos en solución fisiológica (0.9% ClNa) sobre una platina térmica hasta que se procedió a la recolección de las células espermáticas epididimarias, mediante la técnica de lavado por flujo retrógrado descrita por Albers y Barrios (2006).

Para la evaluación morfométrica de los espermatozoides se tomaron 5 μl de lavado epididimario de cada animal y se realizó un extendido en un portaobjetos de vidrio debi-

Cuadro 1. Medias y error estándar de la edad, peso vivo y medidas morfométricas de testículos de cuyes (*Cavia porcellus*) nativos y mejorados del sur de Ecuador

	Grupo genético	
	Nativo (n=40)	Mejorado (n=39)
Edad (días)	104.1 ± 0.77 ^a	103.6 ± 0.78 ^a
Peso vivo (g)	562.0 ± 13.65 ^a	954.7 ± 13.81 ^b
Testículos		
Peso total (g)	3.4 ± 0.98 ^a	4.1 ± 0.39 ^b
Peso individual (g)	1.7 ± 0.06 ^a	2.1 ± 0.07 ^b
Ancho (cm)	1.4 ± 0.02 ^a	1.6 ± 0.02 ^b
Longitud (cm)	1.8 ± 0.03 ^a	2.1 ± 0.03 ^b
Grosor (cm)	1.1 ± 0.02 ^a	1.2 ± 0.03 ^a
Volumen (cm ³)	1.6 ± 0.08 ^a	2.0 ± 0.09 ^b
Densidad (g/cm ³)	1.2 ± 0.03 ^a	1.1 ± 0.03 ^a
Índice gónado somático	0.006 ± 0.00001 ^a	0.004 ± 0.00001 ^b

Letras diferentes en la misma fila difieren estadísticamente ($p < 0.05$)

damente rotulado por animal y grupo en estudio. Los frotis se secaron al ambiente antes de realizar la tinción con hematoxilina y eosina (Triana *et al.*, 2015). Se midió la longitud y ancho de cabeza, longitud de pieza intermedia, cola y acrosoma, que se expresaron en micras. De cada lámina, se tomaron fotografías, seleccionando entre seis y siete espermatozoides por fotografía, considerando su morfología normal, facilidad para realizar las mediciones y calidad de tinción obtenida, midiéndose un total de 284 células por animal. Los grupos de espermatozoides fueron observados y medidos con una cámara de alta resolución (Excelis AU-600-HD), acoplada a un microscopio con un lente ocular de 10x y objetivo de 100x para medición de alta resolución, que estaba provista de un software (AmScope V 3.7) calibrado para mediciones microscópicas.

El efecto del grupo genético sobre las características morfológicas de los testículos y espermatozoides fue determinado mediante el análisis de varianza con el procedimiento GLM (General Lineal Model) y para comparación de las medias, se utilizó el procedimiento LSMeans del programa SAS v. 9.3 (Statistical Analysis System Institute, USA). Para el análisis de morfología testicular, además del grupo genético, también se consideraron como variables independientes la ubicación del testículo (derecho o izquierdo) y la repetición.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las características morfométricas de los testículos se resumen en la Cuadro 1. Los animales de ambos gru-

pos genéticos tenían edades similares; sin embargo, se encontró mayor peso vivo al momento del sacrificio para el grupo mejorado ($p < 0.05$). Esto es explicable debido a la amplia mejora genética de los cuyes mediante selección de características de interés productivo a la que han sido sometidos los animales de la Línea Perú, dado que se utilizaron para la reproducción individuos que presentaban las mejores características que el promedio poblacional (Matz, 2011; Hayes *et al.*, 2013; Notter *et al.*, 2013).

Los promedios del peso, ancho, longitud, grosor y volumen de los testículos de los cuyes mejorados fueron mayores a los observados en los cuyes nativos ($p < 0.05$), con excepción del grosor testicular, que tuvo medidas similares entre los dos grupos. Los valores de peso, ancho, longitud y grosor de los testículos de los cuyes mejorados fueron similares a los descritos por Rosales *et al.* (2017) en su estudio de cuyes mejorados (Perú tipo 1). No obstante, los estudios difieren en el volumen, posiblemente debido al método de cálculo, ya que Rosales *et al.* (2017) usaron la fórmula propuesta por Lambert que aplicó un factor de 0.71 (Baleato *et al.*, 2017), estableciendo volúmenes de 3.07 y 2.60 para el testículo derecho e izquierdo, respectivamente, mientras que en la presente investigación se usó el método que asume el testículo como un elipsoide y usa un factor de 0.52 (Junaidi y Martin, 2013), obteniendo valores inferiores ($1.6 \pm 0.08 \text{ cm}^3$ en animales nativos y $2.0 \pm 0.09 \text{ cm}^3$ en mejorados).

Shiroma *et al.* (2004) reportaron un peso total promedio de testículos de 6 g para cuyes mejorados, valor superior al encontrado en la presente investigación de 4.08 ± 0.39 g, debido al mayor peso de los animales de dicho estudio, y a que se incluyeron los epidídimos en el peso testicular. Estudios realizados en otros roedores del género *Cavia*, como el de Cooper *et al.* (2000) en *C. aparea*, describen pesos de testículo derecho de 1.8 ± 0.1 g e izquierdo de 1.8 ± 0.1 g,

que son similares a los encontrados en *Cavia porcellus* en el presente trabajo. De otra parte, los testículos de los cuyes nativos tuvieron una densidad de $1.2 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$ sin encontrar diferencia significativa frente a los testículos de los animales mejorados ($1.1 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$).

El índice gonadosomático (IGS) calculado en cuyes nativos (0.006 ± 0.00001) fue 33.3% mayor ($p < 0.05$) que en los cuyes mejorados (0.004 ± 0.00001). Estos valores concuerdan con los establecidos en varios estudios y especies, en donde se indica que en animales más pequeños tienen proporcionalmente mayor peso testicular en comparación con animales de mayor masa corporal (Amezcuca *et al.*, 2009; Bernardi *et al.*, 2010). Varea (2014) menciona que en especies que producen varias crías por camada, el incremento de la masa testicular relativa al tamaño corporal es un indicador confiable del nivel de competencia espermática, fenómeno presente cuando las hembras pueden aparearse con varios machos. Esto explicaría el IGS mayor encontrado en cuyes nativos, considerando que el sistema de crianza tradicional se caracteriza por la conformación de colonias en donde coexisten varios machos y varias hembras en un solo ambiente.

No se encontraron diferencias significativas entre testículos derecho e izquierdo en animales del mismo grupo genético (Cuadro 2). Por el contrario, los testículos ipsilaterales (derecho) presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el peso, ancho, longitud y volumen, y los ipsilaterales (izquierdo) únicamente en ancho y longitud entre ambos grupos genéticos. Estas diferencias en las diferentes dimensiones morfológicas testiculares son consideradas normales en todas las especies de mamíferos, al ser órganos pares que muestran similitud, pero no igualdad (Cabral *et al.*, 2010; Ali Abdullahi *et al.*, 2012; Senna, 2016 ; Benavente *et al.*, 2018).

Cuadro 2. Medias y error estándar de medidas morfométricas de testículos izquierdo y derecho de cuyes (*Cavia porcellus*) nativos y mejorados del sur de Ecuador

	Grupo genético			
	Nativo		Mejorado	
	Derecho (n=19)	Izquierdo (n=21)	Derecho (n=19)	Izquierdo (n=20)
Peso (g)	1.7 ± 0.09 ^{a.A}	1.8 ± 0.09 ^{a.A}	2.1 ± 0.09 ^{a.B}	2.1 ± 0.09 ^{a.A}
Ancho (cm)	1.4 ± 0.03 ^{a.A}	1.5 ± 0.03 ^{a.A}	1.6 ± 0.03 ^{a.B}	1.6 ± 0.03 ^{a.B}
Longitud (cm)	1.8 ± 0.04 ^{a.A}	1.9 ± 0.04 ^{a.A}	2.1 ± 0.04 ^{a.B}	2.1 ± 0.04 ^{a.B}
Grosor (cm)	1.1 ± 0.04 ^{a.A}	1.1 ± 0.04 ^{a.A}	1.2 ± 0.04 ^{a.A}	1.1 ± 0.04 ^{a.A}
Volumen (cm ³)	1.6 ± 0.12 ^{a.A}	1.6 ± 0.12 ^{a.B}	2.0 ± 0.12 ^{a.B}	1.9 ± 0.11 ^{a.B}
Densidad (g/ cm ³)	1.1 ± 0.05 ^{a.A}	1.2 ± 0.04 ^{a.A}	1.1 ± 0.05 ^{a.A}	1.1 ± 0.04 ^{a.A}

Letras minúsculas diferentes en la misma fila para cada grupo genético difieren (p<0.05)

Letras mayúsculas diferentes en la misma fila para testículos ipsilaterales de grupo genético distinto difieren (p<0.05)

Cuadro 3. Medias y error estándar de las medidas morfométricas del espermatozoide de cuy nativo y mejorado del sur de Ecuador

Medidas morfométricas	Grupos genéticos	
	Nativo	Mejorado
Longitud acrosoma (µm)	3.94 ± 0.063 ^b	4.24 ± 0.058 ^a
Ancho cabeza (µm)	10.16 ± 0.093 ^a	10.17 ± 0.086 ^a
Longitud cabeza (µm)	12.07 ± 0.090 ^b	11.87 ± 0.084 ^a
Pieza intermedia (µm)	13.11 ± 0.152 ^a	13.13 ± 0.140 ^a
Longitud de cola (µm)	82.60 ± 0.366 ^a	82.76 ± 0.339 ^a
Relación longitud/ancho cabeza	1.19 ± 0.010 ^a	1.17 ± 0.001 ^b

Letras diferentes en la misma fila difieren estadísticamente (p<0.05)

En la morfometría del espermatozoide (Cuadro 3), los grupos en estudio mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la longitud del acrosoma, longitud de cabeza y relación longitud/ancho de cabeza, siendo similares las demás medidas morfométricas. Estos valores son similares a los descritos por Gallardo *et al.* (2002) y Loor (2015), en cuanto a la longitud de cola, longitud total y relación longitud/ancho de cabeza, difiriendo en las dimensiones de la cabeza, tanto en longitud como en ancho, que fueron menores a las encontradas en este estudio. De otra parte, Varea (2014), en su estudio de varias especies de roedores concluyó que, a medida que incrementa la competencia espermática las dimensiones espermáticas se modifican tanto en el flagelo como en la cabeza con reducción de su variabilidad, lo que pudiera ser el caso de los cuyes nativos quienes poseen cabezas más largas, posiblemente por la mayor competencia reproductiva a la que están expuestos en su sistema de crianza en colonias.

Llama la atención la mayor relación longitud/ancho de cabeza en los cuyes nativos, mucho más cuando se observa una longitud de cabeza mayor y acompañada de una longitud de acrosoma menor. Así, la longitud de acrosoma en los cuyes mejorados fue significativamente mayor ($p < 0.05$) frente al encontrado en cuyes nativos; sin embargo, esto no se reflejó en una mayor longitud de cabeza como podría esperarse. El acrosoma en los animales mejorados representó el 35% de la longitud total de cabeza frente al 32% en animales nativos. Fisiológicamente, se reconoce la relación positiva que tiene el riesgo de competencia espermática sobre el tamaño del espermatozoide (Anderson *et al.*, 2005; Tourmente *et al.*, 2011), de allí que Gómez *et al.* (2011) y Varea (2014) mencionan una relación positiva de la longitud de la cabeza y la competencia espermática en los roedores.

Se puede encontrar poblaciones heterogéneas de espermatozoides dentro de un mismo individuo, por lo que cabe esperar-

se sea mayor entre individuos, reconociéndose que la cabeza del espermatozoide es la que registra la mayor variación en dimensión y forma (Varea, 2014). Otro factor que debe considerarse es el método de tinción, ya que este incide de manera directa en la determinación de las dimensiones espermáticas, especialmente de la cabeza (Varea, 2014; Triana *et al.*, 2015).

CONCLUSIONES

- El peso corporal de los cuyes mejorados fue alrededor de 70% mayor que el de los nativos.
- El peso individual y de ambos testículos, así como el ancho, longitud, grosor y volumen testicular fueron mayores en los cuyes mejorados, pero el índice gonadosomático y la densidad testicular fueron mayores en los cuyes nativos.
- Los testículos derecho e izquierdo en ambos grupos genéticos presentaron características morfométricas similares, pero la comparación de testículos ipsilaterales entre grupos genéticos mostró que los mejorados tuvieron, en general, dimensiones mayores que los nativos.
- Los espermatozoides de ambos grupos genéticos tuvieron características morfométricas bastante parecidas, con una longitud del acrosoma mayor, pero con longitud de cabeza menor en los cuyes mejorados con respecto a los nativos.

Agradecimientos

A la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC), Cuenca, Ecuador 2016-2018 por el financiamiento y el apoyo para la realización del proyecto «Establecimiento de población base para la generación de una línea local y fortalecimiento de proceso biotecnológico reproductivo en cuyes criollos» (DIUC_XVI_2018_38_-ROSALES_CORNELIO).

LITERATURA CITADA

1. **Albers M, Barrios D. 2006.** Movilidad individual de los espermatozoides epididimarios de toros postmortem obtenidos mediante lavado retrógrado. *Zootec Trop* 24: 267-280.
2. **Ali Abdullahi I, Al-Hassan M, Jibril A. 2012.** Scrotal circumference and testicular morphometric characteristics of the camel (*Camelus Dromedarius*) in the semi-arid environment of Northern Nigeria. *Int J Morphol* 30: 1369-1372. doi: 10.4067/S0717-95022012000400019
3. **Aliaga L, Moncayo R, Rico E, Caycedo A. 2009.** Producción de cuyes. Lima, Perú: Fondo Editorial Universidad Católica. 327 p.
4. **Amezcuca C, Hernández M, Sanz A, Rivera K. 2009.** ¿La morfología peneana y el tamaño testicular influyen en el comportamiento sexual? *Scientia-cucba* 11: 1-9.
5. **Anderson M, Nyholt J, Dixson A. 2005.** Sperm competition and the evolution of sperm midpiece volume in mammals. *J Zool* 267: 135-142. doi: 10.1017/S0952836905007284
6. **Baleato S, García R, Santiago M, Vilanova S. 2017.** Valoración del volumen testicular mediante resonancia magnética. *Rev Int Androl* 15: 141-148. doi: 10.1016/j.androl.2016.10.005
7. **Benavente MF, Fresno MR, Delgado JV. 2018.** Relación entre el peso corporal y el volumen testicular en machos jóvenes de las tres razas caprinas canarias. *Actas Iberoam Conserv Anim* 12: 171-178.
8. **Bernardi S, Brogliatti G, Oyarzabal M. 2010.** Estructura testicular y calidad seminal en ratones seleccionados por peso. *Int J Morphol* 28: 673-680. doi: 10.4067/S0717-95022010000300004
9. **Cabral B, Rego de Paula T, Pinto da Matta S, Koch M, Araujo P. 2010.** Morphometry of testis and seminiferous tubules of the adult crab-eating fox (*Cerdocyon thous*, Linnaeus, 1766). *Revista Ceres* 57: 569-575. doi: 10.1590/S0034-737X2010000500001
10. **Caycedo A, Zamora A, Echeverry S, Enríquez R, Ortega E, Burgos M, Caycedo M. 2011.** Producción sostenible del cuy. Nariño, Colombia: Univ. de Nariño. 240 p.
11. **Cooper T, Weydert S, Yeung C, Künz C. 2000.** Maturation of epididymal spermatozoa in the nondomesticated guinea pigs *Cavia aperea* and *Galea musteloides*. *J Androl* 21: 154-163. doi: 10.1002/j.1939-4640.2000.tb03285.x
12. **Córdova A, Ruiz C, Campos V, Córdova M, Córdova C. 2011.** Biotecnologías de reproducción animal con posibilidad de aplicación para la optimizar el potencial reproductivo y productivo de los animales. Una revisión. *Rev Complutense Cienc Vet* 5: 1-10. doi: 10.5209/rev_RCCV.2011.v5.n2.36938
13. **[FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015.** The second report on the state of the world's animal genetic resources for food and agriculture. Rome: FAO. [Internet]. Available in: <http://www.fao.org/3/a-i4787e.pdf>
14. **[FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2019.** El estado de la biodiversidad para la alimentación y la agricultura en el mundo. Rome: FAO. [Internet]. Available in: <http://www.fao.org/3/CA3229ES/CA3229ES.pdf>
15. **Gallardo MH, Mondaca F, Ojeda RA, Kohler N, Garrido O. 2002.** Morphological diversity in the sperms of caviomorph rodents. *Mastozool Neotrop* 9: 159-170.
16. **Gómez L, Varea M, Tourmente M, Martín-Coello J, Luque-Larena JJ, Gomendio M, Roldan ER.** Sperm competition differentially affects swimming velocity and size of spermatozoa from closely related muroid rodents: head first. *Reproduction* 142: 819-830. doi: 10.1530/REP-11-0232

17. **Hayes BJ, Lewin HA, Goddard ME. 2013.** The future of livestock breeding: genomic selection for efficiency, reduced emissions intensity, and adaptation. *Trends Genet* 29: 206-214. doi: 10.1016/j.tig.2012.11.009
18. **Junaidi A, Martin G. 2013.** Calipers and ultrasonography for measurement of the volume and mass of testes in dogs. In: Annual International Conference on Advances in Veterinary Science Research. Singapore.
19. **Loor A. 2015.** Caracterización morfológica del espermatozoide del cobayo (*Cavia porcellus*) en el cantón Latacunga. Tesis de Médico Veterinario Zootecnista. Latacunga, Ecuador: Univ. Técnica de Cotopaxi. 69 p.
20. **Matz B. 2011.** Crossing, grading, and keeping pure: animal breeding and exchange around 1860. *Endeavour* 35: 7-15. doi: 10.1016/j.endeavour.2010.12001
21. **Meza E, Raymondi J, Cisneros S. 2017.** Evaluación genética de un plantel de cuyes reproductores de genotipo Perú. *Rev Inv Vet Perú* 28: 293-298. doi: 10.15381/rivep.v28i2.13067
22. **Notter D, Scherf B, Hoffmann I. 2013.** Breeding of animals. In: Levin S (ed). *Encyclopedia of Biodiversity*. 2nd ed. New York, USA: Elsevier. p 636-649.
23. **Posada S, Solarte C, Noguera R. 2015.** Efecto de la línea genética y el sexo sobre el crecimiento en cuyes (*Cavia porcellus*). *Livestock Res Rural Develop* 27(1). [Internet]. Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd27/1/posa-27001.htm>
24. **Rosales C, Ayala L, Aguilar Y, Dután J, Taboada J. 2017.** Niveles de testosterona total en cuyes (*Cavia porcellus*) extirpados las espículas peneanas, castrados químicamente y enteros y relación con tamaño testicular y vesícula seminal. *REDVET* 18(12). [Internet]. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n121217/121741.pdf>
25. **Senna L. 2016.** Estudo qualitativo e quantitativo do testículo de roedores histricomorfos e o efeito do Letrozol no testículo da paca (*Cuniculus paca*). Tese de Doutorado. Sao Paulo, Brasil: Univ de Sao Paulo. 94 p.
26. **Shiroma L, Chauca L, Muscari J. 2004.** Efecto de la castración con alcohol yodado sobre el crecimiento y rendimiento de la canal en cuyes (*Cavia porcellus*). En: XXVII Reunión de la Asociación Peruana de Producción Animal. Piura, Perú.
27. **Tammone M. 2016.** Pérdida de diversidad genética: implicaciones para la evolución y la conservación de dos especies de *Ctenomys* (Rodentia, Ctenomyidae) en Patagonia Norte. Tesis Doctoral. Bariloche, Argentina: Univ Nacional del Comahu. 139 p.
28. **Tourmente M, Gomendio M, Roldán E. 2011.** Sperm competition and the evolution of sperm design in mammals. *BMC Evol Biol* 54: 14-21. doi: 10.1111/rda.13552
29. **Triana I, López R, García M, Santana A, Fleites M, Sánchez P. 2015.** Caracterización morfométrica de espermatozoides en pacientes con espermograma normal (resultados preliminares). *Medicentro* 19: 225-232.
30. **Varea M. 2014.** Morfometría geométrica aplicada al estudio evolutivo de los espermatozoides y su relación con determinantes de la fertilidad en roedores. Tesis Doctoral. Madrid, España: Univ. Autónoma de Madrid. 198 p.
31. **Vargas A, Gutiérrez R, Mamani M. 2015.** Una Aplicación del muestreo de Gibbs en la estimación de parámetros genéticos en cuyes utilizando MCMC-glm. *Rev Inv Vet Perú* 26: 182-188. doi: 10.15381/rivep.v26i2.11095