

## Efecto de la suplementación de selenio sobre el rendimiento productivo en cerdos: metaanálisis

### Effect of selenium supplementation on productive performance in pigs: meta-analysis

Jimmy Quisirumbay-Gaibor<sup>1,2,3</sup>, Diego Martínez Patiño-Patroni<sup>2</sup>,  
Carlos Vílchez Perales<sup>2</sup>

#### RESUMEN

El objetivo del estudio fue cuantificar el impacto de la suplementación de selenio en la dieta sobre la ganancia diaria de peso, consumo promedio de alimento y eficiencia alimenticia en cerdos. Se ejecutaron 27 metaanálisis a partir de 13 artículos científicos que incluyó un total de 9608 animales. Bajo el modelo de efectos aleatorios se determinó tamaño de efecto y heterogeneidad. Se encontró que la suplementación de selenio mejora la ganancia diaria de peso (+5.1 g/día) y eficiencia alimenticia (+1.5 g/kg de alimento). En lechones, la ganancia diaria de peso aumentó en 12.5 g/día ( $p=0.003$ ) y 14.8 g/día ( $p=0.007$ ) en el análisis general y cuando la fuente fue orgánica, respectivamente. La eficiencia alimenticia en lechones se vio mejorada en 11.7 ( $p=0.00004$ ), 8.3 ( $p=0.045$ ) y 14.9 g/kg ( $p=0.0002$ ) en el análisis general, fuente inorgánica y orgánica, respectivamente. Se concluye que la suplementación dietaria de selenio mejora el rendimiento productivo de cerdos, con mayor impacto en lechones y cuando la fuente empleada fue orgánica.

**Palabras clave:** nutrición, alimentación, minerales, inorgánico, orgánico

#### ABSTRACT

The aim of this study was to quantify the impact of selenium supplementation in the diet on daily bodyweight gain and feed intake and feed efficiency in pigs. Twenty-seven meta-analyses were carried out from 13 scientific articles that included a total of 9608 animals. Effect size and heterogeneity were determined under the random effects model.

<sup>1</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador

<sup>2</sup> Escuela de Postgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

<sup>3</sup> E-mail: jrquisirumbay@uce.edu.ec

Recibido: 31 de marzo de 2019

Aceptado para publicación: 27 de noviembre de 2019

Publicado: 31 de marzo de 2020

Selenium supplementation was found to improve daily weight gain (+5.1 g/day) and feed efficiency (+1.5 g/kg of feed). In piglets, the daily weight gain increased by 12.5 g/day ( $p=0.003$ ) and 14.8 g/day ( $p=0.007$ ) in the general analysis and when the source was organic, respectively. Piglet feed efficiency was improved by 11.7 ( $p=0.00004$ ), 8.3 ( $p=0.045$ ) and 14.9 g/kg ( $p=0.0002$ ) in the general analysis, inorganic and organic source, respectively. It is concluded that dietary selenium supplementation improves the productive performance of pigs, with greater impact on piglets and when the source used was organic.

**Key words:** nutrition, feeding, minerals, inorganic, organic

## INTRODUCCIÓN

El selenio es un elemento traza esencial que participa en un amplio rango de funciones biológicas para la salud humana y animal. Se ha comprobado su participación en la prevención del cáncer (Tinggi, 2008), disminución de la incidencia de enfermedades cardiovasculares (Benstoem *et al.*, 2015), mejoras en el sistema inmune (Kajander *et al.*, 1991), reducción en las pérdidas por goteo y mejora en la terneza de la carne (Li *et al.*, 2011; Jiang *et al.*, 2017).

Existen dos fuentes de selenio comúnmente usadas en la nutrición animal, denominadas inorgánica (selenito de sodio o selenato) y orgánica, cuya forma es principalmente selenometionina (SeMet) y Se-levadura. El selenito de sodio puede actuar como un prooxidante, el cual es potencialmente tóxico en altos niveles de inclusión en el alimento, mientras que SeMet no presenta este efecto nocivo sobre la salud (Seko *et al.*, 1989; Zhan *et al.*, 2007). Se ha reportado que hay mayor depósito de Se en el tejido muscular cuando la fuente es seleniometionina que cuando es selenio inorgánico (Wang *et al.*, 2011).

Muchos investigadores indican que las levaduras ricas en Se son una forma efectiva de incrementar la actividad de la enzima glutatión peroxidasa (GSH-Px), la concentración de Se tisular y, por lo tanto de mejorar el

rendimiento productivo y la calidad de la carcasa en pollos de engorde o en cerdos en crecimiento-finalización (Ortman y Pehrson, 1998; Mahan *et al.*, 1999; Upton *et al.*, 2008; Wang y Xu, 2008). Las recomendaciones nutricionales por parte del National Research Council (2012) y de la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (2013) establecen un nivel de suplementación de selenio entre 0.15 y 0.30 y entre 0.1 y 0.3 mg/kg de alimento (ppm), respectivamente, para cerdos. Por otro lado, Rostagno *et al.* (2017) sugiere niveles de 0.1 a 0.5 mg/kg (Se-inorgánico) y entre 0.07 y 0.23 mg/kg (Se-orgánico).

Valores dentro y fuera de estos rangos han sido utilizados en varios trabajos de investigación con diferentes resultados al evaluar parámetros productivos. El metaanálisis es un método estadístico que resume y cuantifica el conocimiento adquirido a través del análisis de los resultados de investigaciones ya publicados (Sauvant *et al.*, 2008). Esta herramienta permite obtener una medida del efecto combinado con una mayor precisión que aquella de los estudios individuales y, por lo tanto, tienen una mayor potencia estadística (Catalá-López y Tobías, 2014). El objetivo de este estudio fue cuantificar el impacto de la suplementación dietaria de selenio sobre la ganancia diaria de peso, consumo diario promedio de alimento y eficiencia alimenticia de cerdos a través de un metaanálisis.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Fuente de Información

Se realizó una búsqueda electrónica de artículos científicos en revistas indexadas con revisión doble ciego en las siguientes bases electrónicas: CAB Direct, Elsevier Biobase-CABS, Google Scholar, MEDLINE, PubMed, Science Direct (Journal), Scopus, Academic Search Complete, CAB Abstract y el Directory of Open Access Journals. Se utilizó una combinación de palabras clave: selenio, Se, dieta, alimento, nutrición, cerdos, lechones, crecimiento, finalización, engorde, así como sus equivalentes en inglés, sin restricciones de fecha.

### Criterios de Inclusión

Se seleccionaron aquellos artículos en los cuales se administró selenio exclusivamente a través de la dieta y con animales libres de enfermedades. Solo fueron admitidos aquellos estudios en los cuales se utilizó selenio hasta un nivel de 0.5 ppm. Los artículos debían incluir información respecto al número de sujetos o individuos por unidad experimental y número de unidades experimentales por tratamiento. Los experimentos debían incluir al menos dos tratamientos (incluyendo el grupo control), las fuentes de selenio utilizadas para la suplementación (inorgánica/orgánica), inicio y fin del periodo de estudio y nivel de Se suplementado a través del alimento. Los estudios debían haberse realizado en lechones o en cerdos en fase de crecimiento y/o finalización. Además, debían incluir media (promedio) y alguna medida de variación (desviación estándar (SE) o error estándar (EE)).

### Análisis Estadístico

Para el procesamiento estadístico de los datos se utilizó MIX 2.0 Pro en Microsoft Excel (Bax, 2016). Se determinó el tamaño del efecto de la suplementación de selenio por diferencia de medias (DM) entre el gru-

po tratamiento y el control, con intervalos de confianza al 95%. La heterogeneidad se evaluó por medio del índice de inconsistencia ( $I^2$ ) (Cochran, 1954; Higgins y Thompson, 2002). En caso de existir valores altos de heterogeneidad se realizó meta-regresiones con la finalidad de explicar el origen de dicha variabilidad (Borenstein *et al.*, 2011). Se utilizó un modelo de efectos aleatorios según las recomendaciones de Sauvant *et al.* (2008).

Se ejecutaron 27 metaanálisis a partir de un total de 13 artículos científicos (9608 animales): Mahan y Moxon (1978), Mahan (1985), Mahan y Parrett (1996), Marin-Guzman *et al.* (1997), Lei *et al.* (1998), Mahan *et al.* (1999), Mahan y Peters (2004), Tian *et al.* (2005), Mateo *et al.* (2007), Li *et al.* (2011), Speight *et al.* (2012), Cao *et al.* (2014), Jlali *et al.* (2014). Las variables analizadas fueron ganancia diaria de peso (GDP), consumo diario promedio de alimento (CDPA) y eficiencia alimenticia (EA). Para cada variable se realizó un metaanálisis general (sin considerar etapa productiva) y otro considerando la etapa productiva. La etapa productiva fue dividida en dos categorías: (1) lechones y (2) cerdos en crecimiento y finalización. La fuente de selenio fue dividida a su vez en dos grupos: (1) inorgánica (selenito de sodio) y (2) orgánica (selenio-levadura, selenio-metionina, HMSeBA [2-hidroxi-4-metilselenobutanoico]).

## RESULTADOS

En el Cuadro 1 se presenta el valor de la media de los parámetros productivos. En el análisis general de la variable GDP se aprecia que los cerdos suplementados con selenio presentan mejores respuestas cuando la fuente suplementada fue la inorgánica. En el análisis por etapa productiva se aprecia que los lechones de los grupos tratados, tanto en el metaanálisis general como cuando las fuentes fueron inorgánica y orgánica, tuvieron mayor GDP. Por el contrario, los cerdos del grupo control en etapa de crecimiento-finalización presentaron mejores GDP.

Cuadro 1. Resumen variables respuesta para el metaanálisis del impacto de la suplementación alimenticia de selenio sobre la ganancia diaria de peso (GDP), consumo diario promedio de alimento (CDPA) y eficiencia alimenticia (EA) de cerdos

Parámetro productivo	Metaanálisis		Resumen variable respuesta			
			Tratamiento		Control	
			Media	DE	Media	DE
GDP (kg/día)	General	General	0.703	0.203	0.704	0.210
		Inorgánica	0.681	0.208	0.680	0.213
		Orgánica	0.726	0.199	0.727	0.205
	Lechones	General	0.480	0.219	0.466	0.216
		Inorgánica	0.485	0.208	0.472	0.204
		Orgánica	0.472	0.250	0.458	0.245
	Crecimiento-finalización	General	0.810	0.055	0.817	0.054
		Inorgánica	0.806	0.061	0.813	0.054
		Orgánica	0.813	0.051	0.820	0.054
CDPA (kg/día)	General	General	1.817	0.703	1.812	0.687
		Inorgánica	1.774	0.705	1.776	0.695
		Orgánica	1.858	0.708	1.846	0.686
	Lechones	General	0.998	0.652	0.985	0.645
		Inorgánica	1.050	0.635	1.030	0.627
		Orgánica	0.929	0.708	0.926	0.701
	Crecimiento-finalización	General	2.135	0.400	2.133	0.355
		Inorgánica	2.122	0.414	2.134	0.364
		Orgánica	2.147	0.395	2.132	0.354
EA (kg/kg)	General	General	0.427	0.086	0.424	0.083
		Inorgánica	0.419	0.075	0.415	0.075
		Orgánica	0.434	0.095	0.431	0.090
	Lechones	General	0.535	0.106	0.525	0.107
		Inorgánica	0.501	0.106	0.496	0.111
		Orgánica	0.562	0.103	0.547	0.105
	Crecimiento-finalización	General	0.395	0.044	0.394	0.042
		Inorgánica	0.396	0.044	0.393	0.042
		Orgánica	0.394	0.046	0.395	0.042

DE: desviación estándar

En el caso del CDPA los cerdos suplementados con selenio presentaron un mayor consumo, excepto en los metaanálisis General-Inorgánica (1.774 vs. 1.776 kg/día) y Crecimiento-finalización-Inorgánica (2.122 vs. 2.134 kg/día). Así mismo, los cerdos del grupo suplementado con selenio presentaron valores superiores de EA al compararlos con los cerdos del grupo control, con excepción de los cerdos en crecimiento-finalización su-

plementados con la forma orgánica (0.394 vs. 0.395 kg/kg, respectivamente).

El tamaño de efecto expresado en diferencia de medias (MD) muestra que el selenio suplementado en lechones (metaanálisis general) incrementa la GDP en 12.5 g/d por encima del grupo control ( $p=0.0037$ ) y 14.8 g/d cuando la fuente utilizada fue orgánica ( $p=0.0071$ ) (Cuadro 2). En el caso del CDPA

Cuadro 2. Tamaño de efecto de la suplementación de selenio en el metaanálisis sobre la ganancia diaria de peso (GDP), consumo diario promedio de alimento (CDPA) y eficiencia alimenticia (EA) de cerdos

Parámetro productivo	Metaanálisis		Tamaño de efecto			
			MD	IC		p
GDP	General	General	0.0051	-0.0004	0.0106	0.0691
		Inorgánica	0.0024	-0.0057	0.0105	0.5600
		Orgánica	0.0075	-0.0001	0.0151	0.0540
	Lechones	General	0.0125	0.0041	0.0210	0.0037
		Inorgánica	0.0100	-0.0037	0.0235	0.1525
		Orgánica	0.0148	0.0040	0.0256	0.0071
	Crecimiento-finalización	General	-0.0032	-0.0112	0.0048	0.4340
		Inorgánica	-0.0058	-0.0170	0.0058	0.3282
		Orgánica	-0.0008	-0.0119	0.0103	0.8845
CDPA	General	General	0.0001	-0.0152	0.0154	0.9883
		Inorgánica	-0.0063	-0.0350	0.0225	0.6694
		Orgánica	0.0036	-0.0111	0.0183	0.6322
	Lechones	General	0.0137	-0.0026	0.0299	0.0988
		Inorgánica	0.0324	0.0057	0.0590	0.0172
		Orgánica	0.0026	-0.0178	0.0231	0.8014
	Crecimiento-finalización	General	-0.0050	-0.0271	0.0172	0.6570
		Inorgánica	-0.0187	-0.0583	0.0209	0.3549
		Orgánica	0.0055	-0.0170	0.0281	0.6302
EA	General	General	0.0015	-0.0008	0.0037	0.1944
		Inorgánica	0.0006	-0.0024	0.0036	0.6839
		Orgánica	0.0020	-0.0013	0.0054	0.2340
	Lechones	General	0.0117	0.0061	0.0173	0.00004
		Inorgánica	0.0083	0.0002	0.0163	0.0453
		Orgánica	0.0149	0.0071	0.0226	0.0002
	Crecimiento-finalización	General	-0.0003	-0.0024	0.0019	0.8040
		Inorgánica	-0.0006	-0.0037	0.0025	0.6968
		Orgánica	0.0000	-0.0031	0.0031	0.9804

MD: diferencia de medias; IC: intervalo de confianza; p: valor de probabilidad

los lechones que recibieron la fuente inorgánica de Se presentaron un mayor consumo de alimento (32.4 g/d) que el grupo control ( $p=0.0172$ ), mientras que en la EA se encontró que la suplementación de selenio mejora en lechones general ( $p=0.00004$ ) y con la fuente orgánica ( $p=0.0002$ ). Es importante destacar que existen varios resultados donde la suplementación de selenio no mejora el parámetro evaluado.

En el Cuadro 3 se muestra los resultados del índice de inconsistencia. Se aprecian valores de moderada heterogeneidad para los metaanálisis: CDPA general-general (28.01%), CDPA general-inorgánica (57.05%), CDPA crecimiento-finalización-general (49.01%) y CDPA crecimiento-finalización-inorgánica (64.81%). Todos los demás metaanálisis presentaron valores de baja heterogeneidad (<25%) o no la presentaron.

Cuadro 3. Índice de inconsistencia ( $I^2$ ) de la suplementación de selenio sobre la ganancia diaria de peso (GDP), consumo diario promedio de alimento (CDPA) y eficiencia alimenticia (EA) de cerdos

Parámetro productivo	Metaanálisis		$I^2$ (%)
GDP	General	General	0
		Inorgánica	1.29
		Orgánica	0
	Lechones	General	13.01
		Inorgánica	21.28
		Orgánica	5.16
	Crecimiento-finalización	General	0
		Inorgánica	0
		Orgánica	0
CDPA	General	General	38.01
		Inorgánica	57.05
		Orgánica	0
	Lechones	General	0
		Inorgánica	0
		Orgánica	0
	Crecimiento-finalización	General	49.01
		Inorgánica	64.81
		Orgánica	11.46
EA	General	General	12.81
		Inorgánica	3.25
		Orgánica	20.54
	Lechones	General	0
		Inorgánica	0
		Orgánica	0
	Crecimiento-finalización	General	0
		Inorgánica	0
		Orgánica	2.37

Se hicieron meta-regresiones debido a la moderada heterogeneidad de los valores (Cuadros 4 y 5). El número de repeticiones afecta de manera significativa la variable respuesta para CDPA general-inorgánica y CDPA crecimiento-finalización general e inorgánica. El número de animales por uni-

dad experimental y el número de individuos muestreados por unidad experimental también afecta las variables CDPA general-inorgánica y orgánica y CDPA en etapa de crecimiento-finalización general e inorgánica. El nivel de inclusión de selenio solo afecta la eficiencia alimenticia general con fuente orgánica.

Cuadro 4. Meta-regresión para número de repeticiones y número de animales por unidad experimental (UE)

Meta-regresión			Número de repeticiones				Número de animales por UE			
			Intercepto		Coef. regresión		Intercepto		Coef. regresión	
			Est.	p	Est.	p	Est.	p	Est.	p
CDPA	General	Inorgánica	-0.054	0.009	0.010	0.006	-0.067	0.004	0.012	0.003
		Orgánica	0.008	0.702	-0.001	0.817	-0.059	0.020	0.012	0.009
	Crecimiento-finalización	General	-0.008	<0.001	0.014	<0.001	-0.115	<0.001	0.021	<0.001
		Inorgánica	-0.165	<0.001	0.028	<0.001	-0.151	<0.001	0.024	0.005
EA	General	Orgánica	-0.006	0.209	0.001	0.073	0.006	0.307	-0.001	0.474

Est: Estimado; p: valor de probabilidad

Cuadro 5. Meta-regresión para número de individuos muestreados por unidad experimental (UE) y nivel de selenio

Meta-regresión			Número de individuos muestreados por UE				Nivel de selenio			
			Intercepto		Coef. regresión		Intercepto		Coef. regresión	
			Est.	p	Est.	p	Est.	p	Est.	p
CDPA	General	Inorgánica	-0.067	0.004	0.012	0.003	-0.032	0.095	0.128	0.078
		Orgánica	-0.060	0.020	0.012	0.010	0.008	0.612	-0.016	0.754
	Crecimiento-finalización	General	-0.115	<0.001	0.021	<0.001	-0.022	0.168	0.006	0.395
		Inorgánica	-0.151	<0.001	0.024	0.005	-0.059	0.011	0.146	0.120
EA	General	Orgánica	0.006	0.307	-0.001	0.474	-0.003	0.287	0.022	0.039

Est: Estimado; p: valor de probabilidad

## DISCUSIÓN

El metaanálisis muestra que la suplementación de selenio incrementa la ganancia diaria de peso y la eficiencia alimenticia de manera general, así como en lechones en particular, independientemente de la fuente de selenio. Los lechones que reciben una suplementación de selenio ganan 12.5 g más al día ( $p=0,0037$ ) en comparación con el grupo control. Los lechones con fuente orgánica de selenio ganan 14.8 g adicionales al día ( $p=0.0071$ ) frente al grupo control, pudiendo llegar a ganar hasta 26.5 g/d más que el gru-

po control, según el límite superior del intervalo de confianza.

Los lechones que recibieron el selenio inorgánico consumieron 32.4 g más de alimento que el grupo control ( $p=0.0171$ ). Así mismo, se destaca la eficiencia alimenticia de los lechones, la cual aumenta con la suplementación de selenio en 11.7 ( $p=0.00004$ ), 8.3 ( $p=0.045$ ) y 14.9 g ( $p=0.0002$ ) que en el lechón no suplementado (control) para el análisis general, fuente inorgánica y orgánica, respectivamente. La suplementación de selenio orgánico en la etapa de crecimiento y finalización incrementa

en 5.5 g/d el consumo de alimento g/d ( $p=0.63$ ). Por lo tanto, estos resultados indican claramente que la suplementación de este mineral tiene mayor impacto en lechones.

Los efectos positivos del selenio son logrados debido a que este mineral permite un adecuado funcionamiento de las seleno-proteínas. Estas proteínas incluyen a la enzima antioxidante glutatión peroxidasa (GSH-Px) (Rederstorff *et al.*, 2006; Pappas *et al.*, 2008), las cuales tienen un importante rol en la defensa antioxidante celular, respuesta inmune y reducción de la inflamación, destinando los nutrientes ingeridos a través del alimento hacia el depósito tisular y la consecuente ganancia de peso (Arthur *et al.*, 2003; Schomburg *et al.*, 2004). En cuanto a la fuente de selenio, se aprecia claramente que la fuente orgánica mejora todos los parámetros productivos evaluados, debido posiblemente a su mayor biodisponibilidad en comparación con la fuente inorgánica (Zhan *et al.*, 2007).

Los resultados encontrados en el presente estudio confirman el efecto positivo de la inclusión de selenio sobre el desempeño productivo de los cerdos. Aaron y Hays (2004) destacan la importancia del número adecuado de repeticiones por tratamiento o grupo en los estudios experimentales en cerdos. En el presente trabajo de investigación se observa como el número de repeticiones afecta la variable respuesta consumo diario promedio de alimento. Por lo tanto, estos factores deberán ser tomados en cuenta al momento de analizar las variables consumo y eficiencia en futuros trabajos de investigación.

## CONCLUSIONES

- La suplementación dietaria de selenio mejora el rendimiento productivo (ganancia de peso y eficiencia alimentaria) de cerdos.
- El beneficio es mayor en lechones y cuando la fuente de selenio es orgánica.

## LITERATURA CITADA

1. **Aron D K, Hays VW. 2004.** How many pigs? Statistical power considerations in swine nutritional experiments. *J Anim Sci* 82: 245-254. doi: 10.2527/2004-8213\_supplE245x
2. **Arthur JR, McKenzie RC, Beckett GJ. 2003.** Selenium in the immune system. *J Nutr* 7: 1457S-1459S. doi: 10.1093/jn/133.5.1457S
3. **Bax L. 2016.** MIX 2.0 - Professional software for meta-analysis in Excel v. 2.0.1.5. BiostatXL. [Internet]. Disponible en: <https://www.meta-analysis-made-easy.com/>
4. **Benstoem C, Goetzenich A, Kraemer S, Borosch S, Manzanares W, Hardy G, Stoppe C. 2015.** Selenium and its supplementation in cardiovascular disease-what do we know? *Nutrients* 7: 3094-3118. doi: 10.3390/nu7053094
5. **Borenstein M, Hedges LV, Higgins JP, Rothstein HR. 2011.** Introduction to meta-analysis. Chichester: John Wiley & Sons. 187 p.
6. **Cao J, Guo F, Zhang L, Dong B, Gong L. 2014.** Effects of dietary selenomethionine supplementation on growth performance, antioxidant status, plasma selenium concentration, and immune function in weaning pigs. *J Anim Sci Biotechnol* 5: 46. doi: 10.1186/2049-1891-5-46
7. **Catalá-López F, Tobías A. 2014.** Metaanálisis en ensayos clínicos aleatorizados, heterogeneidad e intervalos de predicción. *Med Clin-Barcelona* 142: 270-274. doi: 10.1016/j.medcli.2013.06.013
8. **Cochran WG. 1954.** The combination of estimates from different experiments. *Biometrics* 10: 101-129. doi: 10.2307/3001666
9. **[FEDNA] Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 2013.** Necesidades nutricionales para ganado porcino. Normas FEDNA. 2º ed. España: FEDNA. 40 p.

10. **Higgins JP, Thompson SG. 2002.** Quantifying heterogeneity in a meta analysis. *Stat Med* 21: 1539-1558. doi: 10.1002/sim.1186
11. **Jiang J, Tang X, Xue Y, Lin G, Xiong YL. 2017.** Dietary linseed oil supplemented with organic selenium improved the fatty acid nutritional profile, muscular selenium deposition, water retention, and tenderness of fresh pork. *Meat Sci* 131: 99-106. doi: 10.1016/j.meatsci.2017.03.014
12. **Jlali M, Briens M, Rouffineau F, Geraert PA, Mercier Y. 2014.** Evaluation of the efficacy of 2-hydroxy-4-methylselenobutanoic acid on growth performance and tissue selenium retention in growing pigs. *J Anim Sci* 92: 182-188. doi: 10.2527/jas.2013-6783
13. **Kajander EO, Harvima RJ, Eloranta TO, Martikainen H, Kantola M, Kärenlampi SO, Åkerman K. 1991.** Metabolism, cellular actions, and cytotoxicity of selenomethionine in cultured cells. *Biol Trace Elem Res* 28: 57-68. doi: 10.1007/bf02990463
14. **Lei XG, Dann HM, Ross DA, Cheng WH, Combs GF, Roncker KR. 1998.** Dietary selenium supplementation is required to support full expression of three selenium-dependent glutathione peroxidases in various tissues of weanling pigs. *J Nutr* 128: 130-135. doi: 10.1093/jn/128.1.130
15. **Li JG, Zhou JC, Zhao H, Lei XG, Xia XJ, Gao G, Wang KN. 2011.** Enhanced water-holding capacity of meat was associated with increased Sepw1 gene expression in pigs fed selenium-enriched yeast. *Meat Sci* 87: 95-100. doi: 10.1016/j.meatsci.2010.05.019
16. **Mahan DC. 1985.** Effect of inorganic selenium supplementation on selenium retention in postweaning swine. *J Anim Sci* 61: 173-178. doi: 10.2527/jas1985.611173x
17. **Mahan DC, Cline TR, Richert B. 1999.** Effects of dietary levels of selenium-enriched yeast and sodium selenite as selenium sources fed to growing-finishing pigs on performance, tissue selenium, serum glutathione peroxidase activity, carcass characteristics, and loin quality. *J Anim Sci* 77: 2172-2179. doi: 10.2527/1999.7782172x
18. **Mahan DC, Moxon AL. 1978.** Effects of adding inorganic or organic selenium sources to the diets of young swine. *J Anim Sci* 47: 456-466. doi: 10.2527/jas1978.472456x
19. **Mahan DC, Parrett NA. 1996.** Evaluating the efficacy of selenium-enriched yeast and sodium selenite on tissue selenium retention and serum glutathione peroxidase activity in grower and finisher swine. *J Anim Sci* 74: 2967-2974. doi: 10.2527/1996.74122967x
20. **Mahan DC, Peters JC. 2004.** Long-term effects of dietary organic and inorganic selenium sources and levels on reproducing sows and their progeny. *J Anim Sci* 82: 1343-1358. doi: 10.2527/2004.8251343x
21. **Marin-Guzman J, Mahan DC, Chung YK, Pate JL, Pope WF. 1997.** Effects of dietary selenium and vitamin E on boar performance and tissue responses, semen quality, and subsequent fertilization rates in mature gilts. *J Anim Sci* 75: 2994-3003. doi: 10.2527/1997.75112994x
22. **Mateo RD, Spallholz JE, Elder R, Yoon I, Kim SW. 2007.** Efficacy of dietary selenium sources on growth and carcass characteristics of growing-finishing pigs fed diets containing high endogenous selenium. *J Anim Sci* 85: 1177-1183. doi: 10.2527/jas.2006-067
23. **Miller WT, Schoening HW. 1938.** Toxicity of selenium fed to swine in the form of sodium selenite. *J Agric Res* 56: 831-842.
24. **[NRC] National Research Council. 2012.** Nutrient requirements of swine. 11<sup>th</sup> ed. Washington: National Academies Press. 86 p.
25. **Ortman K, Pehrson B. 1998.** Selenite and selenium yeast as feed supplements to growing fattening pigs. *J Vet Med A* 45: 551-557. doi: 10.1111/j.1439-0442.1998.tb00859.x

26. **Pappas AC, Zoidis E, Surai PF, Zervas G 2008.** Selenoproteins and maternal nutrition. *Comp Biochem Phys B* 151: 361-372. doi: 10.1016/j.cbpb.2008.-08.009
27. **Rederstorff M, Krol A, Lescure A. 2006.** Understanding the importance of selenium and selenoproteins in muscle function. *Cell Mol Life Sci* 63: 52-59. doi: 10.1007/s00018-005-5313-y
28. **Rostagno HS, Teixeira LF, Hannas MI, Lopes J, Sakomura NK, Perazzo FG, Saraiva A, Teixeira ML, et al. 2017.** Tablas brasileñas para aves y cerdos. 4º ed. Viçosa: Universidad Federal de Viçosa. 444 p.
29. **Sauvant D, Schmidely P, Daudin JJ, St-Pierre NR. 2008.** Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. *Animal* 2: 1203-1214. doi: 10.1017/S1751731108002280
30. **Schomburg L, Schweizer U, Köhrle J. 2004.** Selenium and selenoproteins in mammals: extraordinary, essential, enigmatic. *Cell Mol Life Sci* 61: 1988-1995. doi: 10.1007/s00018-004-4114-z
31. **Seko Y, Saito, Y, Kitahara J, Imura N. 1989.** Active oxygen generation by the reaction of selenite with reduced glutathione *in vitro*. In: *Selenium in biology and medicine*. Berlin: Springer. p 70-73.
32. **Speight SM, Estienne MJ, Harper AF, Barb CR, Pringle TD. 2012.** Effects of organic selenium supplementation on growth performance, carcass measurements, tissue selenium concentrations, characteristics of reproductive organs, and testis gene expression profiles in boars. *J Anim Sci* 90: 533-542. doi: 10.2527/jas.2010-3747
33. **Tian JZ, Yun MS, Kong CS, Piao LG, Long HF, Kim JH, Han IK. 2005.** Effects of different products and levels of selenium on growth, nutrient digestibility and selenium retention of growing-finishing pigs. *Asian Austral J Anim Sci* 19: 61-66. doi: 10.5713/ajas.2006.61
34. **Tinggi U. 2008.** Selenium: its role as antioxidant in human health. *Environ Health Prev* 13: 102-108. doi: 10.1007/s12199-007-0019-4
35. **Upton JR, Edens FW, Ferket PR. 2008.** Selenium yeast effect on broiler performance. *Int J Poult Sci* 7: 798-805. doi: 10.3923/ijps.2008.798.805
36. **Wang YB, Xu BH. 2008.** Effect of different selenium source (sodium selenite and selenium yeast) on broiler chickens. *Anim Feed Sci Tech* 144: 306-314. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2007.-10.012
37. **Wang YX, Zhan XA, Yuan D, Zhang XW, Wu RJ. 2011.** Effects of selenomethionine and sodium selenite supplementation on meat quality, selenium distribution and antioxidant status in broilers. *Czech J Anim Sci* 56: 305-313. doi: 10.17221/1296-CJAS
38. **Zarczynska K, Sobiech P, Radwinska JW. 2013.** Effects of selenium on animal health. *J Elementol* 18: 329-340. doi: 10.5601/jelem.2013.18.2.12
39. **Zhan X, Wang M, Zhao R, Li W, Xu Z. 2007.** Effects of different selenium source on selenium distribution, loin quality and antioxidant status in finishing pigs. *Anim Feed Sci Tech* 132: 202-211. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2006.03.020