

Evaluación del efecto de un suplemento mineral sobre la calidad seminal de cerdos reproductores

Evaluating the effect of a mineral supplement on the seminal quality of adult boars

Salazar Caraballo, Luis^{1*} Zoo, Pérez, Jeison² Zoo, Chamorro Morán, Jesús³ M.Sc, Patiño-Pardo, René¹ Dr.Sc, Carrillo-González, Diego¹ M.Sc.

¹Universidad de Sucre, Facultad De Ciencias Agropecuarias, Escuela de Zootecnia, Grupo de Investigación en Reproducción y Mejoramiento Genético Animal, km 7 margen izquierdo vía Sincelejo – Sampués

² PORCIGEN S.A.S

³SOMEX S.A

Keywords:

Swine;
reproduction;
semen;
zinc;
selenium

Abstract

It was evaluated the addition effect of different concentrations of a mineral supplement, on the seminal characteristics of boars. The essay was developed in Sincelejo municipality. The experiment consisted in three cycles of mineral supplementation, where was supplied 10, 20 and 30 g/day daily in every pig, per cycle. Every cycle had a duration of 55 days, obtaining 1 ejaculate/pig/week (10 ejaculates/cycle). The seminal collects where taken making use of the hand gloved method. After the collect where made, the semen was transported to the laboratory, where it was processed and realized its respective evaluation of seminal quality (macroscopic and microscopic variables). The results evidenced that seminal volume, spermatid motility (individual, progressive), spermatid morphology (tails) and spermatid vitality, showed probability values associated to a lineal effect ($P < 0,05$), related to an increase in the supplementation level. The spermatid motility (gross), spermatid morphology (normal) and spermatid concentration, showed probability values associated to a quadratic effect ($P < 0,05$) of supplementation level. On the other hand, spermatid morphology (heads, cytoplasmic droplets) weren't affected by the treatments ($P > 0,05$). Finally, it was evidenced an effect of the supplementation levels on seminal aspect, but neither pH nor seminal color ($P > 0,05$). It can be concluded that dietary micromineral supplementation favors some seminal variables such as volume and concentration, maintaining the others characteristics, within normal parameters.

Palabras Clave:

Porcinos;
reproducción;
semen;
zinc;
selenio

Resumen

Se evaluó el efecto de la adición de diferentes concentraciones de un suplemento mineral, sobre la calidad seminal en cerdos machos adultos usados para la reproducción. El ensayo se realizó en el municipio de Sincelejo. El experimento constó de tres ciclos de suplementación mineral, en donde se suministraron 10, 20 y 30 g/día en cada cerdo por ciclo. Cada ciclo duró 55 días, y se obtuvo 1 eyaculado/cerdo/semana (10 eyaculados/ciclo). Las colectas seminales fueron realizadas con el método de mano enguantada. Posterior a cada colecta, el semen fue transportado al laboratorio en donde se procesó y se realizó su respectiva evaluación de calidad espermática (variables macroscópicas y microscópicas). Los resultados evidenciaron que el volumen seminal, la motilidad espermática (individual, progresiva), la morfología espermática (colas) y la vitalidad espermática, mostraron valores de probabilidad asociados a un efecto lineal ($P < 0,05$) relacionado a un incremento en el nivel de suplementación. La motilidad espermática (masal), la morfología espermática (normales) y la concentración espermática, presentaron valores de probabilidad asociados a un efecto cuadrático ($P < 0,05$), del nivel de suplementación. Por otro lado, la morfología espermática (cabezas, colas citoplasmáticas) no fueron afectadas por los tratamientos evaluados ($P > 0,05$). Finalmente, se evidenció un efecto de los niveles de suplementación sobre el aspecto seminal ($P < 0,05$), pero no sobre el pH y color seminal ($P > 0,05$). Se puede concluir que la suplementación dietaria micromineral favorece algunas variables seminales tales como el volumen y la concentración, manteniendo las demás características, dentro de los parámetros normales.

INFORMACIÓN

Recibido: 14-10-2016;

Aceptado: 09-03-2017.

Correspondencia autor:

luisandressalazar@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

La inseminación artificial ha ayudado a mejorar el perfil genético porcino, de los países en vías de desarrollo (TECHAKUMPHU *et al.*, 2013). A pesar de lo anterior, los cerdos destinados a monta o aquellos cuyo semen es colectado para inseminación artificial, conforman sólo una pequeña parte de la población total porcina. Esto explica, en parte, la limitada cantidad de información sobre prácticas nutricionales en cerdos machos para reproducción (WILSON *et al.*, 2004). En consecuencia, en las granjas comerciales, el verraco es el animal que menos atención recibe, sin conocer o ponderar la importancia y el impacto que tendría en la producción, una baja en su rendimiento (VELÁSTEGUI y TINILLO, 2011); los verracos destinados a los centros de inseminación artificial (CIA), cubren un gran número de hembras. Cualquier problema que afecte a la actividad reproductiva, y que no se detecte con suficiente antelación, repercutirá negativamente tanto en la productividad del centro de inseminación artificial, como de la granja (DE ALBA, 2010).

La calidad del semen depende de diversos factores como la alimentación, época del año y la salud del verraco (TECHAKUMPHU *et al.*, 2013), siendo la alimentación, uno de los factores más críticos (LECHOWSKY, 2009). Los cerdos reproductores normalmente reciben alimento destinado a otras fases productivas, como por ejemplo gestación (RIOPÉREZ, 2000), es decir, que no es formulado específicamente para esta categoría animal, ni para contrarrestar el posible efecto de otros factores que puedan interferir en desempeño deseado; se cree que el alimento destinado para cerdas en gestación es suficiente para cubrir las necesidades energéticas, proteicas, y de aminoácidos esenciales y no esenciales, de los verracos (AUDET *et al.*, 2004). Sin embargo, la restricción de nutrientes impuesta a los cerdos reproductores es usualmente más severa que aquellas para cerdas gestantes y puede limitar la ingestión diaria de micronutrientes, como vitaminas y minerales, requeridos para un óptimo desempeño reproductivo (AUDET *et al.*, 2004). Las consecuencias de esto pueden verse reflejadas en alteraciones en la libido y en las características de los eyaculados, en los que se observa menor volumen, disminución de la movilidad y aumento de las anomalías espermáticas que reducen su fertilidad (MARIN-GUZMAN *et al.*, 1997); una dieta cuantitativa o cualitativamente deficiente más un elevado número de extracciones seminales o montas, puede derivar en una disminución de la producción y calidad seminal, así como un descenso de la libido del animal (VELÁSTEGUI y TINILLO, 2011). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la adición de diferentes concentraciones de suplemento mineral, sobre la calidad seminal de cerdos machos adultos usados para la reproducción.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en las instalaciones de la empresa PORCIGEN S.A.S., ubicada en el corregimiento Sierra Flor, municipio de Sincelejo, departamento Sucre. fueron seleccionados dos animales con una edad media de 2,5 años de las razas: Landrace, de origen belga, y Duroc, con un peso promedio de 257 kg. Dentro de los criterios de inclusión se consideraron usar animales en edad adulta, sanos a la evaluación médica, normales a la evaluación andrológica y con características seminales normales. El suplemento dietario mineral usado para el experimento estaba compuesto por una mezcla de fuentes conteniendo Se, Zn, Cu, Mn, Fe, vehiculizado con mogolla de trigo como incipiente, proveído por la empresa SOMEX S.A., la cual no manifestó las concentraciones de cada uno de los minerales del que estaba compuesto.

Tratamientos y manejo alimenticio. Los tratamientos consistieron en cuatro niveles de oferta del suplemento mineral por animal (0, 10, 20 y 30 g/día por animal), los cuales se suministraron en tres ciclos de suplementación, con duración de 55 días cada uno. Se obtuvo 1 eyaculado/cerdo/semana (10 eyaculados/ciclo). El suplemento se ofreció adicional al alimento balanceado comercial, de la casa comercial SOLLA®, y denominado como "Cría Cerdos Lactancia". El balanceado era de presentación peletizada y cuya composición nutricional, proveída por la misma casa comercial, era la siguiente: proteína (mínimo) 16 %; grasa (mínimo) 5 %; fibra (mínimo) 8 %; cenizas (máximo) 9%, humedad (máximo) 13 %. El balanceado era suministrado diariamente a razón de 2,5 kg/día/animal. Los animales tuvieron consumo de agua a voluntad.

Las colectas se hicieron aplicando el método de la mano enguantada (CISNEROS, 2011). Inmediatamente después de la colecta, el semen fue llevado al laboratorio. La evaluación del efecto de la suplementación sobre la calidad seminal, se realizó después de 40 días de iniciado cada ciclo de suplementación. La valoración de las características seminales se hizo a partir de 40 colectas obtenidas durante un periodo total de análisis de 205 días, incluyendo los días de no colecta.

Variables macroscópicas

Volumen, pH, color y aspecto seminal. El volumen se evaluó pesando el eyaculado y considerando 1 g igual a 1 ml (LÓPEZ, 2012). El pH, color y aspecto seminal se visualizaron directamente. El color se clasificó en Blanco-grisáceo, Blanco y Blanco-translúcido (FRUNZÁ *et al.*, 2008; GARCÍA *et al.*, 2012). El aspecto, se clasificó en lechoso opaco, lechoso cremoso, opalescente y acuoso (GALO y UCLÉS, 2003). El pH, se evaluó con ayuda del papel indicador universal.

VARIABLES MICROSCÓPICAS

Motilidad espermática [masal (1 – 5), individual (%) y progresiva (%)]. Se colocó una gota de eyaculado fresco en la placa de portaobjetos, previamente calentado en una platina térmica, a temperatura de 37°C. Inmediatamente se le puso un cubreobjetos, también atemperado a 37°, y luego se efectuaron las observaciones al microscopio con el objetivo 10x (masal), 40x (individual y progresiva). La calidad de movimientos se calificó, subjetivamente, en una escala de 1 a 5 para masal (GÓMEZ y MIGLIORISI, 2007; KUBUS, 2010) y de 0 a 100% para la motilidad individual (ERAZO, 2007) y progresiva (AGÜERO, 2012).

Morfología espermática (%). Sobre un portaobjetos previamente calentado a 37°C en una platina térmica, se colocó una gota de semen y, sobre esta, una gota de solución de eosina – nigrosina previamente calentada a 37°C para evitar el choque térmico. Luego de 1 minuto se realizó el frotis. Se observó, al cabo de 2 minutos con aumento 40x, en el microscopio. Para evaluar la morfología, se contaron 100 células y se clasificaron como normales aquellos que no se tiñen y tuvieron una conformación normal. Las anormales se caracterizaron con anomalías de: cabeza, cola y gota citoplasmática (ROZEBOOM, 2000).

Concentración espermática ($\times 10^7$ espermatozoides/ml). Se determinó utilizando la cámara de Bürker. Para lo cual, se hizo una dilución a un factor 1:100, en solución salina espermicida (3% de formaldehído). Posteriormente se llenaron los túneles de la cámara de Bürker y se observó al microscopio con objetivo de 40x, siguiendo las pautas de KUBUS (2010), para el conteo de los espermatozoides.

Vitalidad espermática (%). Se hizo una preparación de la muestra de forma similar que en morfología. Para medir la vitalidad, se contaron 100 células, se valoraron visualmente

y se clasificaron en porcentaje de células viables (no se tiñen) y no viables (se tiñen), siguiendo las pautas de AGÜERO (2012).

Diseño experimental y análisis de los datos. Los datos correspondientes a las variables volumen seminal, motilidad espermática, morfología espermática, concentración espermática y vitalidad espermática, fueron analizados aplicando la herramienta Modelo Lineal General (GLM) Univariado del paquete estadístico IBM SPSS 23. En el modelo estadístico aplicado para el ANOVA, el efecto del factor tratamiento (nivel de suplementación) se consideró como de efecto fijo, y el factor animal (cada reproductor) como de efecto aleatorio, de modo que se estudiara la posible interacción entre ambos factores. Los grados de libertad (tres) correspondientes al factor tratamiento se dividieron en los contrastes polinomiales lineal, cuadrático y cúbico, asignando un grado de libertad para cada uno. Las diferentes colectas se consideraron como repeticiones. Adicionalmente, se elaboró un análisis de regresión lineal, para todas las variables paramétricas, priorizando aquellas donde el efecto del tratamiento y del contraste polinomial fue significativo.

Para las variables pH, color y aspecto, se realizó un análisis de tablas de contingencia, aplicando la prueba de coeficiente de contingencia de Pearson, al 5 % de significancia, usando el paquete estadístico IBM SPSS 23.

RESULTADOS

VARIABLES MACROSCÓPICAS. El volumen seminal mostró diferencias significativas ($P < 0,05$) con respecto al nivel de suplementación (Tabla 1) (Figura 1). El aspecto mostró variaciones de acuerdo a la oferta de suplemento ($P < 0,05$). En cada nivel de suplementación se observaron frecuencias diferentes en relación a los tipos de aspecto estudiados. En el semen de los

Tabla 1. Medias de tratamientos y valores de significación del contraste polinomial, de variables referentes a las características seminales de cerdos reproductores, recibiendo diferentes niveles de suplementación mineral

Parámetro	Tratamientos (g/día)				Valores de P			Error estándar
	Contraste polinomial				L	Q	C	
	0	10	20	30				
Volumen (ml)	139,5	163,4	178,5	234,0	<0,001	0,069	0,199	8,40
Motilidad								
Motilidad Masal (1 – 5)	4,0	4,7	5,0	5,0	<0,001	<0,001	0,079	0,08
Motilidad Individual (%)	75,5	79,0	85,5	88,0	<0,001	0,793	0,413	1,89
Motilidad Progresiva (%)	71,0	75,5	84,0	88,0	<0,001	0,911	0,400	2,23
Morfología (%)								
Morfología – Normales	85,2	89,1	92,7	90,7	0,001	0,028	0,360	1,28
Morfología – Cabezas	2,7	3,3	3,2	4,5	0,142	0,659	0,555	0,55
Morfología – Colas	10,9	7,9	3,7	4,6	<0,001	0,116	0,251	1,21
Morfología – Gotas Citoplasmáticas	0,1	0,2	0,3	0,5	0,082	0,760	0,891	0,16
Concentración (%)	27,8	44,1	52,8	54,2	<0,001	0,046	0,985	3,59
Vitalidad (%)	84,7	85,7	90,8	90,0	<0,001	0,431	0,056	1,13

L = Factor de probabilidad asociado a un efecto lineal, de nivel de suplementación dietaria; Q = Factor de probabilidad asociado a un efecto cuadrático, de nivel de suplementación dietaria; C = Factor de probabilidad asociado a un efecto cúbico, de nivel de suplementación dietaria

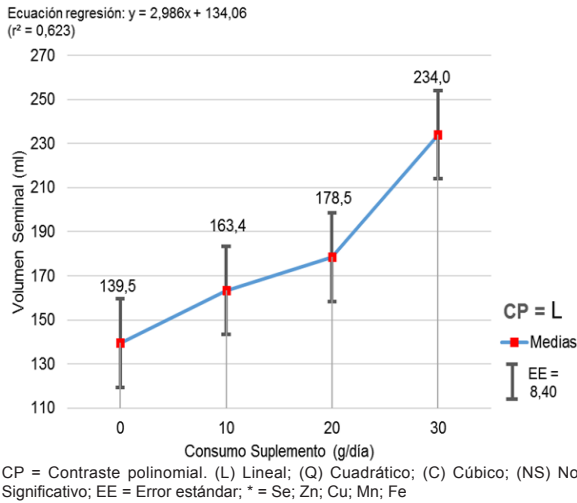


Figura 1. Efecto de la adición de diferentes concentraciones de suplemento mineral* sobre el volumen seminal, en cerdos reproductores.

animales no suplementados predominó el aspecto opalescente, el aspecto lechoso – cremoso predominó en los niveles 10 y 20 g/día, y el aspecto lechoso – opaco se apreció en todos los eyaculados procedentes de animales suplementados con 30 g/día (Figura 2).

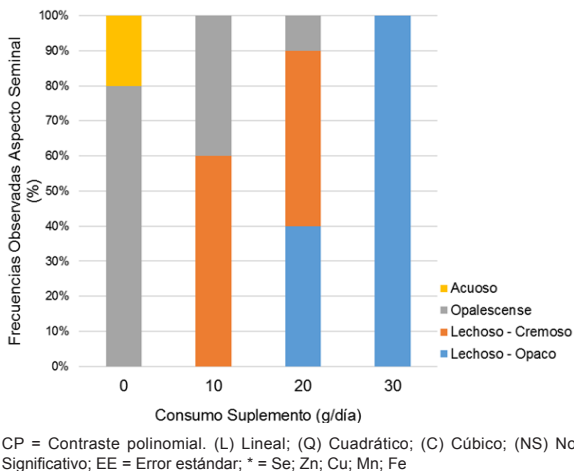
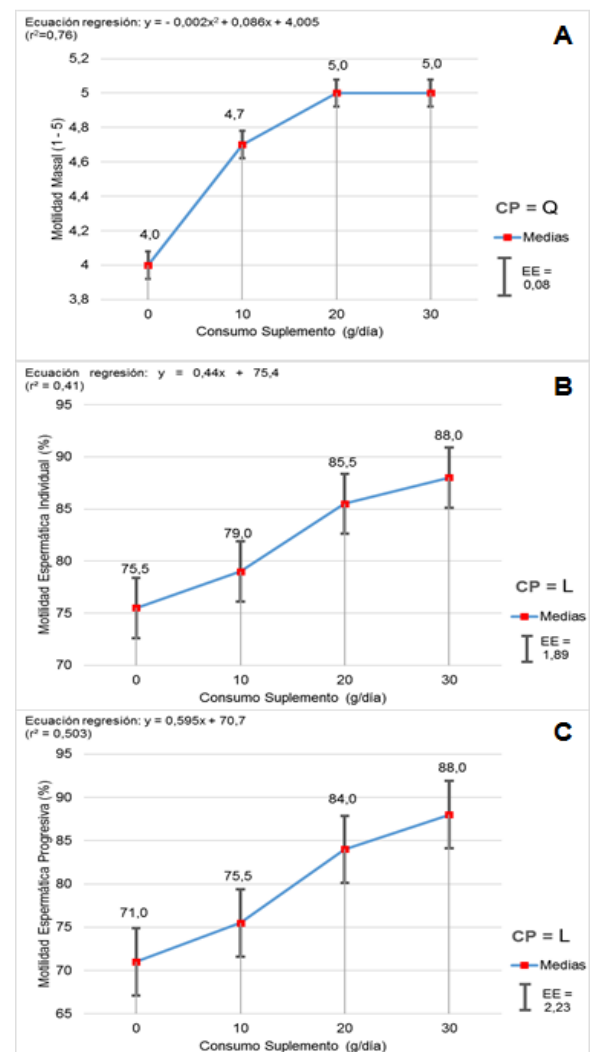


Figura 2. Efecto de la adición de diferentes concentraciones de suplemento mineral* sobre el aspecto seminal, en cerdos reproductores.

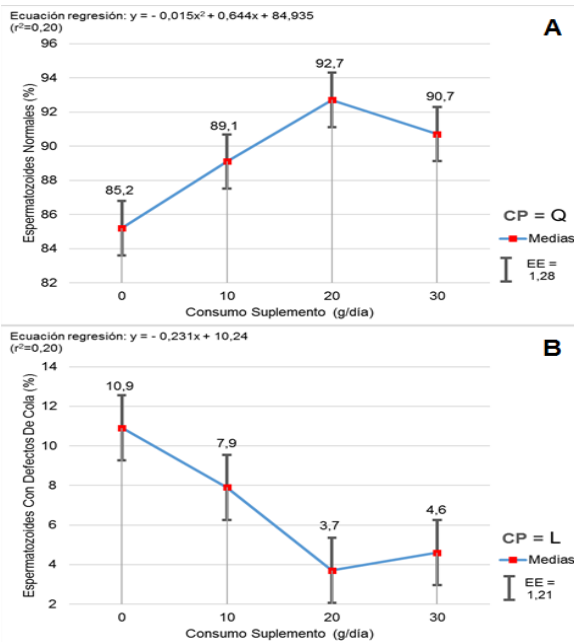
Las variables color y pH no tuvieron diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0,05$). En todo el período experimental, se visualizaron una gama de colores *sui-generis*. El color predominante fue “Blanco – grisáceo”. El pH se mantuvo en una constante de 8.

Variables microscópicas. La motilidad espermática [individual (B), progresiva (C)] (Figura 3) (Tabla 1), la morfología espermática [colas (B)] (Figura 4) (Tabla 1) y la vitalidad espermática (Figura 6) (Tabla 1), mostraron valores de probabilidad asociados a un efecto lineal ($P < 0,05$) relacionado a un incremento en el nivel de suplementación. La motilidad espermática [masal (A)] (Figura 3) (Tabla 1), la morfología espermática [normales (A)] (Figura 4) (Tabla 1) y la concentración espermática (Figura 5) (Tabla 1) presentaron valores de probabilidad asociados a un efecto cuadrático ($P < 0,05$), del nivel de suplementación.



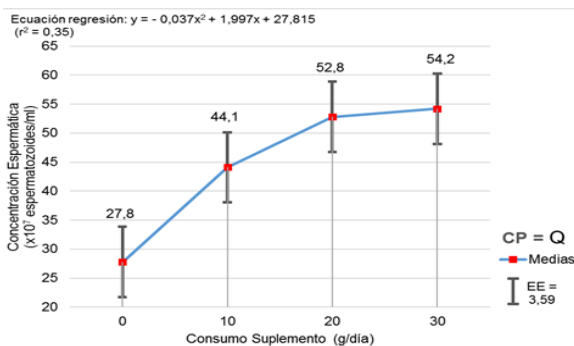
CP = Contraste polinomial. (L) Lineal; (Q) Cuadrático; (C) Cúbico; (NS) No Significativo; EE = Error estándar

Figura 3. Efecto de la adición de diferentes concentraciones de suplemento mineral* sobre la motilidad espermática, en cerdos reproductores. A = Motilidad Masal; B = Motilidad Individual; C = Motilidad Progresiva.



CP = Contraste polinomial. (L) Lineal; (Q) Cuadrático; (C) Cúbico; (NS) No Significativo; EE = Error estándar; * = Se; Zn; Cu; Mn; Fe

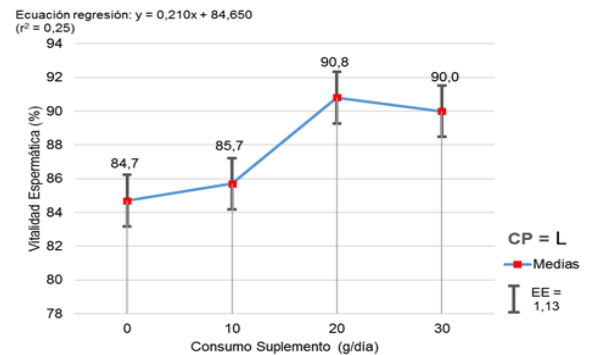
Figura 4. Efecto de la adición de diferentes concentraciones de suplemento mineral* sobre la morfología espermática, en cerdos reproductores. A = Espermatozoides Normales (%); B=Espermatozoides Con Defectos De Cola (%).



CP = Contraste polinomial. (L) Lineal; (Q) Cuadrático; (C) Cúbico; (NS) No Significativo; EE = Error estándar; * = Se; Zn; Cu; Mn; Fe

Figura 5. Efecto de la adición de diferentes concentraciones de suplemento mineral* sobre la concentración espermática, en cerdos reproductores.

Las variables morfología espermática (espermatozoides con defectos de cabeza y espermatozoides con defectos de gota citoplasmática) no presentaron diferencias significativas, con respecto al nivel de suplementación ($P>0,05$) (Tabla 1).



CP = Contraste polinomial. (L) Lineal; (Q) Cuadrático; (C) Cúbico; (NS) No Significativo; EE = Error estándar; * = Se; Zn; Cu; Mn; Fe

Figura 6. Efecto de la adición de diferentes concentraciones de suplemento mineral* sobre la vitalidad espermática, en cerdos reproductores.

DISCUSIÓN

El impacto del suplemento mineral, en este estudio, fue analizado y comparado con respecto a dos de sus componentes que, según la teoría, son los de mucha importancia en el aspecto reproductivo de los cerdos: zinc y selenio (CHEAH & YANG, 2011).

Variables macroscópicas

Volumen seminal. Estudios llevados a cabo por diversos autores, con selenio como componente mineral primario de la mezcla alimenticia, en la especie porcina, muestran mejoras significativas en el volumen seminal (MARIN-GUZMAN *et al.*, 1997). Otros autores exponen, de igual forma, mejoras significativas en este parámetro, con mezclas alimenticias, cuyo componente mineral primario es el zinc (HORKÝ *et al.*, 2011).

El zinc puede afectar el funcionamiento del eje hipotálamo – hipófisis, al modular las secreciones de FSH y LH (KOCHMAN *et al.*, 1992), y también de los testículos, en dónde se ha demostrado que deficiencias de zinc pueden alterar la espermatogénesis y la producción de testosterona (LEI *et al.*, 1976). El zinc es un modulador del funcionamiento de la enzima 5 alfa reductasa, que es necesaria para la conversión de testosterona en su forma biológica activa denominada alfa dihidrotestosterona (DHT) (ROY *et al.*, 2013). Además, el zinc es un estimulador de la función prostática en varias especies (KUMAR *et al.*, 2014). Entonces, un aumento en el volumen seminal debido a una dieta suplementada con zinc, puede ser atribuido al efecto trófico del zinc y otros microminerales sobre el hipotálamo (KOCHMAN *et al.*, 1992), la secreción de testosterona (LEI *et al.*, 1976), las glándulas accesorias,

y al incremento de la actividad secretoria de las células prostáticas, ya que 50 a 75% (BONET *et al.*, 2013) del volumen total de semen, proviene de estas células.

Aspecto seminal. Un cambio en el aspecto o apariencia seminal, puede ser favorecido por el zinc y el selenio, ya que ambos pueden tener un efecto trófico sobre el aparato reproductor, al modular las concentraciones FSH, LH (KOCHMAN *et al.*, 1992) y la actividad de la enzima 5 alfa reductasa (ROY *et al.*, 2013) en el organismo. Estas hormonas y enzima, a su vez, modulan las concentraciones de testosterona y dihidrotestosterona, afectando, posiblemente, la actividad secretoria y el funcionamiento de las células de las glándulas accesorias que, al ser andrógeno – dependientes (HAFEZ & CUNNINGHAM, 1980), se ven influenciadas por los niveles circundantes de testosterona y dihidrotestosterona. Además, como se ha mencionado, se da por hecho que el zinc y el selenio influyen sobre la replicación de las células espermáticas y, por tanto, en la concentración del eyaculado (CHEN, 2008). Esto podría coadyuvar, también, a los cambios en el aspecto seminal (AGÜERO, 2012). Este escenario, entonces, provee una explicación parcial para la variación presentada, en este estudio, en el aspecto seminal.

Variables microscópicas

Motilidad espermática. Investigaciones similares, llevadas a cabo por MARIN-GUZMAN *et al.* (1997) y TAREQ *et al.* (2010), demostraron resultados similares a los expuestos en este trabajo.

Un aumento en la motilidad espermática, podría darse debido a que el selenio es uno de los cofactores de la enzima glutatión peroxidasa (GSH-Px). Esta enzima es un poderoso antioxidante que protege a las células espermáticas del daño causado por las Especies Reactivas De Oxígeno (ROS) (TAREQ *et al.*, 2010). Por otro lado, un estudio hecho por MARIN-GUZMAN *et al.* (2000), demostraron que los cerdos con dietas bajas en selenio producían células espermáticas con baja concentración de ATP, con alteraciones en la forma de las mitocondrias de la cola y brechas entre la membrana plasmática y la cola, lo que compromete el correcto funcionamiento motriz de la célula espermática. Cabe resaltar, también, que se ha descubierto que existen altas concentraciones de zinc en la cola del esperma maduro, por lo que se infiere que este mineral, también, está implicado en la utilización y control de energía por medio del ATP (SHANMUGAM *et al.*, 2015); aunque los mecanismos moleculares no están demostrados científicamente, se ha probado de que el zinc extracelular ejerce influencia sobre las mitocondrias de las células y, dentro de éstas, sobre algunas enzimas implicadas en la cadena generadora

de energía (m-aconitasa, NADP+), limitando el uso de la energía por la vía de los ácidos tricarbóxicos (LEMIRE *et al.*, 2008).

Morfología espermática. Otros investigadores también encontraron mejoras en los distintos parámetros morfológicos: KOLODZIEJ & JACYNO (2004); MARIN-GUZMAN *et al.* (1997); JACYNO *et al.* (2002). Estos le atribuyen tal mejoría, al poder antioxidante del GSH-Px y su eficaz protección frente al daño producido por agentes externo como las ROS. La GSH-Px es una enzima que se encarga de eliminar residuos del metabolismo celular (AHSAN *et al.*, 2014). El exceso de ROS, frecuentemente, conlleva a errores en la espermatogénesis que resultan en la liberación prematura del espermatozoide del epitelio germinal y exhibiendo anomalías estructurales (BANSAL & BILASPURI, 2010). Además de lo anterior, aunque la GSH-Px está presente per se en el eyaculado, hay evidencia que sugiere que la suplementación con selenio, incrementa su actividad (MARIN-GUZMAN *et al.*, 1997). Por otro lado, es sugerido que el zinc y el selenio tienen un gran impacto en la integridad morfológica del esperma (CHEAH & YANG, 2011), debido que son dispuestos como componentes estructurales de la célula espermática (BEHNE *et al.*, 1988) y, por tanto, deficiencias de este mineral, pueden causar defectos de pieza media (AHSAN *et al.*, 2014), cola y cabeza (MERRELS *et al.*, 2009).

Concentración espermática. Autores que experimentaron con selenio como componente mineral primario en una dieta, obtuvieron resultados estadísticamente significativos en esta variable: KOLODZIEJ & JACYNO (2004); LÓPEZ (2012); MARIN-GUZMAN *et al.* (1997). Sin embargo, no explican el mecanismo por el cual pudo suceder. Investigaciones llevadas a cabo con zinc, también mostraron aumento en concentración seminal, en la especie porcina: HORKÝ *et al.* (2011).

Se ha constatado que machos alimentados con cantidades insuficientes de zinc (KUMAR *et al.*, 2006) o selenio (RANAWAT & BANSAL, 2010), tienden a tener una baja concentración espermática y también de FSH, LH y testosterona en su organismo.

Las células de Sertoli (OLIVEIRA & ALVES, 2015) y las glándulas accesorias son órganos andrógeno – dependientes (HAFEZ & CUNNINGHAM, 1980) y sus funciones vienen influidas por los niveles circundantes de FSH, testosterona y dihidrotestosterona. La producción de estas hormonas andrógenas, a su vez, depende de los estímulos gonadotrópicos (FSH, LH) en las células de Sertoli y Leydig.

La testosterona, al igual que la FSH, juega un papel importante en la diferenciación de las células germinales de los testículos; debido a que las células de Sertoli son las únicas, dentro de los túbulos seminíferos, que poseen receptores de andrógenos, son estas las que median las funciones de señalización de la testosterona (CHEN, 2008). En ausencia de testosterona, la espermatogénesis no progresa más allá de la meiosis debido a: I) la integridad de la barrera hematotesticular es comprometida, lo que causa exposición de las células germinales postmeióticas que estaban en un medio propicio para su desarrollo, a ataque autoinmune, II) No hay conversión de espermátidas a espermátidas alargadas debido a defectos en la adhesión entre estas y las células de Sertoli y III) los espermatozoides maduros no pueden ser liberados de las células de Sertoli y, entonces, son fagocitados por estas últimas (WALKER, 2011).

Aunque el mecanismo preciso por el cual los andrógenos controlan la expresión genética, no ha sido dilucidado (MATUSIK *et al.*, 1986), se da por hecho que la inadecuada ingestión de microminerales como el zinc y el selenio, puede tener profundos efectos sobre la fisiología animal. Tales efectos pueden desencadenar, en caso de ingestión deficiente, una poca o nula síntesis de andrógenos, expresión génica y baja replicación celular (AHSAN *et al.* 2014; ROY *et al.*, 2013).

Vitalidad espermática. Este estudio mostró mejoras significativas en esta variable asociadas a una suplementación creciente y con efecto lineal ($p < 0,05$). Otros autores, igualmente, obtuvieron mejoras en la especie porcina: JACYNO *et al.* (2002); TAREQ *et al.* (2010); KOLODZIEJ & JACYNO (2004). Estos autores exponen que, posiblemente, la mejora pudo deberse al aumento del poder antioxidante del organismo del animal, proveída por el selenio o el zinc.

Una mejora en la vitalidad del espermatozoide puede ser debida a la acción estabilizadora que ejerce el zinc sobre la membrana plasmática del espermatozoide, al prevenir la fuga de enzimas, proteínas y otros componentes vitales del espermatozoide. Este mineral, estabiliza ribosomas, lisosomas, AND, ARN, lo cual ayuda en la supervivencia y el funcionamiento normal del espermatozoide (KUMAR *et al.*, 2006); la integridad de la membrana espermática es importante para el metabolismo de la célula espermática.

Conclusiones

La ingesta de diferentes concentraciones de suplemento dietario de tipo micromineral, como complemento a la dieta base usada en los cerdos machos reproductores, mejoró sustancialmente el volumen, la motilidad, la morfología, la concentración y la vitalidad seminal, sin detrimento de otros parámetros relacionados con la calidad del eyaculado como, por ejemplo, pH, color y aspecto.

REFERENCIAS

- AGÜERO, G. 2012. *Evaluación De las Características Seminales De Sementales Bovinos Mediante el Analizador Seminal Computarizado (CASA)*. Universidad Central De Venezuela.
- AHSAN, U.; KAMRAN, Z.; SHMAD, S.; BABA, W.; RIZA, W.; IQBAL, Z. 2014. *Role Of Selenium In Animal Reproduction – A Review*. *Animal Reproduction Science* 146(1): 55-62.
- AUDET, I.; LANFOREST, J.-P.; MARTINEAU, G.P.; MATTE, J.J. 2004. *Effect Of Vitamin Supplements On Some Aspects Of Performance, Vitamin Status, And Semen Quality In Boars*. *Journal Of Animal Science* 82: 626-633.
- BANSAL, A.; BILASPURI, G. 2010. *Impacts Of Oxidative Stress And Antioxidants On Semen Functions*. *Veterinary Medicine International* 2011: 1-7.
- BEHNE, D.; GEBNER, H.; WOLSTERS, G.; BROTHERTON, J. 1988. *Selenium, Rubidium And Zinc In Human Semen And Semen Fractions*. *International Journal Of Andrology* 11(5): 415-423.
- BONET, S.; GARCÍA, E.; SEPÚLVEDA, L. 2013. *The Boar Reproductive System*. Págs. 65-107 en: BONET, S.; CASAS, I.; HOLT, W.; YESTE, M. (eds), *Boar Reproduction. Fundamentals And New Biological Trends*. Ed. Springer. Libro en Formato Electrónico.
- CHEAH, Y.; YANG, W. 2011. *Functions Of Essential Nutrition For High Quality Spermatogenesis*. *Advances In Bioscience And Biotechnology* 2: 182-197.

- CHEN, L. 2008. *Testosterone Regulation Of The Spermatogonial Stem Cell Niche In Mice*. Doctoral Dissertation. Washington State University. USA.
- CISNEROS, J. 2011. *Desarrollo De Un Método Para La Determinación Rápida De La Concentración Espermática De Eyaculados De Bovino, Ovino y Cerdo*. Tesis De Pregrado. Universidad Veracruzana. México.
- DE ALBA ROMERO, C. 2010. *Protocolo Práctico Para La Valoración De Verracos Destinados A La Producción De Dosis Seminales*. Avances Tecnología Porcina 7 (5). 34 – 39.
- ERAZO, E. 2007. *Efecto De La Criopreservación Sobre Las Características Microscópicas Del Espermatozoide Porcino*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras.
- FRUNZĂ, I.; CERNESCU, H.; KORODOI G. 2008. *Physical And Chemical Parameters Of Boar Sperm*. *Lucrări Stiințifice Medicină Veterinară* 41: 631-640.
- GALO, H.; UCLÉS, D. 2003. *Congelación De Semen De Cerdo Y Evaluación De La Calidad Biológica Pos Descongelado*.
- GARCÍA, M.; FELICES, A. & POVEDANO, M. 2012. *Manual De Laboratorio Para El Análisis Del Semen*. OmniaScience.
- GÓMEZ, V.; MIGLIORISI, L. 2007. *Protocolo Para La Evaluación De Semen En Rumiantes*. Universidad Nacional De La Plata. Argentina.
- HAFEZ E.; CUNNINGHAM, G. 1980. *Regulatory Physiology Of Male Accessory Organs*. Págs: 35-38 en: Cunningham, G.; Schill, W.; Hafez (eds), *Clinics In Andrology*. Fifth Edition. Ed. Martinus Nijhoff Publishers. The Netherlands.
- HORKÝ, P.; JANČÍKOVÁ, P.; ZEMAN, L. 2011. *The Influence Of The Organic And Inorganic Form Of Zinc On Volume Ejaculate, Sperm, Concentration And Percentage Of Pathologic Sperm*. *Research In Pigs Breeding* (1) 5: 22-27.
- JACYNO, E.; KAWECKA, M. & KAMYCZEK, M. 2002. *Influence Of Organic Se + Vitamin E And Organic Se + Vitamin E On Reproductive Performance Of Young Boars*. *Agricultural And Food Science In Finland* 11(3): 175-174.
- KOCHMAN, K., GAJEWSKA, A.; KOLOWSKI, H.; MASIUKIEWICZ, E. & RSESZOTARSKA, B. 1992. *Increased LH And FSH Release From The Anterior Pituitary Of Ovariectomized Rat, In Vivo, By Copper-, Nickel-, And Zinc-LHRH Complexes*. *Journal Of Inorganic Biochemistry* 48(1992): 41-46.
- KOŁODZIEJ, A.; JACYNO, E. 2004. *Effect Of Dietary Selenium And Vitamin E Supplementation On Reproductive Performance Of Young Boars*. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Animal Husbandry* 7(1).
- KUBUS.2010. *Inseminación Artificial Porcina*. Las Rozas- Madrid.
- KUMAR, N.; VERMA, R.; SINGH, L.; VARSHNEY, P.; DASS, R. 2006. *Effect Of Different Levels And Sources Of Zinc Supplementation On Quantitative And Qualitative Semen Attributes And Serum Testosterone Level In Crossbred Cattle (Bos IndicusxBos Taurus) Bulls*. *Reproduction Nutrition Development* 46 (2006): 662-675.
- KUMAR, P.; YADAV, B.; YADAV, S. 2014. *Effect Of Zinc And Selenium Supplementation On Semen Quality Of Barbari Bucks*. *Indian Journal Of Animal Research* 48 (4): 366-369.
- LECHOWSKY, J. 2009. *Effect Of Vitamin C On Semen Quality Of Duroc Breed Boars And Their Crossbreds With Hampshire And Pietrain*. *ANNALES* 27 (2): 12-18.
- LEI, K.; ABBASI, A.; PRASAD, A. 1976. *Function Of Pituitary-Gonadal Axis In Zinc Deficient Rats*. *American Journal Of Physiology* 230(6): 1730-1732.
- LÓPEZ, A. 2012. *Fresh Boar Semen: Quality Control And Production*. Universiteit Gent. Holanda.
- MARIN-GUZMAN, J.; MAHAN, D.; CHUNG, Y; PATE, L.; POPE, W. 1997. *Effects Of Dietary Selenium And Vitamin E On Boars Performance And Tissue Responses, Semen Quality And Subsequent Fertilization Rates In Mature Gilts*. *Journal Of Animal Science* 75: 2994-3003.

- MARIN-GUZMAN, J.; MAHAN, D.; WHITMOYER, R. 2000. *Effect Of Dietary Selenium And Vitamin E on The Ultrastructure And ATP Concentration Of Boar Spermatozoa, And The Efficacy Of Added Sodium Selenite In Extended Semen On Sperm Motility*. Journal Animal Science 78: 1544-1550.
- MATUSIK, R.; KREIS, C.; MCNICOL, P.; SWEETLAND, R.; MULLIN, C.; FLEMING, W. & DODD, J. 1986. *Regulation Of Prostatic Genes: Role Of Androgens And Zinc In Gene Expression*. Biochemistry and Cell Biology 64(6), 601-607.
- MERRELS, K.; BLEWETT, H.; JAMIESON, J.; TAYLOR, C.; SUH, M. 2009. *Relationship Between Abnormal Sperm Morphology Induced By Dietary Zinc Deficiency And Lipid Composition In Testes Of Growing Rats*. British Journal Of Nutrition 102(02): 226-232.
- OLIVEIRA, P.; ALVES, M. 2015. *Sertoli Cell Metabolism And Spermatogenesis*. Ed. Springer. Switzerland. Libro en formato electrónico.
- RANAWAT, P.; BANSAL, M. 2010. *Modulatory effects Of Selenium On Spermatogenesis: Involvement of transcription factors CREB and CREM*. American Journal Of Biomedical Sciences 2(24): 329-341.
- RIOPÉREZ, J. 2000. *Influencia del estrés del verraco en la gestión*. Mundo Ganadero, 11(119), 30-35.
- ROY, B.; BAGHEL, R.; MOHANTY, T.; MONDAL, G. 2013. *Zinc And Male Reproduction In Domestic Animals: A review*. Indian Journal Animal Nutrition 30(4): 339-350.
- ROZEBOOM, K. 2000. *Evaluating boar semen quality*. Animal Science Facts. Extension Swine Husbandry. College of Agriculture & Life Sciences. North Carolina State University.
- SHANMUGAM, M.; PRAKASH, B.; KUMAR, E.; PANDA, K. 2015. *Dietary Organic Zinc And Selenium supplementation Improves Semen Quality And Fertility In Layer Breeders*. Indian Journal Of Animal Sciences 85 (2): 202-204.
- TAREQ, K.; SHARMIN, Q.; TAKAGI, Y.; HAMANO, K.; SAWADA, T.; TSUJII, H. 2010. *Effect Of Selenium And Vitamin E On Acrosome Reaction In Porcine Spermatozoa*. Reproductive Medicine And Biology 9: 73-81.
- TECHAKUMPHU, M.; BURANAAMNUAY, K.; TANTASUPARUK W.; AM-IN N. 2013. *Improvement Of Semen Quality By Feed Supplement And Semen Cryopreservation In Swine*. Thailand University.
- VELÁSTEGUI, M.; TINILLO, D. 2011. *Evaluación Espermática En Verracos Reproductores Mediante La Utilización De Suplementos: Ácidos omega 3 – 6 Con selenio Orgánico y Probióticos con vitamina E; En La Finca “La Joya”, Parroquia Belisario Quevedo, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi*. Universidad Técnica De Cotopaxi. Latacunga-Ecuador.
- WALKER, W. 2011. *Testosterone Signaling And The Regulation Of Spermatogenesis*. Spermatogenesis 1(2): 116-120.
- WILSON, M.; ROZEBOOM, K.; CRENSHAW, T. 2004. *Boar Nutrition For Optimun Sperm Production*. Advances In Pork Production 15: 295-306.