

Artículo Original. Mayo-Agosto 2018; 8(2): 68-80. Recibido: 27/02/2018 Aceptado: 28/03/2018.

<http://dx.doi.org/10.21929/abavet2018.82.6>

Método de suplementación de zinc orgánico y respuesta productiva de cerdos en etapa de iniciación en clima cálido

Method of supplementation of organic zinc and productive response of pigs in initiation stage in warm weather

Romo-Valdez Juan romo_14@hotmail.com, Barajas-Cruz Rubén rubar@uas.edu.mx, Silva-Hidalgo Gabriela gabsilh@uas.edu.mx, Enríquez-Verdugo Idalia idaliaenver@yahoo.com, Güémez-Gaxiola Héctor hectorguem@gmail.com, *Romo-Rubio Javier romo60@uas.edu.mx

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa. México. *Autor responsable y de correspondencia: Romo-Rubio Javier. Boulevard San Ángel s/n, Colonia San Benito, Culiacán, Sinaloa, México, CP 80246. romo60@uas.edu.mx

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la respuesta productiva de cerdos en etapa de iniciación bajo condiciones de alta carga de calor ambiental a la suplementación adicional con zinc orgánico, se usaron 816 lechones (21 días de edad y 6.280 ± 0.817 kg de peso corporal), nacidos de madres que fueron suplementadas con 0 ó 100 mg Zn/kg de dieta durante la gestación y lactación, bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial $2 \times 2 \times 2$. El experimento se realizó en dos periodos: 1) Mayo-julio y 2) Septiembre-noviembre; cada uno con una duración de 49 días. En cada periodo, 408 lechones fueron agrupados por peso en 3 grupos uniformes, distribuidos en 12 corraletas (6 repeticiones/tratamiento). Los niveles de suplementación adicional probados fueron de 0 y 100 mg Zn/kg de dieta y los tratamientos consistieron en: 1) Madres no suplementadas-lechones no suplementados (Testigo); 2) Madres no suplementadas-lechones suplementados (ZnC); 3) Madres suplementadas-lechones no suplementados (ZnGL) y 4) Madres suplementadas-lechones suplementados (ZnGL + ZnC). Los cerdos se alimentaron con dietas que cubrieron sus requerimientos nutrimentales durante el experimento. El THI promedio fue de 78.19 ± 2.9 durante el periodo de prueba. No existió interacción entre tratamientos sobre las variables evaluadas. El suplementar Zn orgánico durante el periodo de gestación-lactación tendió ($P=0.06$) a disminuir la mortalidad; sin embargo, el continuar con la suplementación adicional durante la fase de iniciación no ofreció ventaja. No existieron diferencias en las otras variables evaluadas en el grupo suplementado debido al método de suplementación. Se concluye que la suplementación adicional con 100 mg de Zn a partir de Metionina de Zinc durante la fase de gestación-lactación ayuda a disminuir la mortalidad en la etapa de iniciación, en lechones criados en clima cálido.

Palabras clave: Metionina de Zinc, lechones, mortalidad, desempeño productivo.

ABSTRACT

In order to evaluate the productive response of pigs in initiation under conditions of high environmental heat load to organic zinc additional supplementation, 816 piglets (21 days of age and 6.280 ± 0.817 kg of body weight) were used, born of mothers who were supplemented with 0 or 100 mg Zn / kg of diet during pregnancy and lactation, under a randomized complete block design with a $2 \times 2 \times 2$ factorial arrangement. The experiment was carried out during two periods: 1) May-July and 2) September-November; each with duration of 49 days. In each period, 408 piglets were grouped by weight in 3 uniform groups, distributed in 12 pens (6 repetitions / treatment). The levels of additional supplementation tested were 0 and 100 mg Zn / kg of diet and the treatments were: 1) Mothers not supplemented-piglets not supplemented (Control); 2)

Mothers not supplemented-supplemented piglets (ZnC); 3) Mothers supplemented-piglets not supplemented (ZnGL) and 4) Mothers supplemented-piglets supplemented (ZnGL + ZnC). The pigs were fed diets that met their nutritional requirements during the experiment. The average THI was 78.19 ± 2.9 during the test period. There was no interaction between treatments on the variables evaluated. Supplementing Zn during the gestation-lactation period tended ($P = 0.06$) to decrease mortality; however, continuing with additional supplementation during the initiation phase offered no advantage. There were no differences in the other variables evaluated in the supplemented group due to the supplementation method. It is concluded that additional supplementation with 100 mg of Zn from Zn during the gestation-lactation phase help to reduce the mortality in the initiation stage, in piglets bred in warm weather.

Keywords: Zinc methionine, piglets, mortality, productive performance.

INTRODUCCIÓN

El estrés calórico induce alteraciones en el sistema metabólico (Baumgard y Rhoads, 2013), que incluye la disminución en la liberación de hormona del crecimiento y tiroidea, provocando una reducción de la tasa metabólica basal (Aggarwal y Upadhyay, 2013), afectando la expresión de genes y proteínas involucradas en el metabolismo de la energía y nutrientes (Sanz *et al.*, 2015). El Zinc en la forma de ión metálico divalente, Zn^{2+} , es nutricionalmente esencial para todos los organismos vivos (Maret, 2013); es una mineral traza con probada importancia para la función de más de 300 enzimas (Chasapis *et al.*, 2012). La acción metabólica del Zn incluye el metabolismo energético, síntesis de proteína, metabolismo de ácidos nucleicos, integridad del tejido epitelial, reparación y división celular, transporte y utilización de vitamina A y absorción de vitamina E (Borah *et al.*, 2014).

Se ha sugerido que el Zn es requerido por el feto para apoyar la proliferación celular, y la diferenciación de tejidos en los órganos en desarrollo (Terrin *et al.*, 2015). La suplementación con Zn en la dieta de la cerda durante la gestación y lactancia reduce la mortalidad predestete (Payne *et al.*, 2006; Romo *et al.*, 2017), mejora la condición de los lechones durante la lactancia (Caine *et al.*, 2009) y la función inmune de los lechones (Romo *et al.*, 2017). También se ha sugerido, que la adición de Zn a la dieta previene la reducción y mejora la integridad intestinal durante el estrés calórico (Sanz *et al.*, 2014), disminuye la permeabilidad intestinal en los lechones durante el destete (Zhang y Guo, 2009), promueve la restauración del epitelio intestinal (Song *et al.*, 2015) y mejora el metabolismo proteico en los cerdos (Pearce *et al.*, 2015).

Debido a que los requerimientos de Zn se incrementan durante el estrés por calor (Lagana *et al.*, 2007), se ha sugerido que la adición de Zn a la dieta alimenticia puede ser usada para atenuar la disminución sérica de Zn durante periodos con temperaturas ambientales elevadas (Li *et al.*, 2015). Las dietas para cerdos son generalmente suplementadas con Zn inorgánico ($ZnSO_4$ o ZnO) para asegurar el consumo requerido; siendo el $ZnSO_4$ la fuente inorgánica con más alta biodisponibilidad (NRC, 2012). En años recientes, el uso de fuentes orgánicas se ha explorado debido a su mayor biodisponibilidad (Star *et al.*, 2012).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la suplementación adicional de zinc orgánico en la respuesta productiva de cerdos en iniciación, bajo condiciones de alta carga de calor ambiental, nacidos de madres suplementadas o no con Zn orgánico durante la gestación y lactación.

MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la granja porcina “La Huerta”, localizada en la Sindicatura de Culiacancito, Culiacán, Sinaloa., con coordenadas geográficas: 24° 49' 38' latitud Norte y 107° 22' 47' longitud Oeste. El lugar cuenta con una altitud de 60 metros sobre el nivel del mar (msnm); el clima se clasifica como semiseco muy cálido (BS1(h')), con temperatura media anual de 24.9 °C, con máximas de 45°C en los meses de julio y agosto y mínimas de 7°C en diciembre y enero. La precipitación pluvial promedio es de 671.4 mm, con precipitaciones máximas en los meses de julio, agosto y septiembre.

El trabajo se realizó durante los meses de mayo-julio (primer periodo) y de septiembre a noviembre de 2015 (segundo periodo); la temperatura promedio durante estos periodos fue de 28.68 °C y humedad relativa del 63% (CIAD, 2015). Durante el periodo de prueba los cerdos estuvieron expuestos a un índice de temperatura y humedad (THI) de 78.19 ± 2.9 , de acuerdo con Mader *et al.* (2006).

Diseño experimental. Se utilizaron 816 lechones con una edad promedio de 21 días y 6.280 ± 0.817 kg de peso corporal, provenientes de un estudio previo (Romo *et al.*, 2017), realizado en cerdas que recibieron o no alimento adicionado con 100 mg de Zn orgánico a partir de metionina de zinc (MetZn)/kg de alimento a partir de los 35 días de gestación hasta el momento del destete. Los lechones fueron asignados a uno de cuatro tratamientos en un diseño experimental de BCA con arreglo factorial $2 \times 2 \times 2$, para recibir o no, alimento suplementado adicionalmente con 100 mg de Zn/kg; donde los factores fueron: el método de suplementación (1. suplementación en gestación-lactancia y 2. Suplementación durante el periodo de iniciación), el nivel de suplementación adicional de Zn (0 y 100 mg/kg de alimento) y el periodo de estudio (1. mayo-julio y 2. septiembre-noviembre).

Los tratamientos fueron: 1) Madres no suplementadas-lechones no suplementados (Testigo; n = 204); 2) Madres no suplementadas-lechones suplementados (ZnC; n = 204); 3) Madres suplementadas-lechones no suplementados (ZnGL; n = 204) y 4) Madres suplementadas-lechones suplementados (ZnGL + ZnC; n = 204). Durante las dos primeras semanas posdestete los cerdos recibieron alimento comercial, Vimifos Fase 1® y Vimifos Fase 2®, a los que se le adicionaron 100 mg Zn orgánico/kg; las dietas de pre-iniciación e iniciación fueron elaboradas en la granja a base de maíz-pasta de soya. Las dietas contenían el aporte nutrimental para cada etapa fisiológica (ver Tablas 3 y 4).

Manejo de los animales. En cada periodo de estudio, los lechones previamente pesados e identificados, fueron alojados en 12 corraletas, cada una con un espacio de 12 m² (8 x 1.5 m); la corraleta estuvo dividida con un comedero de acero tipo tolva al centro, de tal

forma que en una de las mitades (4 x 1.5 m) se alojaron 17 hembras y en la otra 17 machos. La corraleta tuvo piso de rejilla de acero, en salas cerradas totalmente techadas y con ventilación forzada. Cada una de las divisiones tuvo dos bebederos de chupón metálico. Los cerdos tuvieron acceso permanente a agua de bebida y alimentación a libre acceso. El día 49 después de iniciado el estudio los cerdos fueron pesados. La unidad experimental fue la corraleta completa.

Mediciones. Se registró el alimento servido en cada corraleta. Al final de cada periodo de prueba se pesaron los cerdos de cada corral y con la información de consumo de alimento y ganancia de peso se obtuvo el promedio de ganancia diaria de peso y consumo diario de alimento, así como la conversión alimenticia. También se registró la mortalidad durante cada periodo de estudio.

Análisis estadístico. A las variables de consumo de alimento, ganancia diaria de peso y conversión alimenticia, se le aplicó un análisis de varianza para un diseño por bloques completos al azar con arreglo factorial 2 x 2 x 2. Los valores de número de muertos y mortalidad fueron analizados por estadística no paramétrica con la prueba de Kruskal-Wallis. Se realizó análisis de contrastes para determinar el efecto del método de suplementación sobre las variables en estudio; los contrastes realizados fueron: Testigo vs. Tratamiento 2 (Madres no suplementadas-lechones suplementados) y Tratamiento 4 (Madres suplementadas-lechones suplementados) y Testigo vs. Tratamiento 3 (Madres suplementadas-lechones no suplementados) y Tratamiento 4 (Madres suplementadas-lechones suplementados). El alfa para aceptar diferencia estadística fue $P < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones de clima durante el experimento se muestran en las Tablas 1 y 2. El THI máximo diario excedió el valor termo neutral límite para los cerdos, que es de un THI de 74 (Mader *et al.*, 2006) para cada día del estudio. Durante el periodo 1 (mayo-julio) los cerdos estuvieron expuestos a una temperatura ambiental promedio de 29.66 °C y humedad relativa del 54.45%; lo que de acuerdo con Mader *et al.* (2006), estuvieron en un THI promedio de 78.49, que indica un estado de alerta fisiológica; sin embargo, durante la mayor parte del tiempo que duró el experimento estuvieron en un THI superior a 80; lo que indica que los cerdos estuvieron expuestos a estrés calórico. Durante el periodo 2 (septiembre-noviembre), los cerdos estuvieron expuestos a una temperatura ambiental promedio de 27.7 °C y humedad relativa del 70.39 % (THI = 77.9; alerta fisiológica).

En los cerdos en crecimiento, la exposición constante al estrés calórico aumenta notablemente las tasas de respiración y la temperatura corporal, disminuye las ganancias de peso corporal y reduce significativamente el consumo de alimento (Pearce *et al.*, 2013b); asimismo, provoca una redistribución de la sangre a la periferia en un intento por maximizar la disipación del calor radiante; mientras que a nivel gastrointestinal ocurre una vasoconstricción para redefinir el flujo sanguíneo (Lambert, 2008); en consecuencia, la

reducción del flujo sanguíneo y de nutrientes al epitelio intestinal, compromete la integridad de la barrera intestinal (Yan *et al.*, 2006). Pearce *et al.* (2013a) indicaron que tanto el estrés calórico como el consumo reducido de alimento disminuyen la integridad intestinal y aumentan la permeabilidad a las endotoxinas.

Tabla 1. Promedio semanal de humedad relativa, temperatura ambiente y THI para el periodo 1 (mayo-julio de 2015) del experimento.

Semana	Prom. HR	Prom.T (°C)	Min T (°C)	Max T (°C)	Prom. THI ¹	Min THI	Max THI
1	52.52	26.48	17.36	37.69	73.92	61.83	88.77
2	47.67	26.89	16.31	38.56	73.88	60.44	88.68
3	57.05	30.60	24.17	39.14	80.13	71.32	91.83
4	56.14	30.84	24.66	39.00	80.31	71.90	91.41
5	55.24	30.81	23.79	39.59	80.12	70.69	91.97
6	55.24	30.81	23.79	39.59	80.12	70.69	91.97
7	57.29	31.20	25.14	39.57	80.94	72.64	92.42
Promedio	54.45	29.66	22.17	39.02	78.49	68.50	91.01

¹Índice de temperatura y humedad (THI) = $0.8 \times \text{Temperatura ambiente} + [(\% \text{ humedad relativa} + 100) \times (\text{temperatura ambiente} - 14.4)] + 46.4$. THI rangos (normal THI <74; alerta 75 a 79; peligro 79 a 84; y emergencia >84).

Tabla 2. Promedio semanal de humedad relativa, temperatura ambiente y THI para el periodo 2 (septiembre-noviembre de 2015) del experimento.

Semana	Prom. HR	Prom.T (°C)	Min T (°C)	Max T (°C)	Prom. THI ¹	Min THI	Max THI
1	71.84	30.68	25.51	38.80	82.63	74.81	94.97
2	77.41	27.20	23.16	33.91	77.89	71.60	88.36
3	75.56	28.02	23.50	34.89	79.06	72.05	89.73
4	67.60	28.97	23.16	37.43	79.46	70.89	91.94
5	65.16	27.17	21.00	35.70	76.46	67.55	88.80
6	65.16	27.17	21.00	35.70	76.46	67.55	88.80
7	70.02	24.70	19.57	33.03	73.37	65.69	85.81
Promedio	70.39	27.70	22.41	35.64	77.90	70.02	89.77

¹Índice de temperatura y humedad (THI) = $0.8 \times \text{Temperatura ambiente} + [(\% \text{ humedad relativa} + 100) \times (\text{temperatura ambiente} - 14.4)] + 46.4$. THI rangos (normal THI <74; alerta 75 a 79; peligro 79 a 84; y emergencia >84).

El zinc es esencial para la función normal de la barrera intestinal y para la regeneración del epitelio intestinal dañado (Zhong *et al.*, 2010); la suplementación con zinc reduce la permeabilidad intestinal de los lechones durante el destete (Zhang y Guo, 2009). Además, el Zn participa en el sistema de defensa antioxidante del organismo animal y la deficiencia de Zn incrementa el daño oxidativo en la membrana celular, causado por los radicales libres (Waeytens *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2013).

El efecto del consumo de alimento adicionado con metionina de Zn durante la etapa de gestación y lactancia (GL), por parte de la cerda y de los lechones durante la etapa de iniciación, se muestra en la Tabla 5. La mortalidad tendió a ser menor ($P = 0.06$) en los

cerdos destetados provenientes de cerdas que consumieron alimento adicionado con 100 mg de Zn/kg de alimento durante la etapa de GL.

En un trabajo previo Romo *et al.* (2017), observaron que el consumo adicional de 100 mg de Zn durante el periodo de gestación y lactancia, disminuyó ($P = 0.006$) la mortalidad de lechones durante la lactancia (11 vs. 26%); resultados similares informaron Payne *et al.* (2006), quienes al ofrecer alimento con 100 ppm de ZnSO_4 más la adición de 100 ppm de una fuente orgánica de Zn-aminoácidos (ZnAA), desde los 15 d de gestación; y durante la lactancia observaron una mayor sobrevivencia de lechones durante la lactación y más lechones destetados por camada. También, Caine *et al.* (2009), informaron que el consumo de dietas adicionadas con 250 mg/kg de ZnAA por las cerdas durante el último tercio de gestación, así como la administración gástrica por intubación de 40 mg Zn, a partir de metionina de zinc (MetZn) a los lechones lactantes al momento del nacimiento, a los 7 y 14 d de edad, mejoraba la condición de los lechones durante la lactancia.

Se ha sugerido que el Zn es requerido por el feto para apoyar la proliferación celular, y la diferenciación de tejidos en los órganos en desarrollo (Terrin *et al.*, 2015). Estos efectos del Zn durante la gestación y lactación, son especialmente importantes porque la cerda puede proveer los nutrientes necesarios para apoyar el crecimiento y desarrollo del feto y el lechón; además, las reservas corporales de los elementos traza han mostrado que sirven como una fuente para reunir los requerimientos nutricionales del feto (Mahan y Vallet, 1997).

Hay varios informes respecto al efecto del Zn en el cerdo, pero son pocos los estudios realizados con fuentes orgánicas de Zn en las cerdas gestantes y lactantes, y los efectos subsecuentes sobre el cerdo en crecimiento. Al respecto, Caine *et al.* (2009), sugirieron que el consumo de dietas adicionadas con 250 mg/kg de Zn a partir de ZnAA, durante el último trimestre de gestación de las cerdas, elevó la concentración sérica de Zn en los lechones lactantes, pero no informaron sobre el desempeño de los lechones durante la etapa de iniciación. Romo *et al.* (2017) indicaron que los lechones destetados de cerdas que consumieron alimento adicionado con Zn a partir de los 35 días de gestación y durante la lactancia, tuvieron una mayor ($P = 0.001$) concentración plasmática de IgG (267 vs. 390.8 ng/ml) a los 14 días posdestete. También se ha informado que en pollos de engorda la suplementación con Zn incrementa los títulos de IgM e IgG (Sunder *et al.*, 2008).

El consumo de alimento adicionado con 100 mg de Zn/kg de alimento, a partir de metionina de zinc, durante GL y 49 días posdestete, no mejoró ($p > 0.05$) el comportamiento productivo de los cerdos en iniciación. Se sabe que los lechones destetados son sometidos a importantes cambios nutricionales y ambientales, que alteran de manera dramática el equilibrio de la microbiota del aparato gastrointestinal; lo que proporciona una oportunidad para que los patógenos colonicen y causen enfermedades, y provoquen un rendimiento pobre en el crecimiento e incluso la muerte. También se ha

informado que el estrés por calor daña la integridad de la barrera intestinal, lo que puede aumentar la circulación de endotoxinas (Pearce *et al.*, 2012).

Se ha sugerido que la suplementación con Zn a la dosis adecuada, podría mejorar aspectos de la integridad del intestino delgado y atenuar el daño intestinal (Ineu *et al.*, 2013, Sanz *et al.*, 2014). Sin embargo, niveles farmacológicos de Zn (entre 300 a 3000 ppm) se usan a menudo en la industria porcina en las dietas de cerdos en iniciación, inmediatamente después del destete; y se ha informado que aumentan el rendimiento en el crecimiento (Morales *et al.*, 2012).

En este estudio el contenido de Zn inorgánico de las dietas testigo utilizadas, fue de 2064 mg de Zn/kg en el alimento comercial Vimifos Fase 1® y 2395 mg/kg en Vimifos Fase 2®, consumido durante un periodo de siete días posdestete cada uno; en el alimento pre-iniciador que se ofreció durante un periodo de 14 días el contenido fue de 1251 mg de Zn/kg y el alimento de iniciación contenía 173 mg de Zn/kg, mismo que se ofreció por un periodo de 21 días; niveles que están por arriba de los requerimientos nutricionales del cerdo (NRC, 2012). A las dietas testigo se les adicionó 100 mg de Zn orgánico/kg, a partir de metionina de zinc; nivel adicional que no mejoró la respuesta productiva de los cerdos en la etapa de iniciación.

Niveles farmacológicos de zinc inorgánico previenen enfermedades diarreicas en los lechones; al respecto se ha demostrado que el óxido de zinc tiene propiedades antimicrobianas, provocando cambios en el ecosistema gastrointestinal del lechón (Molist *et al.*, 2011, Slade *et al.*, 2011, Pieper *et al.*, 2012, Hu *et al.*, 2013); lo que condujo a la suposición de que altos niveles de óxido de zinc en la dieta, aumenta el crecimiento de los cerdos destetados mediante el control de la población de bacterianas patógenas a nivel intestinal. Al respecto, Zhang y Guo (2009) indicaron que altas concentraciones de Zn en la dieta disminuyen la permeabilidad intestinal evitando el traslado de bacterias patógenas a través de la barrera intestinal; en este sentido, Debski (2016) sugirió que para el tratamiento de la diarrea, sólo dosis farmacológicas de 2000-3000 mg de ZnO/kg de alimento, son benéficas durante las primeras 2-3 semanas después del destete; aunque otros investigadores han informado que dosis farmacológicas de 1000 a 3000 mg de zinc/kg de alimento se pueden administrar a los lechones hasta por cinco semanas, para prevenir o superar la diarrea posdestete y mejorar el rendimiento de los cerdos (ANSES, 2013; Sales, 2013).

Se ha demostrado que el estrés del destete provoca deficiencias de Zn en los lechones (Davin *et al.*, 2013), lo que puede afectar su comportamiento productivo; sin embargo, el reabastecimiento de estas pérdidas no justifican la suplementación con dosis farmacológicas, debido a que la homeostasis del zinc es un "sistema cerrado", y sólo alrededor del 0.1% del total de zinc necesita ser reabastecido diariamente (Maret y Sandstead, 2006); por lo que parece ser, que a los cerdos criados en ambientes con estatus sanitarios elevados, la suplementación de Zn debe hacerse con bajos niveles; al respecto, en la comunidad europea se ha propuesto que la concentración máxima de Zn

en la alimentación de lechones y cerdas debe ser de 150 mg/kg de alimento la (EFSA, 2014).

Tabla 3. Análisis químico proximal de los alimentos comerciales ofrecidos a los lechones destetados en los primeros 14 días del periodo de estudio

Ingredientes	¹ Vimifos Fase 1® (7 días)	² Vimifos Fase 2® (7 días)
Proteína cruda (%; mínimo)	20	18
Grasa cruda (%; mínimo)	4	3
Fibra cruda (%; máximo)	3	3
Humedad (%; máximo)	12	12
Cenizas (%; máximo)	8	9
E.L.N.	53	55

¹Dieta control (comercial) que contenía 2064 mg de Zn/kg a partir de una fuente inorgánica; ²Dieta control (comercial) que contenía 2395 mg de Zn/kg a partir de una fuente inorgánica. A cada una de las dietas de prueba se le adicionaron 100 mg de Zn a partir de MetZn.

Los resultados obtenidos en el comportamiento productivo de los cerdos en iniciación del presente estudio eran previsibles; sin embargo, la disminución de la mortalidad en los cerdos durante dicha etapa, provenientes de cerdas que recibieron dietas suplementadas con Zn durante la gestación y lactancia, sugiere que este método de suplementación puede mejorar la capacidad de respuesta inmunológica y de adaptación fisiológica de los lechones a eventos estresantes durante el periodo de iniciación.

CONCLUSIÓN

La suplementación con 100 mg de Zn orgánico/kg de alimento a partir metionina de zinc durante la gestación y la lactancia, puede ser un método útil para disminuir la mortalidad de los lechones durante la etapa de iniciación, criados bajo condiciones de alta carga calórica.

LITERATURA CITADA

AGGARWAL A, Upadhyay R. 2013. Thermoregulation. In: A. Aggarwal, editor, Heat stress and animal productivity. Springer Press, New Delhi, India. p. 27–42. ISBN: 978-81-322-0879-2

ANSES (French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety). 2013. Opinion of the on the use of zinc oxide in the diet of piglets at weaning to reduce the use of antibiotics. *ANSES Opinion*. Request No. 2012-SA-0067 Available online: <http://www.anses.fr/sites/default/files/documents/ALAN2012sa0067Ra.pdf>

BAUMGARD LH, Rhoads Jr. RP. 2013. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annual Review of Animal Biosciences*. 1:311–337. ISSN: 2165-8102. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103644>

Tabla 4. Composición y aporte nutrimental de las dietas ofrecidas a los cerdos de iniciación a partir de los 14 posdestete.

Ingredientes	¹ Pre-iniciador (14 días)	² Iniciador (21 días)
Maíz	603	738
Pasta de soya	206	218
Aceite	16	12
Vimifos Baby Pig Mix	175	
Premezcla mineral		32
Aporte nutrimental		
E.M.(Mcal Kg ⁻¹)	3.304	3.355
Proteína (%)	18.700	16.949
Lisina (%)	1.271	1.177
Fibra (%)	2.266	2.499
Fósforo (%)	0.691	0.599
Calcio (%)	0.938	0.693

¹Dieta control que contenía 1251 mg de Zn/kg a partir de una premezcla mineral; ²Dieta control que contenía 173 mg de Zn/kg a partir de una premezcla mineral. A cada una de las dietas de prueba se le adicionaron 100 mg de Zn a partir de MetZn.

Tabla 5. Efecto del consumo de alimento adicionado con 100 ppm de Zinc orgánico durante el periodo de gestación y lactancia, y en la etapa de iniciación en el desempeño productivo de cerdos en crecimiento bajo estrés calórico, en dos periodos del año (mayo-julio y septiembre-noviembre de 2015).

Variable	¹ Tratamientos				Error estándar	² Factores principales			Interacción			³ Contrastes	
	Testigo	ZnC	ZnGL	ZnGL + ZnC		P	ZnGL	ZnC	Px ZnGL	Px ZnC	ZnGLx ZnC	1	2
Peso Inicial, kg	6.33	6.28	6.26	6.27	0.366	0.81	0.91	0.97	0.91	0.87	0.92	0.90	0.88
Peso Final, kg	21.00	21.53	21.22	21.78	0.963	0.94	0.82	0.56	0.73	0.60	0.99	0.58	0.68
⁴ GDP, kg/día	0.30	0.31	0.31	0.32	0.016	0.97	0.76	0.53	0.72	0.60	0.99	0.50	0.59
Consumo, kg/día	0.60	0.59	0.57	0.58	0.034	0.15	0.55	0.90	0.63	0.89	0.84	0.83	0.61
Consumo/ganancia	1.99	1.90	1.88	1.83	0.075	0.05	0.24	0.35	0.95	0.73	0.76	0.18	0.15
⁵ Muertos, n	0.93	0.67	0.17	0.17	0.308	0.18	0.07	0.78	-	-	-	0.29	0.09
⁵ Mortalidad, %	2.33	2.00	0.50	0.50	0.869	0.18	0.06	0.85	-	-	-	0.32	0.10

¹Tratamientos: Testigo = madres no suplementadas-lechones no suplementados; ZnC = Madres no suplementadas-lechones suplementados; ZnGL = madres suplementadas-lechones no suplementados; ZnGL + ZnC = madres suplementadas-lechones suplementados. Suplemento de 100 mg de Zn/kg de alimento, proporcionados a partir de metionina de zinc (Zinpro 100; Zinpro, Eden Prairie, MN). ² Factores: P = Periodo (1,2), método de suplementación = ZnGL y ZnC, nivel de adición de Zn (0 y 100 mg/kg alimento); ³Contrastes: 1 = Testigo vs. ZnC y ZnGL+ ZnC; 2 = Testigo vs. ZnGL y ZnGL+ ZnC; ⁴GDP = Ganancia diaria de peso corporal; ⁵Los valores de número de muertos y mortalidad fueron analizados por estadística no paramétrica con la prueba de Kruskal-Wallis. Conversión/ganancia: Periodo 1 = 1.824, periodo 2 = 1.978, error estándar 0.051; Muertos: ZnGL = 0.17, ZnC = 0.75, error estándar 0.213; Mortalidad ZnGL = 0.50; ZnC = 2.17, error estándar 0.599.

BORAH S, Sarmah BC, Chakravarty P, Naskar S, Dutta DJ, Kalita D. 2014. Effect of zinc supplementation on serum biochemicals in grower pig. *Journal of Applied Animal Research*. 42 (2): 244- 248. ISSN: 0971-2119. <http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2013.824888>

CAINE WR, Metzler-Zebeli BU, McFall M, Miller B, Ward TL, Kirkwood RN, Mosenthin R. 2009. Supplementation of diets for gestating sows with zinc amino acid complex and gastric intubation of suckling pigs with zinc-methionine on mineral status, intestinal morphology and bacterial translocation in lipopolysaccharide-challenged early-weaned pigs. *Research in Veterinary Science*. ISSN: 0034-5288. 86(3):453–462. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rvsc.2008.10.005>. Epub 2008 Dec 4

CHASAPIS CT, Loutsidou AC, Spiliopoulou CA, Stefanidou ME. 2012. Zinc and human health: an update. *Archives of Toxicology*. 86(4):521–534. ISSN: 0340-5761. <http://dx.doi.org/10.1007/s00204-011-0775-1>

DAVIN R, Manzanilla EG, Klasing KC, Perez JF. 2013. Effect of weaning and in-feed high doses of zinc oxide on zinc levels in different body compartments of piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 97, (Suppl. s1): 6-12. ISSN:0931-2439. <http://dx.doi.org/10.1111/jpn.12046>.

DEBSKI B. 2016. Supplementation of pigs diet with zinc and copper as alternative to conventional antimicrobials. *Polish Journal of Veterinary Sciences*. 19 (4): 917–924. ISSN: 2300-2557. <http://dx.doi.org/10.1515/pjvs-2016-0113>

EFSA FEEDAP Panel (EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed). 2014. Scientific Opinion on the potential reduction of the currently authorised maximum zinc content in complete feed. *EFSA Journal*. 12(5):3668-3677. ISSN 1831 – 4732. <http://dx.doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3668>

HU CH, Xiao K, Song J and Luan ZS. 2013. Effects of zinc oxide supported on zeolite on growth performance, intestinal microflora and permeability, and cytokines expression of weaned pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 181:65–71. ISSN: 0377-8401. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840113000539?via%3Dihub>

INEU RP, Oliveira CS, Oliveira VA, Moraes-Silva L, da Luz SCA, and Pereira ME. 2013. Antioxidant effect of zinc chloride against ethanol-induced gastrointestinal lesions in rats. *Food and Chemical Toxicology*. 58:522–529. ISSN:0278-6915. Disponible en: https://ac.els-cdn.com/S0278691513003268/1-s2.0-S0278691513003268-main.pdf?_tid=spdf-ddb64d0c-4bd4-4a3a-9a00-202221d993a4&acdnat=1519702406_629c8214116f88bad65642b760dc3ff1

LAGANA C, Ribeiro AML, Kessler A, Kratz LR, Pinheiro CC. 2007. Effect of the supplementation of vitamins and organic minerals on the performance of broilers under

heat stress. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 9(1):39–43. ISSN 1516-635X. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-635X2007000100006>

LAMBERT GP. 2008. Intestinal barrier dysfunction, endotoxemia, and gastrointestinal symptoms: The 'canary in the coal mine' during exercise heat-stress. *Medicine and Sport Science*. 53:61–73. ISSN, 02545020. <http://dx.doi.org/10.1159/000151550>

LI Y, Cao Y, Zhou X, Wang F, Shan T, Li Z, Xu W, Li C. 2015. Effects of zinc sulfate pretreatment on heat tolerance of Bama miniature pig under high ambient temperature. *Journal of Animal Science*. 93(7):3421–3430. ISSN: 0021-8812. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-8910>

MADER TL, Davis MS, Brown-Brandl T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 84:712-719. ISSN: 0021-8812. Disponible en: <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1622&context=animalscifacpub>

MAHAN DC, Vallet JL. 1997. Vitamin and mineral transfer during fetal development and the early postnatal period in pigs. *Journal of Animal Science*. 75(10):2731–2738. ISSN: 0021-8812. <http://dx.doi.org/10.2527/1997.75102731x>

MARET W, Sandstead HH. 2006. Zinc requirements and the risks and benefits of zinc supplementation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 20(1):3–18. ISSN, 0946672X. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2006.01.006>

MARET W. 2013. Zinc biochemistry: From a single zinc enzyme to a key element of life. *Advances in Nutrition*. 4(1):82–91. ISSN: 2161-8313. <http://dx.doi.org/10.3945/an.112.003038>.

MOLIST F, Hermes RG, Gómez de Segura A, Martín-Orúe SM, Gasa J, Garcia Manzanilla E and Pérez JF, 2011. Effect and interaction between wheat bran and zinc oxide on productive performance and intestinal health in post-weaning piglets. *British Journal of Nutrition*. 105(11):1592–1600. ISSN: 0007-1145. <http://doi.org/10.1017/S0007114510004575>

MORALES J, Cordero G, Piñeiro C, Durosoy S. 2012. Zinc oxide at low supplementation level improves productive performance and health status of piglets. *Journal of Animal Science*. 90 (suppl. 4): 436–438. ISSN: 0021-8812. <https://doi.org/10.2527/jas.53833>.

NRC. 2012. Nutrient requirements of swine. 11th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC. ISBN: 978-0-309-22427-7, DOI: <https://doi.org/10.17226/13298>

PAYNE RL, Bidner TD, Fakler TM and LL Southern. 2006. Growth and intestinal morphology of pigs from sows fed two zinc sources during gestation and lactation. *Journal of Animal Science*. 84:2141-214. ISSN: 0021-8812. <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2005-627>

PEARCE SC, Gabler NK, Ross JW, Escobar J, Patience JF, Rhoads RP, Baumgard LH. 2013b. The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs.

Journal of Animal Science. 91(5):2108–2118. ISSN: 0021-8812.
<https://doi.org/10.2527/jas2012-5738>

PEARCE SC, Mani V, Boddicker RL, Johnson JS, Weber TE, Ross JW, Baumgard LH, and Gabler NK. 2012. Heat stress reduces barrier function and alters intestinal metabolism in growing pigs. *Journal of Animal Science*. 90(Suppl. 4):257–259. doi: <https://dx.doi.org/10.2527/jas.52339>.

PEARCE SC, Mani V, Weber TE, Rhoads RP, Patience JF, Baumgard LH, and Gabler NK. 2013a. Heat stress and reduced plane of nutrition decreases intestinal integrity and function in pigs. *J. Anim. Sci.* 91:5183–5193. ISSN: 0021-8812, <https://doi.org/10.2527/jas2013-6759>

PEARCE SC, Sanz Fernandez MV, Torrison J, Wilson ME, Baumgard LH, Gabler NK. 2015. Dietary organic zinc attenuates heat stress–induced changes in pig intestinal integrity and metabolism. *Journal of Animal Science*. 93(10):4702–4713. ISSN: 0021-8812. <https://dx.doi.org/10.2527/jas2015-9018>

PIEPER R, Vahjen W, Neumann K, Van Kessel AG and Zentek J, 2012. Dose-dependent effects of dietary zinc oxide on bacterial communities and metabolic profiles in the ileum of weaned pigs. ISSN:0931-2439. 96(5): 825–833. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01231.x>.

ROMO JM, Romo JA, Barajas R, Enríquez I, Silva G, Montero A. 2017. Efecto del consume de zinc orgánico en la respuesta productiva de la cerda y su camada. *Abanico veterinario*, Mayo-Agosto 2017; 7(2):43-59. ISSN 2448-6132. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2017.72.4>

SALES J. 2013. Effects of pharmacological concentrations of dietary zinc oxide on growth of post-weaning pigs: A meta-analysis. *Biological Trace Element Research*. 152 (3):343–349. ISSN: 0163-498. <http://dx.doi.org/10.1007/s12011-013-9638-3>

SANZ FMV, Johnson JS, Abuajamieh M, Stoakes SK, Seibert JT, Cox L, Kahl S, Elsasser TH, Ross JW, Isom SC., Rhoads RP, Baumgard LH. 2015. Effects of heat stress on carbohydrate and lipid metabolism in growing pigs. *Physiological Reports*. 3(2):e12315: 1-17. ISSN 2051-817X. <http://dx.doi.org/10.14814/phy2.12315>

SANZ FMV, Pearce SC, Gabler NK, Patience JF, Wilson ME, Socha MT, Torrison JL, Rhoads RP, and Baumgard LH. 2014. Effects of supplemental zinc amino acid complex on gut integrity in heat-stressed growing pigs. *Animal*. 8(1):43–50. ISSN: 1751-7311, <http://dx.doi.org/10.1017/S1751731113001961>

SLADE RD, Kyriazakis I, Carroll SM, Reynolds FH, Wellock IJ, Broom LJ and Miller HM, 2011. Effect of rearing environment and dietary zinc oxide on the response of group-housed weaned pigs to enterotoxigenic *Escherichia coli* O149 challenge. *Animal*. 5 (8): 1170–1178. ISSN: 1751-7311. <http://dx.doi.org/10.1017/S1751731111000188>

SONG ZH, Ke YL, Xiao K, Jiao LF, Hong QH, Hu CH. 2015. Diosmectite–zinc oxide composite improves intestinal barrier restoration and modulates TGF- β 1, ERK1/2, and Akt in piglets after acetic acid challenge. *Journal of Animal Science*. 93:1599–1607. ISSN: 0021-8812. <http://dx.doi.org/10.2527/JAS.2014-8580>

STAR L, van der Klis JD, Rapp C, Ward TL. 2012. Bioavailability of organic and inorganic zinc sources in male broilers. *Poultry Science*. 91(12):3115-3120. ISSN: 0032-5791. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02314>

SUNDER GS, Panda AK, Gopinath NCS, Rama RSV, Raju MVLN, Reddy MR, and Kumar CV. 2008. Effects of higher levels of zinc supplementation on performance, mineral availability, and immune competence in broiler chickens. *The Journal Applied Poultry Research*. 17(1):79–86. ISSN: 1056-6171. <https://doi.org/10.3382/japr.2007-00029>

TERRIN G, Canani RB, Di Chiara M, Pietravalle A, Aleandri V, Conte F, De Curtis M. 2015. Zinc in Early Life: A Key Element in the Fetus and Preterm Neonate. *Nutrients*. 7(12):10427–10446. ISSN 2072-6643. <http://dx.doi.org/doi:10.3390/nu7125542>

WAEYTENS A, De Vos M, Laukens D. 2009. Evidence for a Potential Role of Metallothioneins in Inflammatory Bowel Diseases. *Mediators of Inflammation*. Article ID 729172: 9 pages. ISSN: 0962-9351. <http://dx.doi.org/10.1155/2009/729172>

WANG X, Valenzano MC, Mercado JM, Zurbach EP, Mullin JM. 2013. Zinc supplementation Modifies Tight Junctions and Alters Barrier Function of CACO-2 Human Intestinal Epithelial Layers. *Digestive Diseases and Sciences*. 58(1):77-87. ISSN: 0163-2116. <http://dx.doi.org/10.1007/s10620-012-2328-8>

YAN Y, Zhao Y, Wang H, and Fan M. 2006. Pathophysiological factors underlying heatstroke. *Medical Hypotheses*. 67(3):609–617. ISSN 0306-9877. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2005.12.048>

ZHANG B, Guo Y. 2009. Supplemental zinc reduced intestinal permeability by enhancing occludin and zonula occludens protein-1 (ZO-1) expression in weaning piglets. *British Journal of Nutrition*. 102:687–693. ISSN: 0007-1145. <https://doi.org/10.1017/S0007114509289033>

ZHONG W, McClain CJ, Cave M, Kang J and Zhou Z. 2010. The role of zinc deficiency in alcohol-induced intestinal barrier dysfunction. *American Journal of Physiology, Gastrointestinal Liver Physiology*. 298(5):G625-G633. ISSN: 0193-1857 <https://dx.doi.org/10.1152/ajpgi.00350.2009>