

## Artículo de revisión

**Selenium and glutathione peroxidase in swine nutrition***Selenio y glutatión peroxidasa en la nutrición porcina**Selênio e glutatona peroxidase na nutrição suína*Jimmy Quisirumbay-Gaibor <sup>1,2\*</sup> ✉ MVZ, MSc; Carlos Vílchez Perales <sup>1</sup>, Ing. PhD**Fecha correspondencia:**

Recibido: 23 de julio de 2018.

Aceptado: 20 de marzo de 2019.

**Forma de citar:**

Quisirumbay-Gaibor J, Vílchez Perales C. Selenio y glutatión peroxidasa en la nutrición porcina. Rev. CES Med. Zootec. 2019; Vol 14 (1): 57-69.

[Open access](#)[© Copyright](#)[Creative commons](#)[Ethics of publications](#)[Peer review](#)[Open Journal System](#)DOI: [http://dx.doi.org/10.21615/](http://dx.doi.org/10.21615/cesmvz.14.1.5)[cesmvz.14.1.5](#)

ISSN 1900-9607

**Filiación:**

\* Autor para correspondencia:

Jimmy Quisirumbay-Gaibor. Correo electrónico: [jquisirumbay@uce.edu.ec](mailto:jquisirumbay@uce.edu.ec)

<sup>1</sup> Doctorado en Ciencia Animal, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina.

Comparte

**Abstract**

Selenium (Se) is a mineral that fulfills important functions in the organism, one of which is to favor oxidative balance by being part of the enzyme glutathione peroxidase. There are two sources of Se that can through the diet be supplemented to animals, organic and inorganic. The oldest form of It has been the inorganic usually the sodium selenite and the organic is the Se-methionine which is the main component of the Se-yeast and recently the hydroxylated form known as 2-hydroxy-4-methyl acid -butane butane. The administration of Se-organic presents higher levels of retention in the organism, higher tissue concentration in the liver, muscle, serum and greater transfer to newborn piglets through colostrum and milk. In pigs in stages of completion it has been shown to reduce drip losses by favoring water retention. The most recommended levels of selenium in swine nutrition are between 0.15 and 0.3 ppm and as a Se-organic source of choice.

**Keywords:** *antioxidants, minerals, nutrition, pigs.*

**Resumen**

El selenio (Se) es un mineral que cumple con funciones importantes en el organismo una de ellas es favorecer el equilibrio oxidativo al formar parte de la enzima glutatión peroxidasa. Existen dos fuentes de Se que pueden a través de la dieta ser suplementados a los animales, orgánica e inorgánica. La forma más antigua de Se ha sido la inorgánica por lo general el selenito de sodio y la orgánica es la Se-metionina que es el principal componente de la Se-levadura y recientemente la forma hidroxilada conocida como ácido 2-hidroxi-4-metil-selenu butanoico. La administración de Se-orgánico presenta mayores niveles de retención en el organismo, mayor concentración tisular en hígado, músculo, suero y mayor transferencia a lechones recién nacidos por medio del calostro y leche. En cerdos en etapas de finalización ha demostrado reducir las pérdidas por goteo al favorecer la retención de agua. Los niveles más recomendados de selenio en la nutrición porcina están entre 0,15 y 0,3 ppm y como fuente de elección Se-orgánico.

**Palabras clave:** *antioxidantes, cerdos, minerales, nutrición.*

**Resumo**

O selênio (Se) é um mineral que desempenha importantes funções no organismo, uma das quais é favorecer o equilíbrio oxidativo por fazer parte

<sup>2</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Central del Ecuador, Ciudadela Universitaria, Jerónimo Leiton s/n y Gatto Sobral, Quito-Ecuador.

da enzima glutatona peroxidase. Existem duas fontes de Se que podem, através da dieta, ser suplementadas a animais, orgânicos e inorgânicos. A forma primitiva foi inorgânico sido geralmente selenito de sódio e orgânico é o Se-metionina, que é o principal componente da SE-levedura e, recentemente, a forma hidroxilada conhecido como 2-hidroxi-4-metil butano butano. A administração de Se-orgânico apresenta maiores níveis de retenção no organismo, maior concentração tecidual no fígado, músculo, soro e maior transferência para leitões recém-nascidos através do colostro e leite. Nos porcos em fase de finalização, demonstrou-se que reduz as perdas por gotejamento favorecendo a retenção de água. Os níveis mais recomendados de selenio na nutrição suína estão entre 0,15 e 0,3 ppm e como fonte orgânica de escolha.

**Palavras-chave:** *antioxidantes, porcos, minerais, nutrição.*

## Introducción

El selenio es un micronutriente esencial que participa en múltiples procesos bioquímicos y fisiológicos en el organismo <sup>1</sup>. Hay varias fuentes alimenticias de Se, orgánica e inorgánica los cuales varían en su retención tisular, sin embargo, el Se orgánico se deposita en mayor concentración en comparación con la forma inorgánica <sup>2</sup>, atribuido fuertemente a su forma química de absorción <sup>3</sup>.

Diferentes niveles y fuentes de Se han empleado en la alimentación de cerdos con la finalidad de incrementar su retención tisular y con ello la funcionalidad antioxidante, garantizando un mayor desempeño productivo y en especial una mayor calidad de canal <sup>4</sup>, resultados obtenidos gracias al apoyo adicional en el mejoramiento del estado sanitario de las explotaciones porcinas. El Se-orgánico (Se-levadura, Se-metionina, ácido 2-hidroxi-4-metil-selenio butanoico) ha demostrado ser una fuente eficiente de Se al compararlo con la forma inorgánica (selenito de sodio) durante la gestación y la lactancia en cerdas. Existe reducción en el número de lechones nacidos muertos y mayor transferencia de Se a los lechones a través del calostro y la leche materna <sup>5-8</sup>.

En cerdos en etapas de crecimiento y finalización hay una mejora en el estado antioxidante tisular que mejora la retención de agua en la carne <sup>2</sup>. En casi todas las edades o estados fisiológicos en los cuales ha sido suplementado el Se orgánico hay una mejora en el estado antioxidante al incrementarse la actividad de la enzima glutatión peroxidasa (GSH-Px) <sup>2-12</sup>. Los niveles a los cuales se ha suplementado el Se en cerdos varía desde 0,1 ppm hasta 20 ppm, sin embargo, los niveles más comúnmente usados y que han dado la mejor respuesta se encuentran alrededor de 0,3 ppm. El objetivo de este manuscrito es proporcionar información valiosa a los nutricionistas de porcinos sobre la inclusión dietaria de Se para sacar el máximo provecho, reducir las pérdidas económicas para el productor y garantizar los mejores resultados productivos en granja.

## Funciones del selenio

El Se es un elemento traza esencial para varias funciones biológicas en humanos y animales, afecta la expresión y la actividad de las proteínas relacionadas al metabolismo energético en la mayor parte de los tejidos insulino-dependientes <sup>11</sup>. Forma parte integral de la enzima glutatión peroxidasa, una enzima antioxidante muy importante que cataliza la destrucción del peróxido de hidrógeno generado durante el metabolismo oxidativo celular <sup>13</sup>, detoxifica la peroxidación lipídica, protegiendo de esta manera la membrana a nivel celular y sub-celular. Además, forma parte de al menos 25 seleno-proteínas, que cumplen funciones relacionadas a actividades de

reductasa-peroxidasa, hormonas del metabolismo, plegamiento de proteínas, señalización redox, síntesis de seleno-cisteína, transporte de selenio <sup>14</sup>, inmunomodulación y profiláctico, al menos 16 de estas proteínas cumplen un rol antioxidante <sup>15</sup>.

El Se es vital para el normal funcionamiento muscular en los animales. La deficiencia dietaria de Se puede causar varios tipos de distrofia muscular <sup>16</sup>, como la diátesis exudativa en pollos <sup>17-19</sup>, miopatías en conejillos de indias <sup>20</sup>, el corazón de mora en cerdos <sup>21,22</sup>, la enfermedad del músculo blanco en corderos <sup>23</sup> y terneros <sup>24, 25</sup>, distrofia en salmones <sup>26</sup>. Dichas alteraciones musculares están asociadas al estrés oxidativo <sup>27</sup>. Se ha demostrado el rol del Se en la fertilidad de los verracos al formar parte de la selenoproteína P y PHGPx (glutatión peroxidasa fosfolípido hidroperóxido) en la espermatogénesis. PHGPx es una de las principales selenoproteínas en las espermátidas y su forma mitocondrial juega un papel importante en suprimir los efectos adversos de las especies reactivas de oxígeno (ERO) <sup>28</sup>.

A través de las seleno-proteínas este micronutriente está involucrado en la respuesta inmune por diferentes vías. Las principales funciones que llevan a cabo las seleno-enzimas y los mecanismos de participación en el sistema inmune es mediante actividades antioxidantes y anti-inflamatorias. En cerdos, se ha podido encontrar que los periodos más críticos y demandantes de Se ocurren en el lechón neonato, destete y durante el periodo reproductivo, además junto a la vitamina E ha demostrado tener efectos protectores contra miopatías <sup>29</sup>.

### Requerimientos nutricionales de selenio

Según el National Research Council (2012) señala que los lechones requieren 0,3 ppm mientras que los cerdos en finalización y cerdas en fase reproductiva necesitan 0,15 ppm de selenio, estos requerimientos nutricionales son considerados como mínimos y han sido desarrollados a partir de experimentos de dosis-respuesta <sup>20</sup>. Por su parte Rostagno *et al.*, (2017) para cerdos en crecimiento hace una sugerencia más minuciosa respecto a este micro-mineral que se detallan en la [Tabla 1](#). Mientras que para cerdos en etapa de reproducción recomienda 0,397 mg/kg o ppm (Se inorgánico) y 0,178 mg/kg (Se orgánico). Las tablas brasileñas de requerimientos nutricionales desarrollados por Rostagno *et al.*, (2017) tienen por objetivo una producción más económica de cerdos y han sido desarrolladas tras investigaciones de dosis-respuestas en Universidades del Brasil <sup>31</sup>.

**Tabla 1.** Recomendaciones nutricionales de Se para cerdos en crecimiento-finalización según Rostagno *et al.*, (2017).

Rango de peso (kg)	Se inorgánico (mg/kg)	Se orgánico (mg/kg)
5,5 – 9	0,517	0,233
9 – 15	0,459	0,207
15 – 30	0,376	0,169
30 – 50	0,305	0,137
50 – 70	0,253	0,114
70 – 100	0,210	0,095
100 - 125	0,176	0,079

Macroingredientes: aporte de selenio

Se debe considerar que las dietas tradicionales para la alimentación de cerdos incluyen materias primas a base de maíz, sorgo, soya entre otras, que por sí solas no alcanzarían a cubrir el nivel de selenio requerido por el animal. Por lo tanto el nivel de suplementación de Se a través de la premezcla mineral debe ser balanceada con el aporte de las materias primas. En la [tabla 2](#) se presenta el aporte de Se de los principales ingredientes utilizados en la alimentación porcina:

**Tabla 2.** Contenido de Se en ingredientes destinados a la alimentación de cerdos.

<b>Ingrediente</b>	<b>National Research Council (2012) (mg/kg, tal cual)<sup>30</sup></b>	<b>Rostagno et al., (2017) (mg/kg, tal cual)<sup>31</sup></b>
Maíz	0,07	0,07
Sorgo	0,20	0,25-0,35
Pasta de soya	0,27 – 0,32	0,34 - 0,44
Soya integral	0,11	0,21
Pasta de canola	1,10	-
Leche desnatada en polvo	0,12	-
Suero de leche en polvo	0,12	0,21
Harina de algodón	0,80	0,58
DDG's* (maíz)	0,40	-
Harina de carne	0,37	0,30 - 0,42
Avena	0,30	-
Trigo	0,28 – 0,33	-
Salvado de trigo	0,51	0,31
Cebada	0,10	0,11
Polvillo de arroz	0,27	0,31

\*Granos secos de destilería con solubles

Las diferencias en el contenido de selenio entre las dos guías nutricionales están relacionadas al origen, número de muestras analizadas y calidad del procesamiento de los ingredientes analizados. El contenido de Se del suelo es un factor determinante en la concentración de este mineral en los alimentos y es un factor que varía ampliamente entre las distintas áreas geográficas. Adicionalmente, el *National Research Council* (2012) incluye un mayor número de muestras analizadas, debido al mayor número de ediciones publicadas.

## Fuentes de Se

Los efectos biológicos del Se en los mamíferos están fuertemente influenciados por la forma química del Se absorbido, la fuente y el estado del Se sobre otros elementos minerales <sup>3</sup>. Existen dos fuentes principales de Se usadas en la nutrición animal denominadas inorgánica (selenito de sodio o selenato) y orgánica la cual es principalmente la forma de seleno-metionina (SeMet) y seleno-levadura. La forma orgánica si bien es una denominación tradicional en el sentido estricto no es correcto hablar de orgánico pues al hablar de un mineral (selenio) por simple definición es una molécula inorgánica, Sin embargo, adquiere este nombre por encontrarse asociado a una molécula orgánica como lo son los aminoácidos. El selenito de sodio (NaSeO<sub>3</sub>) puede actuar como pro-oxidante, resultando ser potencialmente tóxico a dosis alimenticias elevadas mientras que la SeMet no tiene ningún efecto perjudicial

para la salud <sup>32</sup>. Aproximadamente 50% del Se en la levadura rica en Se es seleno-metionina, mientras que la cantidad restante son varias formas de seleno-aminoácidos o sus análogos <sup>33</sup>.

Las fuentes de Se inorgánico (selenito) u orgánico (SeMet y levadura rica en Se) agregadas a las dietas de crecimiento-finalización afectan la cantidad de Se retenido y excretado por el organismo. El Se retenido es más alto y la excreción es baja cuando la fuente de Se es la levadura. Sin embargo, ni la fuente inorgánica ni la orgánica de Se ni los niveles de Se influyen hacia una mayor respuesta productiva en cerdos en crecimiento-finalización <sup>34</sup>. En los últimos años se habla de una nueva forma química de Se denominado HMSeBA (ácido 2-hidroxi-4metil-selenio butanoico) el cual ha demostrado ser una alternativa efectiva en la suplementación dietaria de Se en la nutrición porcina. En un estudio realizado en cerdos en crecimiento a un nivel de 0,3 ppm de Se, aquellos cerdos que recibieron el HMSeBA tuvieron una mayor biodisponibilidad de Se en plasma, hígado y músculo, 170, 141 y 162% más alto respectivamente en comparación con los cerdos que recibieron Se en forma de Se-levadura; sin embargo, esto no genera un aumento en el rendimiento productivo de los cerdos <sup>35</sup>.

### **Suplementación de selenio y actividad de glutatión peroxidasa (GSH-Px) en cerdos**

La enzima glutatión peroxidasa, contiene selenio como grupo prostético. El papel del Se es de hecho transferir el hidrógeno a las especies reactivas de oxígeno. La actividad sérica de la enzima glutatión peroxidasa y la concentración de Se en suero son considerados excelentes indicadores del estado del Se en el organismo <sup>36</sup>. La enzima se produce principalmente a nivel del citosol <sup>37</sup> y cataliza la destrucción de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (peróxido de hidrógeno) e hidroperóxidos lipídicos, antes de que estos ataquen las membranas celulares <sup>38</sup>.

#### **Cerdas**

En cerdas se aprecia que la suplementación de Se a un nivel de 0,3 ppm genera un aumento en el nivel de Se en suero y en la actividad de la enzima GSH-Px durante los periodos de crecimiento y reproducción, al compararlo frente a una dieta control (sin suplementación de Se) y versus un nivel de inclusión de 0,15 ppm. Sin embargo, los niveles de Se en suero y actividad de GSH-Px disminuyen desde el día 70 al 110 post-servicio independientemente de la fuente y nivel de Se, luego su valor se incrementa al destete en las cerdas que recibieron mayor nivel de Se <sup>7</sup>. La misma tendencia en la caída de Se en suero se aprecia en el estudio realizado por Yoon y McMillan (2006) <sup>39</sup>. En un estudio realizado por Hu *et al.*, (2011) se evidencia que la suplementación de Se-orgánico (Se-metionina) durante 60 días (últimos 32 de gestación y 28 de lactancia) produce un incremento significativo de los niveles de Se en suero, calostro y leche. Además, el estatus antioxidante mejoró notablemente al verse incrementado la capacidad antioxidante total (T-AOC), disminuir la concentración de malondialdehído (MDA) medido en el suero de cerdas. También existió un aumento de T-AOC, GSH-Px, superóxido dismutasa (SOD) y glutatión en calostro y leche <sup>8</sup>.

Chen *et al.*, (2016) determinó que la suplementación de Se-levadura a un nivel de 0,3 ppm produce un aumento en la actividad de la enzima GSH-Px medida en plasma al día 11 de lactancia frente a la dieta que contenía 0,3 ppm de Se en forma de selenito de sodio. Además, la actividad de esta enzima aumentó cuando fue medida en calostro

y leche (11 días de lactancia) <sup>40</sup>. Lo anterior tendría relación con lo encontrado por Quesnel *et al.*, (2008), estudio en el que la suplementación de Se-levadura en cerdas (0,3 ppm) a partir del día 88 de gestación produjo un incremento en un 33% en la concentración de Se en calostro y 89% en leche. Sin embargo, no se encontró diferencia estadística en la concentración y la fuente de Se medida en sangre en las cerdas al destete (26 días) ni 6 semanas después <sup>41</sup>.

Yoon y McMillan (2006) también encontraron un aumento significativo en los niveles de Se en calostro (12 horas post-parto) 0,270 versus 0,205 ug/ml y leche (día 14 de lactancia) 0,098 versus 0,060 ug/ml en cerdas que recibieron Se-levadura (0,3 ppm) a partir del día 60 de gestación al compararlo frente a la suplementación inorgánica <sup>39</sup>. Por su parte Svoboda *et al.*, (2008) determinaron un aumento significativo del nivel de Se en sangre 3 y 14 días post-parto cuando se suplemento a un nivel de 0,3 ppm (Se-levadura) en cerdas de tercer parto, acompañado de un aumento en el nivel de Se en calostro y leche (14 días posparto) frente a cerdas que recibieron selenito de sodio como fuente de Se. En este mismo estudio no se encontró diferencia significativa en la actividad de GSH-Px medida en sangre entera <sup>42</sup>. Kim y Mahan (2001) encontraron que la concentración de Se en el calostro (0-3 días posparto) se incrementa a medida que aumenta el nivel de suplementación alimenticia de Se (desde 0,3 hasta 10 ppm) y que el aumento es más alto cuando la forma orgánica (levadura) es utilizada, alcanzando un valor de 3,30 ppm frente a 1,07 ppm al día 3 de lactancia. El mismo efecto se aprecia en la concentración de selenio de la leche de la cerda que aumenta en forma progresiva desde el día 3 al 14 post-parto, con valores más altos cuando se usó la fuente orgánica, 4,14 ppm versus 0,76 ppm de la fuente inorgánica. Tanto en el calostro como en la leche la concentración de selenio fue de 2 a 5 veces superior en las cerdas que recibieron el selenio en su forma orgánica que en aquellas que fueron suplementadas con selenito de sodio <sup>43</sup>.

Maham (2000) comparó en cerdas la biodisponibilidad del Se orgánico frente al inorgánico para ser transferido a la leche y posteriormente a los lechones lactantes. En este estudio se suplementó Se 6 días previos al parto hasta el día 14 de lactancia, a dos niveles 0,15 y 0,3 ppm. Se demostró que independientemente de la fuente de Se el nivel de 0,3 ppm provoca un mayor contenido en la leche, sin embargo, la concentración de selenio es de 2,5 a 3 veces mayor cuando la fuente es orgánica versus la inorgánica en cada uno de los niveles de suplementación evaluados <sup>6, 44</sup>.

### Lechones

En un estudio realizado en lechones destetados a las 2 semanas de edad se demostró que la suplementación de Se (0,1 ppm en forma de selenito de sodio) incrementa la actividad de la seleno-enzima GSH-Px en plasma, páncreas, corazón, pulmones y riñones. En el mismo estudio, pero en un segundo experimento se observó que cuando el destete se realizó a las 4 semanas también se elevaron los niveles de esta enzima. Además, en lechones que recibieron una dieta deficiente en Se (dieta control sin suplementación de Se, contenido total de Se en el alimento 20 ug/kg) la actividad de GSH-Px fue de aproximadamente un tercio de la observada en lechones suplementados después de un periodo de una semana (2,74 vs 7,26 nmoles de NADPH oxidado/min/mg de proteína) <sup>45</sup>.

La suplementación de selenio (0,15 y 0,30 ppm) orgánico (selenio-levadura) versus inorgánico (selenito de sodio) en cerdas primerizas produce un aumento de la concentración sérica de selenio en lechones al destete. El selenio sérico aumenta en forma cuadrática alcanzando una meseta con un valor de 0,067 mg/L cuando se

administró la forma inorgánica a un nivel de 0,15 ppm, mientras que el incremento fue de manera lineal cuando se suministró en la forma orgánica, 0,078 y 0,092 mg/L para los niveles de 0,15 y 0,3 ppm respectivamente. Por su parte la actividad de la enzima glutatión peroxidasa medida en suero presenta valores inferiores en aquellos lechones que provienen de cerdas que recibieron la dieta basal (sin adición de Se) (0,323 U/ml) y a medida que se incrementa (0,15 a 0,3 ppm) el aporte de selenio en la dieta mayor es la actividad de esta enzima independientemente de la fuente utilizada, orgánico (0,345 y 0,363 U/ml) e inorgánico (0,39 y 0,37 U/ml) <sup>2</sup>.

Los lechones recién nacidos a partir de cerdas que recibieron Se-levadura (0,3 ppm) presentaron mayor contenido de selenio en riñón (0,712 vs 0,503 ug/g) y lomo (0,071 vs 0,045 ug/g) al compararlo frente a los recién nacidos de las cerdas que recibieron selenito de sodio (0,3 ppm). Adicionalmente presentaron, mayor nivel AOC-T (capacidad antioxidante total) (6,16 vs 3,39 U/ml) y actividad de la enzima SOD (superóxido dismutasa) (79,43 vs 69,16 U/ml), menor contenido de MDA (malondialdehído) (1,63 vs 2,42 nmol/ml) medidos en suero. Además, se encontró mayores niveles de AOC-T hepáticos (3,35 vs 3,01 U/ml) y mayor contenido de GSH (glutatión) (18,19 vs 14,80 mg/L). De manera similar cuando la medición se realizó a los 21 días de edad (destete) los lechones presentaron mayor contenido de Se en corazón (0,147 vs 0,135 ug/g), páncreas (0,211 vs 0,179 ug/g), timo (0,192 vs 0,160 ug/g), tiroides (0,164 vs 0,153 ug/g) y lomo (0,096 vs 0,079 ug/g) <sup>46</sup>.

Esta información coincide con los datos reportados por Quesnel *et al.*, (2008) en la cual lechones que nacieron de cerdas que recibieron selenio en forma orgánica (0,3 ppm selenio-levadura) presentan mayores niveles de selenio en sangre al compararlo frente a la forma inorgánica (selenito de sodio), esta diferencia también se aprecia al destete de los lechones  $188 \pm 4$  vs  $240 \pm 6$  ng/g respectivamente <sup>41</sup>. De manera similar Ma *et al.*, (2014) reporta que la suplementación de Se-orgánico (0,3 ppm) en cerdas de primer parto incrementó el contenido corporal y hepático de Se en sus lechones al nacimiento y a los 7, 14 y 21 días de edad al compararlo frente a la suplementación de selenito de sodio al mismo nivel <sup>47</sup>. De manera similar hay un aumento en el contenido de Se en lomo e hígado de lechones a medida que se incrementó el nivel de suplementación materna de Se: 0,1 ó 0,3 ppm, más aún cuando recibieron Se-levadura, este efecto se aprecia al nacimiento y al destete. Sin embargo, al destete la actividad de la enzima GSH-Px medida en suero no difiere ni por la fuente ni por el nivel de selenio suplementados a pesar de que el nivel de selenio en suero al destete fue mayor en lechones provenientes de cerdas suplementadas con selenio-levadura <sup>5</sup>.

En lechones destetados (28 días de edad) la suplementación durante 42 días de Se en forma de DL-SeMet a un nivel de 0,3 mg/kg provoca un aumento en los niveles de la actividad de la enzima GSH-Px medida en suero y plasma en comparación a la suplementación en forma de selenito de sodio. En este mismo estudio DL-SeMet a un nivel de 0,1 mg/kg mejoró la actividad de GSH-Px en hígado <sup>12</sup>.

La suplementación de Se orgánico (levadura rica en Se) a un nivel de 0,3 ppm no afectó los niveles de inmunoglobulina G (IgG) y ni la actividad de la enzima GSH-Px medida en suero en lechones recién nacidos versus la dieta control (0,15 ppm) y Se inorgánico (0,3 ppm) cuando se administró en cerdas 60 días antes del parto <sup>39</sup>. Esta información concuerda con lo reportado por Quensel *et al.*, (2008) en el que la suplementación de Se-levadura (desde el día 88 de gestación) no tiene ningún efecto sobre la concentración de IgG en calostro y leche <sup>41</sup>.

### Cerdos en crecimiento-finalización

La actividad de la enzima glutatión peroxidasa sérica generalmente alcanza un pico a un nivel dietario de 0,1 ppm de Se independientemente de la fuente orgánica o inorgánica en dietas de crecimiento-finalización <sup>34</sup>. En un estudio realizado por Kim y Mahan (2001) en cerdos de 25 kg de peso corporal se evaluó la suplementación dietaria de Se en varios niveles: 0, 5, 10, 15 y 20 mg/kg de alimento provenientes de una fuente orgánica (selenito-levadura) y una fuente inorgánica (selenito de sodio), se pudo observar una reducción en los parámetros productivos en los grupos cuyo nivel de Se fue  $\geq 5$  ppm: ganancia diaria de peso (kg/día) (orgánica vs inorgánica: 0,83 vs 0,82 (5 ppm), 0,78 vs 0,66 (10 ppm), 0,71 vs 0,25 (15 ppm), 0,55 vs 0,08 (20 ppm)), consumo diario de alimento (kg/día) (orgánica vs inorgánica: 2,38 vs 2,31 (5 ppm), 2,25 vs 1,89 (10 ppm), 2,03 vs 1,10 (15 ppm), 1,70 vs 0,66 (20 ppm)), eficiencia alimenticia (kg/kg) (orgánica vs inorgánica: 0,349 vs 0,355 (5 ppm), 0,347 vs 0,349 (10 ppm), 0,350 vs 0,227 (15 ppm), 0,324 vs 0,121 (20 ppm)), resultando en un descenso mayor cuando la fuente utilizada fue la inorgánica. Sin embargo, se apreció un aumento en el nivel de actividad de la enzima GSH-Px (U/ml) a medida que aumentaba el nivel de Se (orgánica vs inorgánica: 0,485 vs 0,525 (5 ppm), 0,525 vs 0,564 (10 ppm), 0,541 vs 0,559 (15 ppm), 0,575 vs 0,827 (20 ppm)), con mayor respuesta ante la fuente inorgánica <sup>48</sup>.

En otro estudio, pero con similar objetivo que el anterior, se pudo apreciar que la suplementación dietaria de Se-levadura a niveles de 0,3 y 3 ppm versus una dieta basal (0 ppm de Se suplementado) aumento de manera significativa la actividad de la enzima glutatión peroxidasa (medida en plasma) 8 y 16 semanas después de su administración, así como la actividad a nivel hepático a las 16 semanas <sup>10</sup>. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Li *et al.*, (2011) estudio en el cual la suplementación durante 8 semanas de Se a niveles de 0, 0,3 y 3 ppm en forma de Se-levadura aumento de manera significativa los valores de GSH-Px (nmol GSH oxidado/min/mg de proteína) en plasma (3,96, 13,26 y 14,38), hígado (7,96, 168,77 y 282,84) y músculo (2,44, 8,62 y 11,63) en cerdos de  $10,30 \pm 0,68$  kg de PV. Además, se encontró una reducción en la concentración de TBARS (sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico) (nmol MDA/kg) en hígado (26,13, 15,35 y 17,63), músculo (3,88, 2,26 y 1,27) y carne (4,79, 3,74 y 2,16) <sup>2</sup>.

Resultados similares fueron reportados cuando el Se orgánico (selenio-levadura y selenio-metionina) se suplementó a un nivel de 0,33 ppm durante 64 días en cerdos de 25,6 kg de PV frente a una dieta cuya fuente fue inorgánica (selenito de sodio: 0,33 ppm) y otra basal (0,05 mg/kg, aporte únicamente de ingredientes). Adicionalmente hubo valores más altos en la concentración de Se tisular, a nivel de músculo (0,56, 0,85, 0,30 y 0,18 mg/kg), hígado (1,83, 1,75, 1,57 y 0,71 mg/kg) y riñón (7,8, 8,8, 7,67 y 5,70 mg/kg), se observó un aumento significativo con valores superiores cuando las fuentes utilizadas fueron Se-Met y Se-levadura. Los cerdos que recibieron Se orgánico (levadura y Se-Met) presentaron una mayor capacidad antioxidante que los hace menos vulnerables al estrés oxidativo <sup>39</sup>. La misma tendencia se observó cuando cerdos de  $34,4 \pm 0,06$  kg de PV recibieron varios niveles de Se orgánico (Se-levadura) 0,1, 0,2 y 0,3 ppm frente a una dieta basal y otra con selenito de sodio a un nivel de 0,3 ppm. En este estudio se encontró mayores concentraciones tisulares de Se en hígado, lomo, pelo y suero cuando la fuente fue Se-levadura aumentando de manera proporcional al aumento del nivel de inclusión <sup>4</sup>.



A un nivel de suplementación de 0,5 ppm de Se en la dieta frente a un nivel basal de 0,17 ppm durante 16 semanas en cerdos de 15 kg de peso vivo aproximadamente, se pudo apreciar un aumento significativo en la actividad de la enzima glutatión peroxidasa a nivel muscular. Mientras que las diferencias en el peso final mostraron una tendencia (valor  $p=0,053$ )  $150,5\pm 13,75$  kg frente a  $136,0\pm 15,30$  kg a favor de la mayor dosis de Se <sup>11</sup>. La suplementación alimenticia de Se favorece la actividad de la enzima GSH-Px sin embargo, se debe considerar la toxicidad de este micro-mineral cuyos niveles máximos tolerables se han reportado entre 4 a 8 mg/kg de alimento cuando se usa en forma de selenito de sodio <sup>50</sup>.

Sin lugar a dudas las fuentes orgánicas de Se (levadura, metionina) presentan mayores valores de retención de Se a nivel tisular sin embargo el HMSeBA ha demostrado ser la fuente de selenio con mayor biodisponibilidad superando a la Se-levadura en la concentración en plasma (+69,66%), hígado (+40,52%) y músculo (+62,22%) tanto a niveles del 0,1 y 0,3 % en cerdos de 26,73 kg de PV durante 32 días de suplementación <sup>35</sup>.

### Conclusiones y recomendaciones

El aumento en la suplementación alimenticia de Se produce mayor transferencia de este mineral al calostro y leche, mayor es su efecto cuando la fuente es orgánica (Se-levadura y Se-Metionina). De forma similar, la retención tisular de Se en lechones y cerdos en etapas de crecimiento-finalización es mayor para la fuente orgánica. En la mayoría de los estudios realizados hay una mejora en el estado antioxidante al incrementarse la actividad de la enzima GSH-Px. El requerimiento dietario de selenio está en un rango que va desde 0,3 ppm para lechones hasta 0,15 ppm para cerdos en crecimiento-finalización y cerdas. Adicionalmente se recomienda la forma orgánica como la mejor fuente de selenio en todas las etapas fisiológicas del cerdo. En futuras investigaciones es importante conocer la interacción de la forma orgánica del Se frente al resto de minerales de la dieta y abordar el impacto económico de las diferentes fuentes de selenio sobre la rentabilidad de la producción porcina.

### Referencias

1. Burk RF, Hill KE, Motley AK. Selenoprotein Metabolism and Function: Evidence for More than One Function for Selenoprotein P, 2. *J Nutr* 2003; 133(5): 1517S-1520S. Disponible en: <https://academic.oup.com/jn/article/133/5/1517S/4558540>
2. Ku PK, Miller ER, Walhstrom RC, Grace AW, Hitchcock JP, Ullrey DE. (1973). Selenium supplementation of naturally high selenium diets for swine. *J Anim Sci* 1973; 37(2): 501-505. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/jas1973.372501x>
3. Borella P, Bargellini A, Medici CI. Chemical form of selenium greatly affects metal uptake and responses by cultured human lymphocytes. *Biol Trace Elem Res* 1996; 51(1): 43-54. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02790146>
4. Mateo RD, Spallholz JE, Elder R, Yoon I, Kim SW. Efficacy of dietary selenium sources on growth and carcass characteristics of growing-finishing pigs fed diets containing high endogenous selenium. *J Anim Sci* 2007; 85(5): 1177-1183. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/jas.2006-067>

5. Mahan DC, Kim YY. Effect of inorganic or organic selenium at two dietary levels on reproductive performance and tissue selenium concentrations in first-parity gilts and their progeny. *J Anim Sci* 1996; 74(11): 2711-2718. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/1996.74112711x>
6. Mahan DC. Effect of organic and inorganic selenium sources and levels on sow colostrum and milk selenium content. *J Anim Sci* 2000; 78(1): 100-105. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/2000.781100x>
7. Mahan DC, Peters JC. Long-term effects of dietary organic and inorganic selenium sources and levels on reproducing sows and their progeny. *J Anim Sci* 2004; 82(5): 1343-1358. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/2004.8251343x>
8. Hu H, Wang M, Zhan X, Li X, Zhao R. Effect of different selenium sources on productive performance, serum and milk Se concentrations, and antioxidant status of sows. *Biol Trace Elem Res* 2011; 142(3): 471-480. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12011-010-8803-1>
9. Li JG, Zhou JC, Zhao H, Lei XG, Xia XJ, Gao G, et al. Enhanced water-holding capacity of meat was associated with increased Sepw1 gene expression in pigs fed selenium-enriched yeast. *Meat Sci* 2011; 87(2): 95-100. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.019>
10. Liu Y, Zhao Q, Tang J, Li K, Xia XJ, Lei XG. Prolonged dietary selenium deficiency or excess does not globally affect selenoprotein gene expression and/or protein production in various tissues of pigs. *J Nutr* 2012; 142(8): 1410-1416. Disponible en: <https://doi.org/10.3945/jn.112.159020>
11. Pinto A, Juniper DT, Sanil M, Morgan L, Clark L, Sies H, et al. Supranutritional selenium induces alterations in molecular targets related to energy metabolism in skeletal muscle and visceral adipose tissue of pigs. *J Inorg Biochem* 2012; 114: 47-54. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2012.04.011>
12. Cao J, Guo F, Zhang L, Dong B, Gong L. Effects of dietary Selenomethionine supplementation on growth performance, antioxidant status, plasma selenium concentration, and immune function in weaning pigs. *J Anim Sci Technol* 2014; 5(1): 46. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/2049-1891-5-46>
13. Rotruck JT, Pope AL, Ganther HE, Swanson AB, Hafeman DG, Hoekstra W. Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science* 1973; 179(4073): 588-590. Disponible en: <http://science.sciencemag.org/content/179/4073/588>
14. Surai PF, Fisinin VI. Selenium in sow nutrition. *Anim Feed Sci Technol* 2016; 211: 18-30. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.11.006>
15. Pappas AC, Zoidis E, Surai PF, Zervas G. Selenoproteins and maternal nutrition. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol* 2008; 151(4): 361-372. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2008.08.009>

16. Rederstorff M, Krol A, Lescure A. Understanding the importance of selenium and selenoproteins in muscle function. *Cell Mol Life Sci* 2006; 63(1): 52-59. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00018-005-5313-y>
17. Patterson EL, Milstrey R, Stokstad ELR. Effect of selenium in preventing exudative diathesis in chicks. *Proc Soc Exp Biol Med* 1957; 95(4): 617-620. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3181/00379727-95-23307>
18. Schwarz K, Bieri JG, Briggs GM, Scott ML. Prevention of exudative diathesis in chicks by factor 3 and selenium. *Proc Soc Exp Biol Med* 1957; 95(4): 621-625. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3181/00379727-95-23308>
19. Huang JQ, Li DL, Zhao H, Sun LH, Xia XJ, Wang KN, Lei XG. The selenium deficiency disease exudative diathesis in chicks is associated with downregulation of seven common selenoprotein genes in liver and muscle. *J Nutr* 2011; 141(9): 1605-1610. Disponible en: <https://academic.oup.com/jn/article/141/9/1605/4630620>
20. Hill KE, Motley AK, Li X, May JM, Burk RF. Combined selenium and vitamin E deficiency causes fatal myopathy in guinea pigs. *J Nutr* 2001; 131(6): 1798-1802. Disponible en: <https://academic.oup.com/jn/article/131/6/1798/4686775>
21. Lindberg P, Sirén M. Selenium concentration in kidneys of normal pigs and pigs affected with nutritional muscular dystrophy and liver dystrophy (Hepatosi dietetica). *Life Sci* 1963; 2(5): 326-330. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0024320563901644>
22. Sharp BA, Young LG, Van Dreumel AA. Dietary induction of mulberry heart disease and hepatosis dietetica in pigs I. Nutritional aspects. *Can J Comp Med* 1972; 36(4): 371. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1319701/>
23. Whanger PD, Pedersen ND, Elliot DH, Weswig PH, Muth OH. Free plasma amino acids in selenium-deficient lambs and rats. *J Nutr* 1972; 102(3): 435-442. Disponible en: <https://academic.oup.com/jn/article-abstract/102/3/435/4778651>
24. Hidiroglou M, Carson RB, Brossard GA. Problems associated with selenium deficiency in beef calves. *Can J Physiol Pharmacol* 1968; 46(6): 853-858. Disponible en: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/y68-133#.XJAV96B7ldg>
25. Bostedt H, Schramel P. The importance of selenium in the prenatal and postnatal development of calves and lambs. *Biol Trace Elem Res* 1990; 24(2-3): 163-171. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02917204>
26. Poston HA, Combs GF, Leibovitz L. Vitamin E and selenium interrelations in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*): gross, histological and biochemical deficiency signs. *J Nutr* 1976; 106(7): 892-904. Disponible en: <https://academic.oup.com/jn/article-abstract/106/7/892/4768859>
27. Jenkinson SG, Spence Jr TH, Lawrence RA, Hill KE, Duncan CA, Johnson KH. Rat lung glutathione release: response to oxidative stress and selenium deficiency. *J Appl Physiol* 1987; 62(1): 55-60. Disponible en: <https://doi.org/10.1152/jap.1987.62.1.55>

28. Arai M, Imai H, Koumura T, Yoshida M, Emoto K, Umeda M, et al. Mitochondrial phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase plays a major role in preventing oxidative injury to cells. *J Biol Chem* 1999; 274(8): 4924-4933. Disponible en: <http://www.jbc.org/content/274/8/4924.short>
29. Dalgaard TS, Briens M, Engberg RM, Lauridsen C. The influence of selenium and selenoproteins on immune responses of poultry and pigs. *Anim Feed Sci Technol* 2018; 238: 73-83. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds-ci.2018.01.020>
30. National Research Council. Nutrient requirements of swine. Eleven revised edition. Washington, DC: National Academies Press; 2012.
31. Rostagno HS, Texeira Albino LF, Hannas MI, Lopes Donzele J, Sakomura N, Perazzo FG, et al. Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos. Cuarta edición. Viçosa: Universidad Federal de Viçosa; 2017.
32. Seko Y, Saito Y, Kitahara J, Imura N. Active oxygen generation by the reaction of selenite with reduced glutathione in vitro. *Selenium in biology and medicine* 1989; 70-73. Disponible en: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-74421-1\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-74421-1_14)
33. Mahan DC. Selenium metabolism in animals: What role does selenium yeast have. *Biotechnology in the Feed Industry*. Nottingham: Nottingham University Press; 1995.
34. Mahan DC, Parrett NA. 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* 1996; 74(12): 2967-2974. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/1996.74122967x>
35. Jlali M, Briens M, Rouffineau F, Geraert PA, Mercier Y. Evaluation of the efficacy of 2-hydroxy-4-methylselenobutanoic acid on growth performance and tissue selenium retention in growing pigs. *J Anim Sci* 2014; 92(1): 182-188. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6783>
36. Adkins RS, Ewan RC. Effects of selenium on performance, serum selenium concentration and glutathione peroxidase activity in pigs. *J Anim Sci* 1984; 58(2): 346-350. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/jas1984.582346x>
37. Cheeke PR, Dierenfeld ES. *Comparative animal nutrition and metabolism*. CABI; 2010.
38. Murray RK, Granner DK, Mayes PA, Rodwell VW. *Harper bioquímica ilustrada*. México: El manual moderno; 2004.
39. Yoon I, McMillan E. Comparative effects of organic and inorganic selenium on selenium transfer from sows to nursing pigs. *J Anim Sci* 2006; 84(7): 1729-1733. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/jas.2005-311>

40. Chen J, Han JH, Guan WT, Chen F, Wang CX, Zhang YZ, et al. Selenium and vitamin E in sow diets: I. Effect on antioxidant status and reproductive performance in multiparous sows. *Anim Feed Sci Technol* 2016; 221: 111-123. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.08.022>
41. Quesnel H, Renaudin A, Le Floc'h N, Jondreville C, Père MC, Taylor-Pickard JA, Le Dividich, J. Effect of organic and inorganic selenium sources in sow diets on colostrum production and piglet response to a poor sanitary environment after weaning. *Animal* 2008; 2(6): 859-866. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S1751731108001869>
42. Svoboda M, Ficek R, Drabek J. Efficacy of organic selenium from Se-enriched yeast on selenium transfer from sows to piglets. *Acta Vet Brno* 2008; 77(4): 515-521. Disponible en: <https://doi.org/10.2754/avb200877040515>
43. Kim YY, Mahan DC. Prolonged feeding of high dietary levels of organic and inorganic selenium to gilts from 25 kg body weight through one parity. *J Anim Sci* 2001; 79(4): 956-966. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/2001.794956x>
44. Peters JC, Mahan DC, Wiseman TG, Fastinger ND. Effect of dietary organic and inorganic micromineral source and level on sow body, liver, colostrum, mature milk, and progeny mineral compositions over six parities 1 2. *J Anim Sci* 2010; 88(2): 626-637. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1782>
45. Chavez ER. Effect of dietary selenium on glutathione peroxidase activity in piglets. *Can J Anim Sci* 1979; 59(1): 67-75. Disponible en: <https://doi.org/10.4141/cjas79-008>
46. Chen J, Han JH, Guan WT, Chen F, Wang CX, Zhang YZ, et al. Selenium and vitamin E in sow diets: II. Effect on selenium status and antioxidant status of the progeny. *Anim Feed Sci Technol* 2016; 221: 101-110. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.08.021>
47. Ma YL, Lindemann MD, Pierce JL, Unrine JM, Cromwell GL. Effect of inorganic or organic selenium supplementation on reproductive performance and tissue trace mineral concentrations in gravid first-parity gilts, fetuses, and nursing piglets. *J Anim Sci* 2014; 92(12): 5540-5550. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7590>
48. Kim YY, Mahan DC. Comparative effects of high dietary levels of organic and inorganic selenium on selenium toxicity of growing-finishing pigs. *J Anim Sci* 2001; 79(4): 942-948. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/2001.794942x>
49. Falk M, Bernhoft A, Framstad T, Salbu B, Wisløff H, Kortner TM, et al. Effects of dietary sodium selenite and organic selenium sources on immune and inflammatory responses and selenium deposition in growing pigs. *J Trace Elem Med Biol* 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.03.003>
50. Goehring TB, Palmer IS, Olson OE, Libal GW, Wahlstrom RC. Toxic effects of selenium on growing swine fed corn-soybean meal diets. *J Anim Sci* 1984; 59(3): 733-737. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/jas1984.593733x>