



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal

Suplementación de 25 hidroxicolecalciferol en dietas para cerdos: rendimiento productivo y calidad de carne

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
Maestro en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal

PRESENTA:

Diego Guerrero Huerta

TUTOR O TUTORES PRINCIPALES

José Antonio Cuarón Ibarra[†]
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

Irma Eugenia Candanosa Aranda
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM

Thomas D. Crenshaw
Animal & Dairy Sciences, University of Wisconsin

Facultad de Estudios Superiores, Cuautitlán, UNAM.
Cuautitlán Izcalli, Estado de México, mayo, 2023.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatorias

A mis padres, Francisco Guerrero Avendaño y Beatriz Huerta Mora ya que sin ellos nada de esto hubiera sido posible, su constante apoyo ha servido como cimiento en mi crecimiento profesional.

A mis hermanos Sergio y Francisco por siempre estar presentes, por saber cómo sacar una buena risa en los momentos adecuados.

A mi querida *alma máter* la FES Cuautitlán.

Al Dr. José Antonio Cuarón Ibarguengoytia, mi querido profesor que trascendió más allá de su papel como tutor académico. No solo nos enseñó materias y contenidos, sino que también nos brindó una educación que no se encuentra en los libros. Nos enseñó la importancia de trabajar duro, de tener integridad y de seguir nuestros sueños sin miedo, sacando y puliendo nuestras mejores cualidades.

Su compromiso con nuestra educación se evidenciaba en su dedicación a ser un excelente profesor y mentor. Nos inspiró a todos, y su legado continúa vivo a través de cada estudiante que tuvo el privilegio de conocerlo.

Nos toca honrar su vida y su legado, recordando todo lo que nos enseñó en las interminables clases y reuniones que daba con tanta pasión, ¡que la contagiaba!

Que su espíritu siga vivo en cada uno de nosotros, motivándonos a alcanzar nuestros sueños y a hacer del mundo y principalmente a México un lugar mejor. Descansa en paz, Dr. Cuarón. Siempre lo recordare con gratitud y admiración.

Agradecimientos

Al Dr. José Antonio Cuarón Ibarzüengoytia

A la Dra. Eugenia Candanosa Aranda

Al Dr. Luis Humberto López

A la M. en C. María Alejandra Pérez Alvarado

A Fabian F.G que, sin su apoyo y amistad, el trabajo no hubiera dado frutos.

Agradezco a mis amigos y colegas académicos Cristina R. R., Enrique A. C, Samara S. P., Mayra E. G., Javier M. O y Fabian F. G. por compartir conmigo las aventuras y desafíos de este camino, así como por su apoyo incondicional en diversas ocasiones. Juntos hemos experimentado emociones y vividos momentos que recordaremos siempre. Ahora es nuestra responsabilidad mantener vivo el legado del Dr. Cuarón y continuar con lo que aún queda por hacer. Nuestra relación va más allá de la amistad, y el apoyo que nos brindamos se lo debemos a él.

A mis amigos Claudia G. Laura, Gustavo M., Rene y Tibú, Por hacer que la estancia en Ezequiel Montes durante la maestría fuera más agradable y llevadera.

A mis padres y hermanos.

1. Resumen

En el presente trabajo se investigaron los efectos de incluir 25OHD₃ en dietas para cerdos provenientes de cerdas suplementadas con 50 µg/kg de 25OHD₃ durante la gestación y lactación, desde el destete y hasta finalización, sobre su comportamiento productivo, características de la canal y calidad de la carne. Se utilizó la progenie viva de 28 cerdas Large White × Landrace (Fertilis 20, Genetiporc®) inseminadas con semen PIC337®, para llevar a cabo dos experimentos. En el primero se planteó un diseño de bloques completos al azar con dos Tratamientos. Un Tratamiento Control con 0 µg/kg de 25OHD₃ y el “Tratamiento 2” con la adición de 50 µg/kg de 25OHD₃ (equivalente a 2,000 UI de vitamina D₃) ambos sobre una premezcla vitamínica que incluyó 800 UI/kg de vitamina D₃. El segundo experimento se realizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 2 × 2, considerando como primer factor el Tratamiento de origen de la madre y el segundo factor, la adición o no de 50 µg/kg de 25OHD₃. En el primer experimento, se observó un efecto significativo en cerdos que consumieron 25OHD₃ durante los días 1 a 53 post-destete sobre el consumo diario de alimento y la eficiencia alimenticia ($P < 0.05$). Sin embargo, en etapas posteriores no se encontró ningún efecto en productividad, parámetros de rendimiento de la canal y calidad de carne. En general, complementar dietas para cerdas y cerdos de destete con 50 µg/kg 25OHD₃ mejoró significativamente el rendimiento de producción de los cerdos, lo que podría estar asociado a sobrellevar el estrés de los lechones en edad temprana.

Palabras clave: cerdos, vitamina D₃, productividad, calidad.

2. Abstract

In the present study, the effects of adding 25OHD₃ in diets for pigs from the weaning to finishing period from sows that were supplemented with 50 µg/kg of 25OHD₃ during gestation and lactation on their productive behavior, carcass characteristics and pork quality were analyzed. The progeny of 28 Large White × Landrace sows (Fertilis 20, Genetiporc[®]) inseminated with PIC337[®] semen were used to evaluate the effects. All live-born piglets were used to carry out two experiments.

The first experiment used a randomized complete block design with two Treatments. Treatment Control with 0 µg/kg of 25OHD₃ and Treatment 1 with 50 µg/kg of 25OHD₃ (equivalent to 2,000 IU of vitamin D₃) on a vitamin premix that includes 800 IU/kg of vitamin D₃. The second experiment was carried out under a randomized complete block model with a 2 × 2 factorial arrangement, considering as the first factor the treatment of the mother and the second factor, the supplementation or not of 50 µg/kg of 25OHD₃. A significant effect was demonstrated in pigs consuming 25OHD₃ on days 1 to 53 post-weaning on Average Daily Feed Intake and feed efficiency ($P < 0.05$). However, no effect on productivity, carcass performance parameters, or pork quality were reflected in later stages. Overall, supplementing sow and weaned pig diets with 50 µg/kg 25OHD₃ significantly improved the productive performance of weaned pigs, suggesting that it helped piglets cope with early-stage stress factors.

Key words: pigs, vitamin D₃, productivity, quality.

3. Índice general.

1.	RESUMEN.....	IV
2.	ABSTRACT.....	V
3.	ÍNDICE GENERAL.....	VI
A.	ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS.....	VII
4.	INTRODUCCIÓN.....	1
5.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
A.	PRODUCCIÓN PORCINA.....	3
B.	USO DE VITAMINAS EN LA PRODUCCIÓN PORCINA.....	3
C.	VITAMINA D.....	6
I.	<i>Estructura química</i>	6
II.	<i>Metabolismo</i>	7
III.	<i>Funciones alternativas de la vitamina D₃ en relación al tejido muscular</i>	9
6.	HIPÓTESIS.....	10
7.	OBJETIVO.....	10
8.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	10
A.	SITIO EXPERIMENTAL.....	10
B.	INSTALACIONES EXPERIMENTALES.....	11
I.	<i>Área de gestación</i>	11
II.	<i>Área de maternidad</i>	11
III.	<i>Área de destete</i>	11
IV.	<i>Área de crecimiento</i>	11
V.	<i>Área de engorda</i>	11
C.	ANIMALES, DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS.....	12
I.	<i>Generación de la población de estudio</i>	12
II.	<i>Experimento 1</i>	12
III.	<i>Experimento 2</i>	13
D.	PROGRAMA DE ALIMENTACIÓN.....	15
E.	EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO PRODUCTIVO.....	20
F.	ENVÍO A RASTRO, EVALUACIÓN DE LA CANAL Y CALIDAD DE CARNE.....	20
I.	<i>Temperatura y pH</i>	21
II.	<i>Color</i>	21
III.	<i>Capacidad de retención de agua (CRA)</i>	21
IV.	<i>Pérdida de agua por goteo</i>	21
V.	<i>Pérdida de agua por cocción</i>	22
VI.	<i>Fuerza de corte (Warner-Bratzler)</i>	22
VII.	<i>Pérdida de agua por compresión</i>	22
G.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	22
9.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
A.	PRODUCTIVIDAD DE LAS CERDAS PROGENITORAS.....	23
B.	COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO.....	24
I.	<i>Experimento 1</i>	24
II.	<i>Experimento 2</i>	27
C.	CALIDAD DE CARNE.....	29
10.	CONCLUSIONES.....	32
11.	LITERATURA CITADA.....	33

A. Índice de cuadros y figuras.

Cuadro 1.- Concentraciones de vitaminas en dietas para cerdos en crecimiento y desarrollo ^a .	5
Cuadro 2.- Composición de las dietas experimentales para gestación y lactación.	17
Cuadro 3.- Composición de las dietas experimentales para ambos Experimentos, desde destete a finalización.	18
Cuadro 4.- Composición nutricional calculada de las dietas experimentales por Fases.	19
Cuadro 5.-Aporte de vitaminas por kg de premezcla en un kg de alimento terminado.	19
Cuadro 6 .- Efectos de la suplementación del alimento de gestación y lactancia con 25OHD ₃ sobre las características productivas de las cerdas, de la camada y el crecimiento de los lechones. ^a	24
Cuadro 7.- Efectos de la suplementación constante de 25OHD ₃ en la productividad de cerdos después del destete. ^a	26
Cuadro 8.- Impacto de la suplementación continua de 25OHD ₃ en la dieta de cerdas y su descendencia en el rendimiento productivo de cerdos durante el periodo de crecimiento a engorda. ^a	27
Cuadro 9.- Impacto de la suplementación continua de 25OHD ₃ en la dieta de cerdas y su descendencia en el rendimiento productivo de cerdos durante el periodo de engorda a finalización. ^a	29
Cuadro 10.- Efectos de la suplementación continua de 25OHD ₃ en el alimento de las cerdas y su progenie sobre parámetros de rendimiento, calidad de la canal y calidad de carne. ^a	31
<i>Figura 1. Estructura y fórmula química del ergocalciferol y colecalciferol (Nuñez Montoya & Rocha, 2020).</i>	6
<i>Figura 2. Estructura química del Colecalciferol.</i>	7
<i>Figura 3. Metabolismo Vitamina D₃.</i>	8
<i>Figura 4.- Diagrama de flujo que expone las partes que componen al trabajo de investigación.</i>	15

4. **Introducción**

El colecalfiferol (vitamina D₃) es un micronutriente perteneciente a las vitaminas liposolubles que principalmente participa en el metabolismo del calcio y fósforo, pero, además, tiene otras funciones relacionadas con la reproducción, la salud ósea y el sistema inmune (Lauridsen, 2014). Por otro lado, se ha evidenciado que la vitamina D juega un papel muy importante en el desarrollo muscular fetal (Hines *et al.*, 2013), de interés para la nutrición y producción porcina.

Actualmente, la vitamina D₃ es la forma más común de suplementación en el alimento para cerdos y aves, no obstante, desde hace poco más de una década, fue aprobada la forma hidroxilada conocida como 25-hidroxicolecalciferol (25OHD₃), ahora también suplementada en las dietas de los animales (Vassiliou, 2009). Debido a que es un metabolito intermediario de la vitamina D₃, que pasa por alto el paso de la hidroxilación en el hígado, volviéndola más biodisponible para el organismo. Además, la potencia biológica del 25OHD₃ supera a la vitamina D₃, debido a que este se absorbe por difusión pasiva hasta un 90%, mientras que el colecalfiferol requiere de un gasto energético para su absorción, de aproximadamente 70-75% (Soares *et al.*, 1995; Leichtmann *et al.*, 1991).

Aun cuando la academia ha dado sus recomendaciones de los requerimientos de vitamina D para las diferentes etapas productivas de los cerdos, es difícil estimar con exactitud los niveles necesarios, ya que existen diferentes factores que influirán en su demanda, como la exposición a luz solar, la cantidad y biodisponibilidad del calcio y fósforo en el alimento y la concentración de vitamina D en las materias primas.

El NRC (2012) recomendó 800 UI/kg de vitamina D₃ para cerdas gestantes y lactantes, en tanto que, para cerdos en crecimiento, varía el requerimiento de 150 a 220 UI/kg, mientras que de 25OHD₃ el nivel máximo permitido como suplemento en el alimento para cerdos es de 50 µg/kg que es equivalente a 2,000 UI/kg de vitamina D₃ (Vassiliou, 2009; European Food Safety Authority, 2009).

Se ha observado que la suplementación del alimento de cerdas durante la gestación y lactancia con 50 µg/kg 25OHD₃ aumentó los niveles de vitamina D₃ en sangre y leche, y en consecuencia aumentó el peso de los lechones al nacer, pero sin efectos durante su crecimiento hasta el destete (Weber *et al.*, 2014). Asimismo, Thayer *et al.* (2019) demostró que cerdos durante el periodo de 59 días post-destete provenientes de cerdas alimentadas con 1,500 UI/kg de vitamina D₃ más 50

$\mu\text{g}/\text{kg}$ de 25OHD_3 mejoraron su eficiencia alimenticia en comparación con aquellos cerdos que solo recibieron $500 \text{ UI}/\text{kg}$ de vitamina D_3 más $25 \mu\text{g}/\text{kg}$ de 25OHD_3 .

En otro experimento, se mostró que cerdos provenientes de cerdas alimentadas con $50 \mu\text{g}/\text{kg}$ de 25OHD_3 tuvieron una mejor ganancia diaria de peso, peso final y peso de la canal caliente, contrario a los cerdos provenientes de cerdas alimentadas con $9,600 \text{ UI}/\text{kg}$ de vitamina D_3 , concluyendo que la vitamina D_3 en la dieta materna y los niveles séricos de vitamina D_3 de las cerdas lactantes influye en el desarrollo de los lechones (Flohr *et al.*, 2016).

En cuanto a los efectos de desarrollo muscular, Hines *et al.* (2013), demostraron que el uso de $50 \mu\text{g}/\text{kg}$ de 25OHD_3 , sobre niveles relativamente normales ($500 \text{ UI}/\text{kg}$ de vitamina D_3) en dietas para cerdas gestantes, aumentó en más del 9% las fibras musculares totales del *Longissimus dorsi* en lechones con 90 días de gestación. De forma similar, Zhou *et al.* (2016), demostraron en lechones cuyas madres recibieron 25OHD_3 más la adición de $50\mu\text{g}/\text{kg}$ de vitamina D_3 , un aumento en el número total de fibras musculares, que prevaleció del nacimiento al destete, pero se desconocen las consecuencias en el crecimiento ulterior y por lo tanto también en calidad de carne.

De los trabajos de Hines *et al.* (2013) y Zhou *et al.* (2016), no existe información de las repercusiones en el rendimiento y calidad de la carne de estos cerdos, como tampoco se sabe si los beneficios observados por el uso de 25OHD_3 son generalizables a toda la población o solo a los animales susceptibles a un menor crecimiento hiperplásico. Por otro lado, se ha demostrado que adicionar $176,000 \text{ UI}/\text{kg}$ de vitamina D_3 en el alimento durante los últimos diez días de engorde, previos al envío a rastro, tuvo efectos sobre el color y capacidad de retención de agua (Enright *et al.*, 1998), en tanto que agregar $500,000 \text{ UI}$ durante tres días tuvo resultados similares (Wiegand *et al.*, 2002). Con la suplementación de $80,000 \text{ UI}/\text{kg}$ durante 44 días previos a la matanza tuvo efectos en color, pH y pérdida de agua por goteo (Wilborn *et al.* 2004).

En cerdos, existe poca información respecto a suplementar 25OHD_3 en el alimento desde la gestación y en la lactancia, y posteriormente en la progenie a partir del destete hasta su finalización, sobre el desarrollo productivo y específicamente en la calidad de la carne, esto podría tener implicaciones científicas y comerciales.

5. Revisión de literatura

A. Producción porcina.

En el mundo, la carne de cerdo figura como una de las proteínas de origen animal de mayor consumo. Representando el 38.17% del total de la carne consumida (254.4 millones de toneladas de carne), el cerdo se posicionó después del pollo, que para el 2020 alcanzó un 38.64% del consumo total, mientras que la carne de res solo consiguió un 23.19% (Consejo Mexicano de la Carne, 2021). En México, también se sitúa como la segunda proteína animal más consumida, alcanzando los 19.4 kg/hab., esto se ve influenciado por el precio, y por su alto valor nutricional. En el último año, la producción porcina del país registró un crecimiento del 2%, alcanzando los 1.6 millones de toneladas, siendo diez estados de la república los que generan el 86% de la carne de cerdo (1.4 millones de toneladas) que se produce. Encabezando la lista de principales estados productores de carne de cerdo, se encuentran los estados de Jalisco, Sonora y Puebla (Consejo Mexicano de la Carne, 2021).

Sin embargo, la industria porcina del país busca aumentar la producción cada año para seguir alimentando a la población mexicana y del mundo. Es por ello que uno de los principales retos a los que debe enfrentarse diariamente, es el de obtener la mayor ganancia de peso, con el menor consumo de alimento en el menor tiempo posible, considerando el bienestar animal y ser más sustentable (Razas Porcinas, 2017).

Para ello, se busca aplicar mejores prácticas nutricionales para mejorar la salud y la productividad del ganado porcino, proveyendo la cantidad adecuada de nutrientes como: proteína, carbohidratos, lípidos, vitaminas y minerales en la ración diaria de alimento.

B. Uso de vitaminas en la producción porcina

Hoy en día, existen múltiples organizaciones académicas en el mundo que estudian los requerimientos nutricionales de las vitaminas, como lo son: el National Research Council (NRC) de Estados Unidos de América; el SEGES que es el principal centro de innovación y conocimiento agrícola en Dinamarca; el Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) ubicado en Francia; el Agricultural Research Council (ARC) en Sudáfrica; o el Biotechnology and Biological Sciences Research Council de Gran Bretaña.

Todos ellos han basado sus recomendaciones principalmente para aportar los niveles necesarios para prevenir o resolver alguna deficiencia. Sin embargo, no se toman en cuenta diversas causas

de estrés que se presentan en condiciones de campo que pueden alterar la demanda como lo son las enfermedades (Barroeta *et al.*, 2012).

Por otro lado, existen varios factores que pueden alterar la concentración, estabilidad o digestibilidad de las vitaminas como lo son:

- Los relacionados a la materia prima como granos y pastas, que modifican su concentración de vitaminas, dependiendo de la temporada de cosecha, la zona geográfica, la salud del suelo,
- dependiendo de la vitamina, su estabilidad, puede disminuir con la humedad, la temperatura, el oxígeno y la luz,
- la biodisponibilidad de cada vitamina, puede reducir su digestibilidad y en consecuencia su absorción. por las características propias de su estructura química.

Por lo anterior, no es recomendable asignar valores de vitaminas a la materia prima y por lo tanto no se puede depender del abastecimiento de vitaminas a partir de ella (Barroeta *et al.*, 2012).

Esto ha llevado a la industria porcina a utilizar niveles muy variables de vitaminas en la formulación, y en ocasiones se suplementan cantidades muy por encima de los requerimientos establecidos por la academia, llevándolos a superar hasta 10 veces lo recomendado (Cuadro 1) (Celis, 2016).

Como se puede observar en el caso de las vitaminas liposolubles, los niveles máximos recomendados por el NRC 2012 superan ampliamente los requerimientos diarios recomendados. En particular, se puede destacar que la vitamina K presenta niveles máximos hasta 18 veces superiores a los requerimientos recomendados, mientras que la vitamina D puede presentar niveles máximos hasta 11 veces mayores.

Cuadro 1.- Concentraciones de vitaminas en dietas para cerdos en crecimiento y desarrollo^a.

Vitamina	Mínimo	Máximo	NRC, 2012 ^b
A, IU/kg	4,400.00	12,000.00	1,750.00
D, IU/kg	500.00	2,160.00	188.00
E, IU/kg	15.00	125.00	13.00
K, IU/kg	0.88	9.20	0.50
Tiamina, mg/kg	0.00	5.00	1.10
Riboflavina, mg/kg	0.00	15.42	3.00
Niacina, mg/kg	14.80	88.11	30.00
Ac. Pantoténico, mg/kg	8.00	56.64	9.20
Piridoxina, mg/kg	0.00	6.00	3.80
Cianocobalamina, mg/kg	0.02	0.09	0.01

^aCuadro adaptado de Celis, 2016

^bNRC, 2012. Calculado para cerdos de 5-70 kg

Actualmente en los programas de alimentación, las vitaminas llegan a representar el 34.2% de los nutrientes esenciales y hasta un 43% de los que se procuran en la formulación de alimentos balanceados para cerdos (Cuarón, 2015).

Una práctica relativamente nueva utilizada en la nutrición porcina, es adicionar niveles que sobrepasen los requerimientos establecidos por la academia, específicamente por el NRC, bajo el concepto “Optima Nutrición Vitamínica” que sugiere que emplear dosis superiores a las recomendaciones puede mejorar la salud y a su vez el rendimiento productivo (Barroeta *et al.*, 2012). Como lo han demostrado Cho *et al.* (2017), quienes aumentaron la adición de todas las vitaminas liposolubles y de 7 vitaminas hidrosolubles en cerdos destetados y reportaron que hubo una respuesta lineal a favor del incremento de la suplementación de vitaminas en el peso final, consumo diario de alimento y ganancia diaria de peso. Guerrero (2018) evidenció que, con una premezcla de vitaminas completa a dos diferentes niveles de inclusión, ambas por encima de los requerimientos, no indujeron diferencias en la productividad de cerdos en la etapa de crecimiento a finalización. Sin embargo, al evaluar parámetros de calidad de carne, observaron beneficios al aumentar la concentración de vitaminas, principalmente en la disminución de la disminuye la pérdida de agua por goteo a las 72 h y la pérdida de agua por compresión.

Sin embargo, también se ha investigado el efecto de aumentar la concentración de una única vitamina en particular. Un ejemplo de ello es el metaanálisis realizado por Sales & Koukolová

(2011), en el que se observó que el uso de concentraciones superiores a 250 UI/kg de vitamina E puede mejorar ciertos parámetros de calidad de la carne, especialmente aquellos relacionados con la oxidación. En investigaciones de Sugiyama *et al.* (2012) se observó que la suplementación en la dieta de 2,000 UI/kg a partir de 50 µg/kg de 25OHD₃ redujo la incidencia de osteocondrosis, proponiendo que el 25OHD₃ promueve la secreción de TGF-β y otras citocinas en los condrocitos para inhibir el desarrollo de esta patología y fomentar el desarrollo de la regeneración de tejido cartilaginoso.

C. Vitamina D

I. Estructura química.

La vitamina D, es una vitamina liposoluble que se presenta en dos formas distintas (Figura 1), ergocalciferol (D₂) y colecalciferol (D₃), ambas estructuras provienen de un ciclopentanoperhidrofenantreno, típico de los esteroides como el cortisol, estradiol y la aldosterona (Nelson & Cox, 2019).

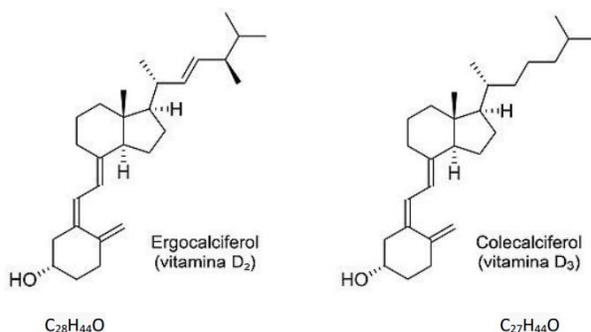


Figura 1. Estructura y fórmula química del ergocalciferol y colecalciferol (Nuñez Montoya & Rocha, 2020).

Sin embargo, la vitamina D y sus metabolitos se pueden diferenciar principalmente por cuatro partes (Figura 2), un sistema rígido central conformado por los anillos esteroidales C y D denominado biciclo CD, con una fusión de tipo *trans*-hidrindánica, en la cual se unen dos estructuras flexibles, la cadena lateral y el dieno *s-trans* que proviene de la ruptura del anillo seco-B, conformando un sistema triénico con el doble enlace exocíclico del anillo A, y por último el ya mencionado anillo A (Mascaró, 2011).

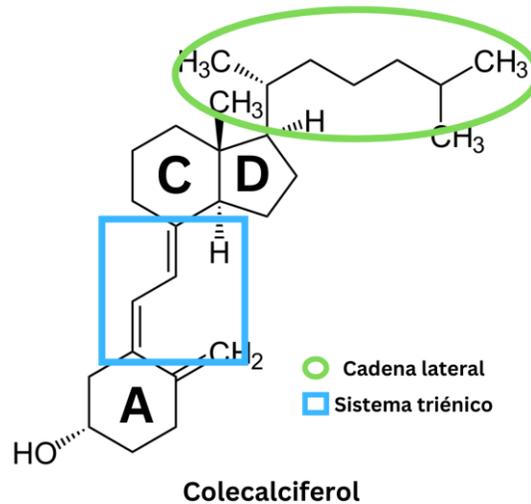


Figura 2. Estructura química del Colecalciferol.

II. Metabolismo

La vitamina D₃ se puede obtener de la dieta, pero principalmente de la conversión fotoquímica a partir del 7-dehidrocolesterol que se encuentra en la epidermis. Esta reacción se lleva a cabo por la exposición a los rayos ultravioleta de la luz solar, que realiza una reacción fotolítica del 7-dehidrocolesterol, que abre el anillo B por la ruptura del enlace C9-C10 convirtiéndola en previtamina D₃. Esta reacción es rápida y puede llegar a su máximo en horas, pero si los rayos UV continúan, los niveles de previtamina D₃, no aumentarán ya que se pueden transformar en lumisterol y taquisterol para evitar llegar a niveles tóxicos por exceso de vitamina D₃. Después, la previtamina D₃ pasa por una isomerización térmica espontánea, lo que desplaza un hidrógeno, dando lugar al colecalciferol en su forma 6-*s-cis* que rota en el enlace C6-C7 para transformarse en 6-*s-trans* y hacerse más estable. Sin embargo, en esta forma, aun no tiene ninguna función biológica en el organismo. Por lo que, se une a una proteína específica de unión (Vitamin D-Binding protein, DBP), para transportarla por el torrente sanguíneo al tejido adiposo para su almacenamiento o a células diana principalmente del hígado para su posterior bioactivación (Atkins & Martin, 1976; Omdahl & DeLuca, 1973).

Para la bioactivación son necesarias dos hidroxilaciones. La primera, es en la cadena lateral, específicamente en el C25, transformándola en 25OHD₃ o calcidiol, con ayuda de enzimas como la CYP27A1 mitocondrial que principalmente se encuentra en el hígado y la CYP2R1 microsomal que se localiza en muchos otros tejidos como intestino delgado y placenta. El 25OHD₃ es considerado como el metabolito circulante de la vitamina D₃ y es un buen indicador del estado

nutricional de esta vitamina en el organismo. La segunda hidroxilación sucede en la posición 1 α del anillo A del 25OHD₃ con ayuda de la enzima CYP27B1 mitocondrial, ubicada principalmente en los túbulos renales, pero también puede encontrarse en otros tejidos. Esta enzima convierte al metabolito circulante en 1 α ,25-hidroxicolecalciferol o calcitriol, que es la forma hormonal de la vitamina D₃. Esta hormona está regulada por la hormona paratiroidea (PTH), el factor de crecimiento fibroblásticos 23 (FGF-23), las concentraciones de calcio y fósforo en el organismo y por los niveles del mismo calcitriol (Atkins & Martin, 1976; Omdahl & DeLuca, 1973; Christakos *et al.*, 2016).

Una de las degradaciones principales de la forma bioactiva de la vitamina D₃ se lleva a cabo por la actividad de la enzima 24-hidroxilasa (CYP24A1), la cual hidroxila la posición 24, oxidando el grupo hidroxilo en carbonilo en el C24 y una hidroxilación en el C23, rompiendo los enlaces C23-C24, dando lugar al ácido calcitroico, que es excretado en la orina (Feldman *et al.*, 2005).

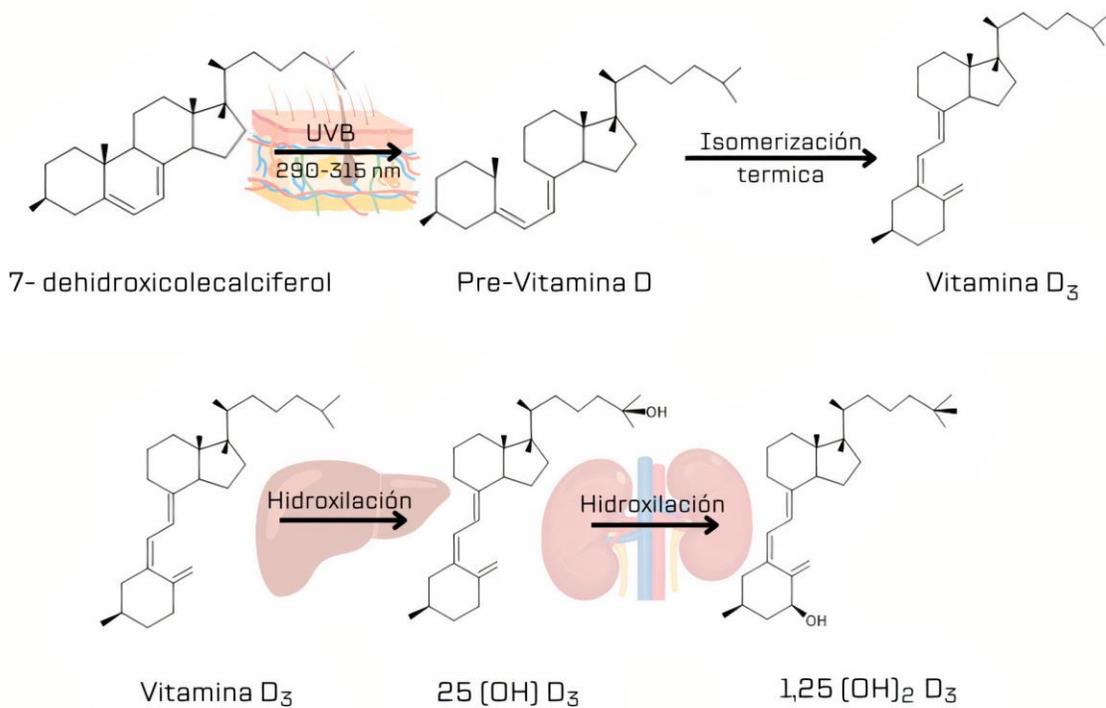


Figura 3. Metabolismo Vitamina D₃

III. Funciones alternativas de la vitamina D₃ en relación al tejido muscular

El calcitriol es considerado una hormona muy potente cuyo principal rol, es la regulación de la concentración del calcio y fósforo. Pero se ha evidenciado que hay receptores de la vitamina D (VDR) en muchos otros tejidos, lo que sugiere que tenga diversos efectos biológicos no relacionados a la homeostasis de estos minerales (Omdahl & DeLuca, 1973).

En las últimas décadas, se ha estudiado de forma observacional principalmente en humanos y en algunos ensayos con animales, el efecto potencial de la vitamina D en el desarrollo del músculo esquelético y en sus funciones, por el hallazgo de la expresión del gen VDR en tejido muscular esquelético y en los mioblastos (Bischoff *et al.*, 2001).

En un estudio realizado por Sato *et al.* (2005), en mujeres de la tercera edad que tuvieron hemiplejía posterior a un ataque cardiovascular, encontraron mejoría en los pacientes que recibieron vitamina D, disminuyendo la atrofia de fibras tipo II, y aumentando la fuerza muscular. Mientras que Endo *et al.* (2003) demostraron en ratones, a los cuales se les inhibió la expresión del gen VDR, que tuvieron un desarrollo anormal del músculo esquelético. Explicando que estas anomalías ocurren independientemente de los cambios metabólicos secundarios como pueden ser la hipocalcemia e hipofosfatemia y además están acompañadas por una expresión menor del factor miogénico.

Es bien sabido que el número de fibras en el músculo esquelético se establecen prenatalmente, pero se puede ver influenciado por diversos factores (Rehfeldt *et al.*, 1993). En trabajos relativamente recientes con cerdas, recomiendan aumentar los niveles de vitamina D para optimizar el desarrollo muscular fetal y consecuentemente la productividad. En cerdas primerizas que fueron alimentadas con 25OHD₃ durante 5 semanas antes de la inseminación hasta el día 90 de gestación tuvieron concentraciones circulantes significativamente mayores de 25OHD₃ en comparación con los que recibieron una cantidad equivalente de vitamina D en forma de colecalciferol. Lo anterior mejoró significativamente el estado de vitamina D en las madres y el feto, así como el rendimiento reproductivo de las primerizas (Coffey *et al.*, 2012).

En investigaciones de Hines *et al.* (2013) con cerdas primerizas, a las cuales se les aumentaron los niveles circulantes de vitamina D₃ con ayuda de 25OHD₃, produjeron fetos con un mejor estado nutricional de vitamina D, y como resultado un mayor número de fibras del músculo esquelético y mioblastos en el *longissimus dorsi* al día 90 de gestación, tiempo en el que el número de fibras

ya ha sido establecido. Por lo que, los autores concluyen que el estado materno de vitamina D puede influir en el desarrollo fetal y en la actividad de mioblastos *in vivo*.

Sin embargo, en la actualidad, el efecto del estado de la vitamina D en el desarrollo del músculo esquelético posnatal en la producción porcina no se ha estudiado de forma exhaustiva.

El crecimiento posnatal del músculo esquelético caracteriza principalmente por el crecimiento hipertrófico de las fibras musculares, que se desarrollan antes del nacimiento. Por lo tanto, el estado de la vitamina D en el desarrollo del músculo esquelético posnatal es esencial para optimizar la eficiencia de la producción de carne (Starkey, 2014).

6. **Hipótesis**

La suplementación de 25OHD₃ durante la gestación, lactación y crecimiento, podrá favorecer el desarrollo posnatal de los lechones, pero la calidad de carne dependerá de su uso continuo, hasta el abasto.

7. **Objetivo**

Evaluar los efectos de la suplementación de 2,000 UI/kg de vitamina D₃ a partir de 25OHD₃ en dietas para cerdos desde el destete hasta finalización sobre el comportamiento productivo, características de la canal y calidad de la carne de la progenie proveniente de cerdas suplementadas con 50 µg/kg de 25OHD₃ durante la gestación y lactación.

8. **Material y métodos**

El manejo de los animales y los procedimientos experimentales, se realizaron bajo los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio (DOF, 2001), el Manual de Buenas Prácticas de Producción en Granjas Porcícolas y fue aprobado por el Subcomité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales Experimentales (SICUAE) de la Universidad Nacional Autónoma de México con el número SICUAE.MC-2020/2-4.

A. Sitio experimental

El trabajo fue realizado en diferentes áreas de la unidad de producción porcina experimental ubicada en las instalaciones del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

(INIFAP, CENID fisiología) localizada en Ajuchitlán, municipio de Colón, Estado de Querétaro, México a 20°41'42.62'' N y 100° 00'54.68''O a una altura de msnm.

B. Instalaciones experimentales

I. Área de gestación

Es un edificio abierto, equipado con jaulas individuales delimitadas con estructura de acero. Cada una con piso sólido de concreto, un bebedero de tipo chupón y una canaleta continua como comedero.

II. Área de maternidad

Es un edificio cerrado con ambiente semicontrolado de manera manual por ventilas, provisto de jaulas individuales elevadas cada una con piso de plástico de polipropileno ranurado (9 mm × 6 mm). En el extremo frontal de cada jaula se encuentran los “nidos” de polipropileno para generar un microclima para los lechones.

III. Área de destete.

Son instalaciones cerradas de ambiente controlado con ayuda de un calentador de gas y ventilas. Los corrales son elevados, tienen piso de rejilla de plástico y una superficie efectiva de 1.95 m². Cada corral cuenta con un comedero de 7 bocas y un bebedero de tipo chupón. La temperatura de la sala se fijó al inicio a 30 °C, disminuyendo 4 °C semanalmente.

IV. Área de crecimiento.

Estas instalaciones son de tipo frente abierto, controlando el flujo de aire con el uso de cortinas. Los corrales son de piso sólido de concreto, teniendo una superficie total de 6.9 m² y una superficie efectiva de 6.8 m². Cada corral cuenta con un comedero con tolva, que incluye un bebedero de tipo chupón en el plato de consumo y un bebedero adicional de tipo chupón al lado opuesto del comedero.

V. Área de engorda.

En esta área se encuentran varias instalaciones. Los corrales tienen una superficie total de 24.2 m² y una superficie útil de 15.8 m². Cada corral está equipado con un comedero con tolva y un bebedero tipo chupón. Además de este bebedero, hay otros dos del mismo tipo en la pared opuesta al comedero. Las jaulas individuales están delimitadas por una estructura de acero y cada una tiene

un piso sólido de concreto, con una superficie útil de 1.95 m² por jaula, un bebedero tipo chupón y un comedero.

C. Animales, Diseño experimental y Tratamientos

Para evaluar el desarrollo productivo de los cerdos desde el nacimiento hasta finalización en respuesta a la adición o no de 50 µg/kg de 25OHD₃ a partir de Rovimix Hy·D®, DSM, el trabajo se dividió en una etapa de generación de la población de estudio y 2 experimentos (Figura 4).

I. Generación de la población de estudio

Previo al inicio de los experimentos, hubo una etapa que consistió en la generación de la población de estudio. Para ello, se utilizaron un total de 32 cerdas Large White × Landrace (Fertilis 20, Genetiporc®) con 2.2 ± 1.69 partos y un peso a la inseminación de 161.3 ± 25.40 kg, divididas en 2 lotes de producción consecutivos, inseminadas con semen PIC337®.

Cada cerda fue asignada aleatoriamente a uno de los dos grupos: Grupo Control (C) o Grupo Tratamiento (D). La asignación se realizó tomando en cuenta su peso en el momento de la inseminación y el número de partos. El Grupo Control (C) recibió el alimento sin la suplementación de 25OHD₃, mientras que el Grupo Tratamiento (D) consumió el mismo alimento, más la suplementación de 50 µg de 25OHD₃.

Desde la inseminación y durante toda la gestación, las cerdas fueron alojadas en el área de gestación. A los 110 días de gestación, fueron trasladadas al área de maternidad.

Durante el parto, se supervisó cuidadosamente y, si era necesario, se reacomodaron los lechones entre las cerdas del mismo grupo en las primeras 24 horas. Cada neonato se identificó de manera individual y permanente mediante muescas en las orejas y se manejó de acuerdo con las prácticas establecidas en la granja, lo que incluye la administración de hierro dextrano a los lechones.

II. Experimento 1

Inició en el destete con un total de 300 lechones, con 19.6 ± 4.63 d de edad, repartidos en dos Lotes de producción consecutivos considerados como bloques, provenientes de las cerdas mencionadas con anterioridad.

Para formar los corrales, todos los lechones se aleatorizaron considerando; peso al destete, sexo, camada de origen y el Grupo de origen de la madre, evitando por completo el mezclar por Grupo de origen.

Se consideraron los corrales como la unidad experimental (UE), compuestos por 10 lechones distribuidos equitativamente entre machos y hembras. A cada UE se le asignó uno de los dos tratamientos: el Tratamiento control (C), que consistía en la dieta sin la adición de 25OHD₃, y el Tratamiento 25OHD₃ (D), que incluía la misma dieta más la adición de 50 µg/kg de 25OHD₃ (equivalente a 2,000 UI de vitamina D₃). La asignación del tratamiento se realizó en función de la dieta que recibía la madre.

En total, se llevaron a cabo 14 repeticiones por tratamiento y se mantuvo la integridad de las UE durante todo el Experimento 1.

Los cerdos se mantuvieron en el área de destete durante 21 d, al término de esta etapa se trasladaron al área de crecimiento donde permanecieron por 32 d más. Cuando culminaron este periodo se dio por finalizado el Experimento 1 con una duración total de 53 d.

Antes del inicio del Experimento 2, se reubicaron todos los animales en corrales en el área de engorda. Para conformar los nuevos corrales, los cerdos se aleatorizaron por peso, sexo y camada de origen, teniendo en cuenta el tratamiento asignado previamente. Los cerdos permanecieron en estas instalaciones durante un periodo de 37 días, durante el cual se manejaron y alimentaron según su tratamiento correspondiente.

III. Experimento 2

Para este experimento, se utilizaron los 264 cerdos provenientes del estudio anterior, con una edad promedio de 109.7 ± 4.69 días. Los animales fueron alojados en jaulas individuales en el área de engorde.

Los cerdos fueron asignados a uno de los cuatro tratamientos, considerando su peso, sexo y el tratamiento que recibieron durante el Experimento 1. Los Tratamientos se derivan de un arreglo factorial 2×2 , donde el primer factor es el Tratamiento recibido en el Experimento 1 y el segundo factor es la adición o no de 50 µg/kg de 25OHD₃.

Los Tratamientos se describen de la siguiente manera:

1. Control (CC); Cerdos que no recibieron la adición de 25OHD₃ sobre el alimento.
2. Tratamiento Control + 25OHD₃ (CD); Cerdos que no recibieron la adición de 25OHD₃ sobre el alimento durante el Experimento 1, ahora suplementados con 50 µg de 25OHD₃.
3. 25OHD₃/Control (DC); Cerdos que recibieron 50 µg de 25OHD₃ en el alimento durante el experimento 1, pero se les retiró la suplementación de 25OHD₃.

4. 25OHD₃ (DD); Cerdos que recibieron 50 µg de 25OHD₃ en el alimento durante el experimento 1, y continuaron con la misma dosis suplementada de 25OHD₃.

Las UE de este experimento estuvieron conformadas por un cerdo alojado en una jaula individual, dando un total de 66 UE por Tratamiento.

El Experimento tuvo una duración de 72 d; aproximadamente cuando los cerdos alcanzaron 110 kg de peso vivo.

La Figura 4 presenta un diagrama de flujo que describe los Tratamientos utilizados en cada experimento y sus respectivas características.

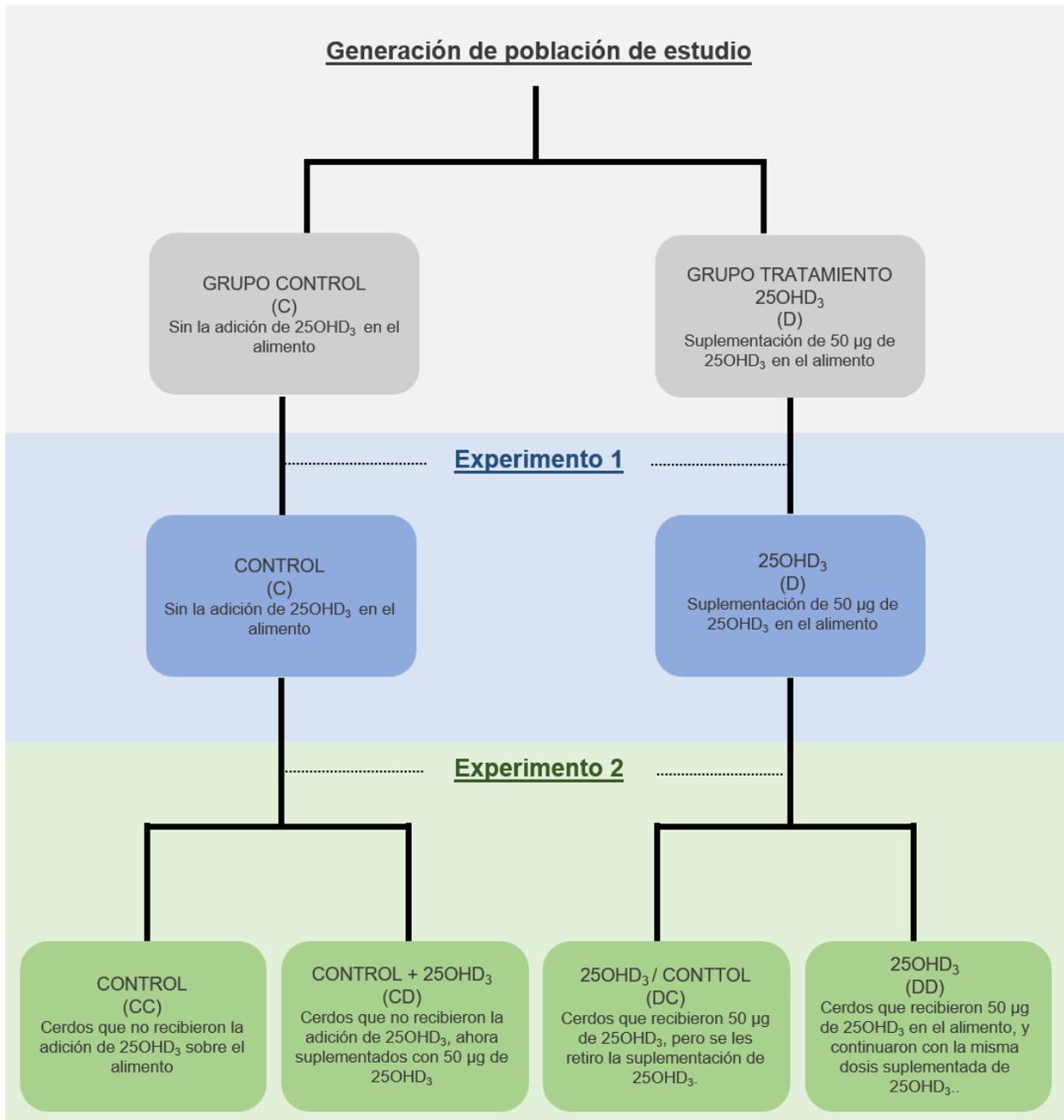


Figura 4.- Diagrama de flujo que expone las partes que componen al trabajo de investigación.

D. Programa de alimentación.

Con el fin de explotar el potencial productivo de las cerdas y su progenie, todos los animales fueron alimentados y manejados de forma idéntica, sin beneficiar o afectar a algún Tratamiento.

Todas las dietas se formularon utilizando un programa de formulación de alimentos de mínimo costo (Nutrion Software v. 10. 21), satisfaciendo los requerimientos nutricionales para cada una de las etapas, según el modelo NRC 2012.

Todo el alimento fue elaborado en la fábrica de alimentos del CENID Fisiología y Mejoramiento Animal, utilizando maíz, sorgo en grano, canola y pasta de soya como ingredientes mayoritarios y en diferentes concentraciones dependiendo de la Fase de alimentación.

Para alimentar a las cerdas, se elaboraron dos dietas para la gestación y una para la lactación, todas se describen en el Cuadro 2. Durante la gestación, la cantidad de alimento proporcionado varió de 2 a 2.5 kg/día, dependiendo de la conformación de la cerda, y se ofreció en dos horarios diferentes (0800 y 1700 h). Durante la primera mitad de la gestación, se utilizó la dieta Gest 1 y, para la segunda mitad, se empleó la dieta Gest 2.

En cuanto a la lactancia, se incrementó la oferta de alimento para la cerda en 0.5 kg/día, empezando con 2.5 kg después del parto, hasta que se alcanzó el consumo a saciedad (Mejía et al., 2007). El alimento se proporcionó en tres comidas diarias, en horarios establecidos (0800, 1400 y 2000), mientras que el suministro de agua de bebida estuvo disponible en todo momento.

Durante el Experimento 1, se implementó un programa de alimentación de 4 fases con diferentes duraciones. Durante la etapa de destete, los cerdos recibieron alimentación en 3 fases con una duración de 7 días cada una (Fase 0, Fase 1 y Fase 2). El alimento se ofreció *ad libitum* en cuatro suministros diarios, con intervalos de 4 horas entre comidas (0700, 1100, 1500 y 1900 h), para estimular el consumo y reducir el desperdicio. Después de ser trasladados al área de crecimiento, los cerdos continuaron consumiendo la Fase 2 durante 7 días más y posteriormente continuaron con la Fase 3 durante los siguientes 25 días.

Entre el Experimento 1 y el Experimento 2, se continuó con el programa de alimentación, donde los cerdos consumieron Fase 3 por 19 días y Fase 4 por 18 días, con alimento *ad libitum* ofrecido dos veces al día (7:00 y 17:00 h).

En el Experimento 2, los cerdos continuaron con la Fase 4 durante 36 días y luego consumieron la Fase 5 durante otros 36 días. El alimento y el agua estuvieron disponibles todo el día para garantizar el consumo *ad libitum*. Todos los cerdos cumplieron con al menos 36 días en la última fase de alimentación.

Todo el alimento ofrecido a los cerdos fue en forma de harina. La composición por dieta se muestra en el Cuadro 3. Se determinó el contenido de proteína cruda, extracto etéreo y cenizas,

siguiendo las técnicas aprobadas por la A.O.A.C (2005). Adicionalmente, se evaluó la Fibra Detergente-Neutro (FDN) y Fibra Detergente- Acido (FDA) (Van Soest *et al.*, 1991). Estos procedimientos se realizaron en el laboratorio de nutrición dentro del CENID-Fisiología y Mejoramiento Animal.

La fuente de vitamina D₃, en su forma 25OHD₃ fue proporcionada por DSM Nutritional Products Mexico y se añadió a expensas del sorgo en grano.

Cuadro 2.- Composición de las dietas experimentales para gestación y lactación.

Ingredientes	Gest 1	Gest 2	Lact
Sorgo, grano	723.80	703.00	683.20
Canola, pasta	84.00	45.00	40.00
Soya, pasta	20.00	80.00	212.00
Heno de avena	80.00	70.00	0.00
Heno de alfalfa	70.00	60.00	0.00
Aceite de soya	8.00	20.00	35.00
Otros ^a	6.90	6.90	6.90
Carbonato de Calcio	3.80	4.50	8.00
Fosfato, mono y dicálcico	1.80	7.20	10.50
L-Lisina HCl	0.35	0.64	2.25
Minerales, premezcla	0.75	0.66	1.00
Vitaminas, premezcla ^b	0.60	0.60	0.70
Procreatin 7 ^d	0.00	1.50	0.00
L-Treonina	0.00	0.00	0.45
Total	1,000.00	1,000.00	1,000.00

^aOtros = 4.00 kg de Sal (NaCl-I), 2.70 kg de Colina HCl al 60%, 200 g de Ronozyme HiPhos® (DSM, Nutritional Products México).

^bLa composición de la premezcla de vitaminas se muestra en el Cuadro 5.

^cProcreatin 7® *Saccharomyces cerevisiae*, 1x10¹⁰ UFC/g

Cuadro 3.- Composición de las dietas experimentales para ambos Experimentos, desde destete a finalización.

Ingredientes, kg/t	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
Maíz amarillo, grano	491.00	254.00	270.00	257.00	-	-
Sorgo, grano	-	237.00	276.90	338.80	718.57	786.90
Canola, pasta	-	30.00	40.00	60.00	60.00	100.00
Cártamo, pasta	-	-	-	-	40.00	-
Soya, pasta	152.30	152.30	200.40	257.00	132.40	71.00
Leche, suero	200.00	200.00	100.00	-	-	-
Pescado, harina	70.00	70.00	60.00	30.00	-	-
Aceite de Soya, crudo	30.00	30.00	28.00	31.00	21.00	16.50
Leche en polvo	30.00	-	-	-	-	-
L-Lisina. HCl	7.70	7.70	6.05	4.93	4.57	5.10
Sal, NaCl - I	4.00	4.00	4.00	4.00	3.60	3.60
Fosfato mono y dicálcico	3.60	3.60	4.80	5.90	6.80	5.10
L-Treonina	3.33	3.33	2.45	2.00	1.13	1.60
DL-Metionina	2.40	2.40	1.00	0.93	0.46	0.40
Colina - HCL, 60%	1.50	1.50	1.50	1.10	1.30	0.50
Minerales traza, PMX	1.10	1.10	1.10	0.90	1.00	0.70
Calcio, carbonato	1.00	1.00	2.10	5.10	7.14	7.50
Vitaminas ^a	*0.85	*0.85	*0.85	0.70	0.50	0.40
L-Triptófano	0.72	0.72	0.35	0.14	0.03	0.20
Otros ^b	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Tylan ^c	-	-	-	-	0.50	-
Procreatin 7 ^d	-	-	-	-	0.50	-
Total	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00

^aLa premezcla de vitaminas fue incluida en función al tratamiento a expensas de sorgo; ^{*}Las premezclas de vitaminas empleadas para estas etapas fue la misma que la premezcla de reproductoras. El Hy · D® se incluyó o no a razón de 4 g por tonelada para aportar 50 µg/kg de 25OHD₃. ^bOtros = 300g de Ronozyme-VP®(DSM), 200g de Ronozyme HiPhos® (DSM, Nutritional Products México). ^cFosfato de Tilosina 220 ppm, (Elanco Animal Health). ^dProcreatin 7® Saccharomyces cerevisiae, 1x1010 UFC/g

Cuadro 4.- Composición nutricional calculada de las dietas experimentales por Fases.

	Gest 1	Gest 2	Lact	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
EM, Mcal/kg	2.94	3.03	3.33	3.45	3.41	3.40	3.37	3.24	3.25
EN, Mcal/kg	2.18	2.26	2.50	2.50	2.50	2.49	2.48	2.48	2.48
Proteína cruda ^a , %	12.02	13.02	17.40	20.00	19.94	18.59	17.84	16.01	14.14
Lisina digestible, %	0.35	0.45	0.85	1.52	1.50	1.40	1.30	0.90	0.85
Ca total, %	0.38	0.48	0.60	0.88	0.71	0.69	0.62	0.50	0.48
P total, %	0.34	0.43	0.53	0.78	0.61	0.60	0.54	0.46	0.43
P digestible, %	0.10	0.20	0.27	0.47	0.39	0.35	0.27	0.20	0.20

^a Con el propósito de garantizar la calidad de la alimentación suministrada en cada fase, se realizaron análisis en todos los alimentos utilizados. Los resultados promedio obtenidos en % fueron los siguientes: Gest 1, 11.98; Gest 2, 12.96; Lact, 17.36; Fase 0, 19.92; Fase 1, 19.87; Fase 2, 18.52; Fase 3, 17.73; Fase 4, 16.12 y Fase 5, 14.05.

Cuadro 5.-Aporte de vitaminas por kg de premezcla en un kg de alimento terminado.

Premezcla	Reproductoras	Crecimiento
Vitamina A, UI	17,777.3	20,000.0
Vitamina D ₃ , UI	1,422.7	4,000.0
Vitamina E, mg	213,333.3	240,000.0
Vitamina K, mg	12,501.7	16,073.7
Tiamina (B1), mg	5,333.5	7,000.3
Riboflavina (B2), mg	16,000.0	20,000.0
Niacina (B3), mg	88,889.3	120,000.0
Ácido pantoténico (B5), mg	62,222.4	70,000.2
Piridoxina (B6), mg	8,888.8	11,999.9
Biotina (B7), mg	888.9	600.0
Ácido Fólico (B9), mg	7,111.5	3,000.0
Cianocobalamina (B12), mg	88.9	100.0
Ácido ascórbico, mg	355,555.2	-

E. Evaluación del rendimiento productivo

Durante todo el periodo experimental se registró diariamente el alimento ofrecido y al término de siete días se retiró el sobrante para ser pesado y estimar por diferencia el Consumo Diario de Alimento (CDA).

Al nacimiento, destete, y en distintos intervalos post-destete, todos los animales fueron pesados de forma individual para medir la Ganancia Diaria de Peso (GDP). La eficiencia alimenticia (EA) se calculó como la GDP en función del CDA.

F. Envío a rastro, evaluación de la canal y calidad de carne

Los cerdos tuvieron un ayuno de 18 h totales, incluido el descanso en corrales de recepción del rastro (máximo 3 horas). Para la transportación al rastro TIF ubicado en La Piedad, Michoacán México a 20°21'59.8"N 101°58'24.2"O, aproximadamente a 230 km de la granja experimental. Se utilizó un camión específico para transporte de cerdos, cumpliendo con las normas de bienestar animal (NOM-051-ZOO-1995). En rastro los cerdos permanecieron en corrales de descanso para tomar agua, previo al inicio de matanza.

La insensibilización se realizó por aturdimiento eléctrico, colocando los electrodos entre la oreja y el ojo de cada lado en el punto de intersección en donde se cruzan una línea horizontal que va de la comisura externa del ojo hacia atrás y una línea vertical que baja de la base de la oreja, dando una descarga eléctrica con un amperaje de 1.25 A. Posteriormente se realizó el desangrado, haciendo una punción rápida y profunda ocasionando la muerte por anoxia cerebral (NOM-033-SAG/ZOO-2014).

Una vez procesado en canal, se registró de forma individual el peso de la canal caliente (con cabeza, miembros torácicos y pélvicos). después de 45 min se midió la temperatura y el pH en las canales, entre la décima y la última costilla utilizando un termómetro y potenciómetro (HI 99163, HANNA instruments Inc.) portátiles. Después de un período de enfriamiento de 18 h a 4 °C, previo al despiece se registró nuevamente el peso de la canal fría y se procedió a realizar los cortes primarios.

Del lomo izquierdo de cada canal, se identificó la porción entre la 9° y la última costilla para ser retirada, identificada y almacenada de forma individual en una hielera para su transporte al laboratorio de calidad de carne del CENID Fisiología; donde se cortaron muestras del *Longissimus*

dorsi en forma de chuletas deshuesadas, de aproximadamente 2 cm de grosor para evaluar parámetros de calidad de la carne.

I. Temperatura y pH

Al cumplir las 24 h después de la matanza, se volvió a medir el pH y la temperatura directamente en la chuleta, utilizando nuevamente el mismo termómetro y potenciómetro (HI 99163, HANNA instruments Inc.) portátiles.

II. Color

- **Objetivo (L*, a* y b*):** La chuleta se expuso al oxígeno del aire por 30 min antes de la medición (AMSA., 2012) y con ayuda de un colorímetro MiniScan HunterLab (con Iluminante D65 a 10° del observador) se realizaron lecturas por triplicado obteniéndose las variables: luminosidad (L*), índice de rojo (a*) e índice de amarillo (b*).
- **Subjetivo:** Se midió utilizando las mismas muestras con las que se evaluó color objetivo, empleando las escalas de color NPPC de 6 niveles, donde (1) es de color gris rosáceo pálido a blanco y él (6) es rojo púrpura oscuro.

III. Capacidad de retención de agua (CRA)

Se determinó utilizando el método de centrifugación, donde a tubos de ensayo de polipropileno con una capacidad de 50 mL se le adicionaron 5 g de carne molida obtenida de las chuletas y 8 mL de NaCl 0.6 M. Con ayuda de un agitador se maceró durante 1 min. Posteriormente, se colocaron en baño de agua con hielos durante 30 minutos, para nuevamente ser macerados durante 1 min. Se centrifugaron a $6507 \times g$ durante 15 min (centrífuga Eppendorf 5810 R, Hamburgo, Alemania). El sobrenadante se midió con una probeta de 10 mL para calcular el porcentaje de solución salina retenida (Zhang *et al.*, 1995; Guerrero *et al.*, 2002).

IV. Pérdida de agua por goteo

A las chuletas seleccionadas para este procedimiento, se les removió la grasa y se pesaron para registrar el peso de inicio. Posteriormente, con ayuda de un anzuelo de acero atado a un cordón, se mantuvieron suspendidas dentro de una bolsa de plástico de polietileno con cierre hermético y almacenadas a 4 °C. Nuevamente fueron pesadas después del tiempo de almacenamiento preestablecido (24, 48 y 72 h). La pérdida por goteo se calculó como la pérdida expresada en porcentaje de peso respecto del peso inicial (Honikel, 1998).

V. Pérdida de agua por cocción

Se cortaron chuletas de 2.5 cm y se les removió la grasa, para pesar y registrar el peso inicial previo a la cocción. Con ayuda de una parrilla eléctrica previamente precalentada (150 – 170 °C) se cocinaron las chuletas durante aproximadamente 4.5 min hasta que alcanzaron una temperatura interna de 70 °C. Las chuletas se retiraron de la parrilla y se dejaron enfriar a temperatura ambiente en una charola de acero inoxidable cubierta con una película de plástico de tipo polipropileno y se pesaron nuevamente para calcular el porcentaje de agua perdida (Honikel y Hamm, 1994).

VI. Fuerza de corte (Warner-Bratzler)

Después de haber pesado por última vez las chuletas cocidas de la sección anterior, con ayuda de un sacabocados cilíndrico de 1 cm de diámetro, se obtuvieron 5 muestras de forma cilíndrica de cada chuleta cortadas en dirección a las fibras musculares, evitando tejido conectivo y grasa, para evaluar dureza/terneza de la carne utilizando un texturometro TA. XT- Plus Texture Analyser con navaja Warner-Bratzler (AMSA, 2012).

VII. Pérdida de agua por compresión.

Para realizar este procedimiento se pesaron 0.5 g de carne molida magra obtenida de chuletas crudas los cuales se colocaron en el centro de un papel filtro y cubiertos con otro papel filtro, ambos papeles fueron pesados previamente. Con ayuda de dos placas de vidrio, y una pesa de 2.5 kg al centro, se mantuvieron bajo presión constante durante 5 min. Al término de este lapso se pesaron ambos papeles sin la muestra, obteniendo como resultado el porcentaje de pérdida de agua (Hamm, 1986).

G. Análisis estadístico

Los datos obtenidos del comportamiento productivo para el Experimento 1 (GDP, CDA y EA) junto con los datos productivos de las cerdas progenitoras fueron analizados bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar. En cambio, para los resultados productivos de los cerdos del Experimento 2 y los parámetros de Calidad de Carne, el análisis se corrió bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar con un Arreglo Factorial 2×2 .

Como se mencionó previamente, la UE durante el Experimento 1 fue un corral compuesto de alrededor de 10 lechones (machos castrados y hembras en igual proporción) y para el Experimento 2 fue un cerdo en una jaula individual. Para ambos experimentos se bloqueó por grupo de producción.

Los procedimientos utilizados para el análisis estadístico fueron los siguientes procedimientos: MEANS, GLM, UNIVARIATE, FREQ y MIXED del paquete estadístico SAS (v. 9.3).

9. Resultados y discusión

A. Productividad de las Cerdas Progenitoras

Las variables productivas de las cerdas durante gestación y lactación se muestran en el Cuadro 6. Estos se presentan únicamente con el objetivo de describir las condiciones de las madres que produjeron a los lechones que formaron parte de los Experimentos.

En lo general, no se encontraron diferencias entre Tratamientos. Por razones ajenas a los Experimentos se eliminaron 2 cerdas, pertenecientes al Tratamiento sin 25OHD₃.

Al momento del parto, se realizaron prácticas de homogenización de la camada por lo que se ejerció la misma presión de amamantamiento en todas las cerdas, resultando en el mismo peso al destete de los lechones ($P < 0.80$), teniendo una ganancia diaria promedio por camada de 1.96 ± 0.53 kg ($P > 0.06$).

En cuanto al consumo de alimento de las cerdas durante el periodo de lactación (6.01 ± 0.605) no se observó ningún efecto por el Tratamiento ($P < 0.68$) al igual que en la pérdida de peso durante la lactancia (-13.32 kg \pm 11.14; $P < 0.40$).

Estos resultados son muy similares a los que reportado por Flohr *et al.*, 2014, donde no encontraron diferencias productivas en las cerdas alimentadas con dosis de 1,500, 3,000, o 6,000 IU/kg de Vitamina D₃. Del mismo modo, Lauridsen *et al.* (2010), no observó influencia de la vitamina D en el cambio de peso corporal, ni en la productividad de cerdas primerizas alimentadas con 4 niveles de vitamina D (200, 800, 1400 o 2000 UI/kg) de 2 fuentes distintas (vitamina D₃ o 25OHD₃). Sin embargo, los autores mencionan una posible interacción para el consumo total de alimento, ya que el consumo de alimento disminuyó con dosis crecientes de vitamina D₃, lo que se observó principalmente en cerdas de 4 y 5 parto, pero para cerdas alimentadas con 25OHD₃, la mayor disminución en el consumo de alimento se observó cuando aumentó de la suplementación con vitamina D de 200 a 800 IU.

Cabe mencionar, que la cantidad de observaciones en este análisis no fueron suficientes para llegar a una conclusión.

Cuadro 6 .- Efectos de la suplementación del alimento de gestación y lactancia con 25OHD₃ sobre las características productivas de las cerdas, de la camada y el crecimiento de los lechones.^a

	C	D		
25OHD ₃ , µg/kg	0	50	CME ^b	P <
Observaciones ^b	13	15		
Parto, n	2.02	2.39	1.174	0.41
Peso a la inseminación, kg	160.84	161.71	22.829	0.92
Duración de gestación, d	116.23	115.53	1.443	0.21
Peso al parto, kg	212.04	210.89	18.889	0.88
Ganancia Diaria de Peso durante gestación, kg	0.44	0.43	0.100	0.69
Lechones lactantes	11.32	12.39	2.146	0.21
Peso Inicial de la camada, kg	14.59	16.29	4.052	0.28
Peso Inicial del lechón, kg	1.30	1.32	0.218	0.82
Lechones al destete	10.08	11.39	1.942	0.09
Peso al destete de la camada, kg	50.55	59.03	10.557	0.05
Peso al destete del lechón, kg	5.00	5.20	0.666	0.80
Mortalidad, %	14.45	13.30	11.240	0.79
Peso al destete de la cerda, kg	195.53	190.77	21.786	0.57
Duración de lactación, d	19.59	19.89	1.808	0.67
Consumo total de alimento (d1 de parto hasta destete), kg	124.79	129.21	17.747	0.52
Consumo diario de alimento (d1 de parto hasta destete), kg	5.96	6.06	0.605	0.68
Cambio de peso en maternidad, kg	-13.51	-13.13	11.138	0.40

^aMedias de mínimos cuadrados.

^bUnidades experimentales: Una cerda con su camada.

^cCME = Cuadrado Medio del Error.

B. Comportamiento productivo.

I.Experimento 1

Los resultados productivos de los cerdos del primer experimento, se presentan en el Cuadro 7.

El experimento inició con un grupo de 300 lechones que tenían un peso promedio de 4.92 ± 1.631 kg al momento del destete y una edad media de 19.6 ± 4.63 días. Después de 53 días de haber sido destetados, el peso corporal no se vio afectado por la suplementación de 25OHD₃ en las dietas de gestación y lactancia. El peso final alcanzó un promedio de 22.0 ± 5.93 kg. La tasa de mortalidad en la población durante el experimento fue del 5%, y no se registraron diferencias entre los diferentes tratamientos ($P > 0.05$).

Por otra parte, durante todo el periodo de destete (0 a 53 días) se encontraron diferencias en las variables de CDA (CON, 0.56 vs. TRT, 0.52, EEM= 0.041, $P < 0.02$) y EA (CON, 0.57 vs. TRT, 0.63, EEM= 0.009, $P < 0.05$) debido a la inclusión de 50 µg/kg de 25OHD₃.

Upadhaya *et al.* 2022, reportaron que durante el periodo del destete (0 a 42 d post-destete), la GDP y la EA fueron mayores ($P < 0.05$) en los lechones provenientes de cerdas que recibieron 25OHD₃ en el alimento durante la gestación y lactación, y además se demostró durante el mismo periodo de 0 a 42 d que continuaron consumiendo 25OHD₃ obtuvieron mayor GDP y mejor EA ($P < 0.05$). Estos resultados coinciden con los observados en esta investigación para la EA. Sin embargo, difieren en la variable de GDP ya que para este periodo no se encontraron diferencias (CON, 0.32 vs. TRT, 0.32, EEM= 0.022, $P > 0.05$). Es probable que en el presente estudio los niveles de vitamina D por kg de dieta C o D durante el destete (1,200 y 3,200 UI, respectivamente) hayan sido insuficientes para encontrar diferencias significativas en la GDP. Esto contrasta con los hallazgos reportados estos autores, quienes proporcionaron niveles de vitamina D en el rango de 2,000 a 4,000 UI por kg de alimento durante este mismo periodo, dependiendo del tratamiento.

Upadhaya *et al.* 2022 suponen que los resultados obtenidos se deben a la relación entre la vitamina D₃ y el sistema Hormona de Crecimiento (HC)/IGF-1. Este sistema, conocido como eje somatrotópico, actúa sobre los órganos metabólicos para promover el crecimiento y el desarrollo en todo el cuerpo. En concreto, se sabe que la HC regula directamente la conversión de 25(OH)D₃ a 1 α ,25(OH)₂D₃ mediante la 1 α -hidroxilasa renal, lo que a su vez modula el metabolismo de la vitamina D mediado por IGF-1.

En cambio, existen otros autores que reportan que el suministrar niveles mayores de vitamina D₃ o de 25OHD₃, no influye en ninguna variable productiva. Como lo describen Zhang *et al.* (2021) que no encontraron diferencias para GDP, CDA o EA en lechones suplementados con 50 μ g/kg de 25OHD₃ en dietas con niveles bajos de calcio y fósforo. Los autores indican que, es importante suplementar los niveles correctos de calcio y fósforo para lograr un crecimiento adecuado en los animales, ya que, a pesar de que la vitamina D₃, en este caso su metabolito 25OHD₃, aumentará la actividad de su forma hormonal y este a su vez incrementará los niveles plasmáticos de calcio, no quiere decir que suplirá las deficiencias del mineral.

Las diferencias a favor de la inclusión de 25OHD₃, pueden deberse a la creciente teoría del rol que tiene la vitamina D₃ en la modulación del sistema inmune. Dado que se ha comprobado que el aumentar los niveles séricos de 25OHD₃ aumenta de forma lineal la concentración de inmunoglobulinas como lo son IgA, IgM e IgG (Zhang *et al.*, 2020). Los niveles elevados de inmunoglobulinas séricas son esenciales para modular y mejorar la función inmunológica, que

promueve el estado de salud, reduce el estrés del destete y mejora el crecimiento de los lechones destetados.

Cuadro 7.- Efectos de la suplementación constante de 25OHD₃ en la productividad de cerdos después del destete.^a

	C	D		
25OHD ₃ , µg/kg	0	50		
Observaciones ^b	14	14	EEM ^b	<i>P</i> <
Peso corporal, kg				
Día 0	4.85	4.94	0.461	0.916
Día 21	7.65	7.83	0.452	0.920
Día 42	16.17	16.83	0.423	0.906
Día 53	21.82	22.10	0.585	0.903
Productividad (día 0 a 21)				
Ganancia diaria, kg	0.13	0.13	0.048	0.874
Consumo diario, kg	0.21	0.17	0.013	0.023
Eficiencia alimenticia	0.66	0.78	0.017	0.001
Productividad (día 21 a 42)				
Ganancia diaria, kg	0.43	0.41	0.011	0.261
Consumo diario, kg	0.76	0.66	0.022	0.002
Eficiencia alimenticia	0.57	0.62	0.011	0.001
Productividad (día 42 a 53)				
Ganancia diaria, kg	0.49	0.51	0.022	0.641
Consumo diario, kg	0.83	0.79	0.040	0.459
Eficiencia alimenticia	0.59	0.64	0.011	0.003
Productividad (día 0 a 53)				
Ganancia diaria, kg	0.32	0.32	0.022	0.606
Consumo diario, kg	0.58	0.51	0.041	0.016
Eficiencia alimenticia	0.57	0.63	0.009	0.001

Edad inicial 19.57 ± 4.633.

^aMedias de mínimos cuadrados.

^bUnidades experimentales: corrales de 10 cerdos (5 hembras y 5 machos castrados).

^cEEM = error estándar de la media.

Cuadro 8.- Impacto de la suplementación continua de 25OHD₃ en la dieta de cerdas y su descendencia en el rendimiento productivo de cerdos durante el periodo de crecimiento a engorda.^a

	C	D		
25OHD ₃ , µg/kg	0	50		
Observaciones ^b	12	12	EEM ^b	<i>P</i> <
Peso inicial, kg	21.88	22.05	1.066	0.908
Peso final, kg	42.55	43.14	1.567	0.785
Ganancia diaria, kg	0.57	0.57	0.022	0.743
Consumo diario, kg	1.46	1.46	0.057	0.882
Eficiencia alimenticia	0.39	0.39	0.012	0.716

Edad inicial 72.57 ± 4.633.

El período comprendido es desde los 53 hasta los 90 días después del destete, lo cual corresponde al período posterior al término del experimento 1 y anterior al inicio del experimento 2.

^aMedias de mínimos cuadrados.

^bUnidades experimentales: corrales de 10 cerdos (5 hembras y 5 machos castrados).

^cEEM = error estándar de la media.

Durante el período que abarca desde el final del Experimento 1 hasta el inicio del Experimento 2, no se encontraron diferencias en cuanto a la productividad de los cerdos de ambos tratamientos, tal como se muestra en el Cuadro 8.

II. Experimento 2

De la población total proveniente del primer Experimento, 21 cerdos fueron descartados para el Experimento 2, por una mala adaptación al alojamiento individual y para balancear los Tratamientos en igualdad de proporción de machos castrados y hembras. Por lo que, el experimento se realizó con un total de 264 cerdos, que resultó en un total de 66 repeticiones por Tratamiento (33 hembras y 33 machos castrados) con un peso a la aleatorización de 47.59 ± 8.426 kg y una edad de 109.7 ± 4.69 días.

El Experimento 2 tuvo una duración de 72 días, ya que fue el periodo en el que se mantuvo la totalidad de la población previo al envío a rastro de los primeros cerdos que alcanzaron un promedio de 110 kg.

Los resultados obtenidos del comportamiento productivo de los cerdos se presentan en el Cuadro 9. A pesar de no encontrar diferencias en las variables productivas que describen el comportamiento estuvieron dentro de los parámetros normales de la granja experimental. El nivel más bajo de probabilidad observado durante todo el periodo fue para el efecto mayor de la suplementación de 25OHD₃ durante el periodo de crecimiento, en eficiencia alimenticia (*P* = 0.09).

Estos resultados coinciden con investigaciones previas presentadas por Guerrero (2018) en donde cerdos alimentados con diferentes concentraciones de una misma premezcla de vitaminas con la adición o no de 25OHD₃, no encontró diferencias significativas en las variables productivas. Donde por el efecto mayor de la suplementación de este metabolito el nivel más bajo de probabilidad fue en GDP ($P = 0.09$).

Sandoval *et al.* (2022), tampoco encontraron diferencias en variables productivas de cerdos alimentados con diferentes dosis de 25OHD₃, pero si el aumento de los niveles séricos de este metabolito. Esto puede deberse a que los cerdos lograron una ingesta óptima que compensó los factores negativos que pueden influir en el rendimiento animal y, por tanto, consiguieron alcanzar un estado óptimo de salud y productividad.

Cuadro 9.- Impacto de la suplementación continua de 25OHD₃ en la dieta de cerdas y su descendencia en el rendimiento productivo de cerdos durante el periodo de engorda a finalización.^a

	CC	CD	DC	DD	P <			
Observaciones ^b	66	66	66	66	EEM ^c	Mdr ^d	Cdo ^e	Int ^f
Peso corporal, kg								
Día 90	47.06	47.04	48.21	48.20	1.573	0.46	0.99	0.99
Día 126	79.94	79.04	81.03	81.00	2.130	0.46	0.82	0.83
Día 162	113.71	113.33	114.58	115.09	2.289	0.57	0.98	0.85
Productividad (día 90 a 126)								
Consumo diario, kg	2.27	2.27	2.23	2.21	0.156	0.38	0.78	0.84
Ganancia diaria, kg	0.91	0.89	0.91	0.91	0.121	0.68	0.50	0.61
Eficiencia alimenticia	0.40	0.39	0.41	0.41	0.104	0.10	0.35	0.14
Productividad (día 126 a 162)								
Consumo diario, kg	2.74	2.81	2.74	2.81	0.139	0.93	0.10	0.91
Ganancia diaria, kg	0.94	0.95	0.93	0.95	0.115	0.67	0.31	0.96
Eficiencia alimenticia	0.34	0.34	0.34	0.34	0.103	0.45	0.30	0.76
Productividad (día 90 a 162)								
Consumo diario, kg	2.44	2.48	2.44	2.45	0.141	0.74	0.48	0.86
Ganancia diaria, kg	0.92	0.92	0.92	0.93	0.175	0.95	0.96	0.74
Eficiencia alimenticia	0.38	0.37	0.38	0.38	0.143	0.39	0.09	0.26

Edad inicial 109.71 ± 4.687 días.

^aMedias de mínimos cuadrados.

^bUnidades experimentales: un cerdo en jaula individual.

^cEEM = error estándar de la media.

^dMdr= Probabilidad para el efecto mayor de la dieta de la madre

^eCdo= Probabilidad para el efecto mayor de la dieta de los cerdos

^fInt= Probabilidad para la interacción entre Tratamientos.

C. Calidad de carne.

Los efectos de suplementar 25OHD₃ durante toda la vida productiva de los cerdos sobre la canal y la calidad de la carne se presentan en el Cuadro 10. En general, no hubo diferencias en la interacción por Tratamiento ($P > 0.07$). Estos resultados coinciden con los reportados por Upadhaya *et al.* 2022, que no encontraron diferencias por tratamiento en parámetros de calidad de carne como pH, color, marmoleo y pérdida de agua por goteo hasta los 3 días, adicionando 50 µg/kg de 25OHD₃ a una dieta con 2,000 UI/kg de vitamina D₃, pero si reportaron que la pérdida de agua por goteo se redujo después del 5° día de almacenamiento, observando que las dietas con 25OHD₃ presentaron menor pérdida de agua.

Sin embargo, Wilborn *et al.* 2004, reportaron que adicionar niveles mayores de los requerimientos establecidos por la academia (NRC, 1998) en cerdos durante la etapa de finalización, alcanzando niveles suplementarios de 80,000 UI/kg de vitamina D₃, aporta una ventaja significativa en color subjetivo, firmeza y luminosidad. Wiegand *et al.* (2002), demostraron que la suplementación de

500,000 UI/kg de vitamina D₃ durante 3 días previos a la matanza, disminuyó los valores de luminosidad (L*) y aumentó los valores de índice de rojos (a*) sin afectar los valores de índice de amarillos (b*). Las diferencias encontradas con estos autores pueden deberse a las diversas fuentes de vitamina D utilizadas en los estudios, la duración de los tratamientos y las dosis de vitamina D₃.

Guerrero (2018) reportó que el utilizar dos diferentes niveles de una misma premezcla de vitaminas (0.500 vs. 0.125 kg) más la adición o no de 25OHD₃, tuvo diferencias sobre el peso vivo, la canal caliente y la canal fría en el efecto mayor a la adición de 25OHD₃. En la interacción de los tratamientos, solo encontraron diferencias en fuerza de corte a favor del nivel alto de la premezcla (2,000 UI/kg Vitamina D₃) más la adición de 25OHD₃. En el presente estudio, no se encontraron diferencias, pero si se observa una tendencia numérica en los parámetros de rendimiento de la canal similares a los reportados por Guerrero (2018) a favor de la adición de 25OHD₃. En cuanto a las diferencias entre resultados en fuerza de corte, estas se encontraron en niveles mayores a los empleados en este experimento, sin embargo, al comparar los valores obtenidos con los de Guerrero (2018) en los tratamientos que usaron el mismo nivel de vitamina D₃ los resultados fueron muy similares.

Si bien, el color, marmoleo, firmeza/terneza, no fueron afectados por la interacción, si se encontraron diferencias en el efecto mayor a la adición de 25OHD₃ durante la gestación hasta los 53 d post-destete en el índice de rojos (a*), obteniendo una carne más rojiza (6.43 vs. 6.90; P < 0.02), esto puede deberse al potencial de la vitamina D₃ para cambiar el metabolismo muscular, para que sea más oxidativo y por lo tanto disminuya la tasa y el alcance de disminución del pH mejorando el color (Wilborn *et al.* 2004). Se cree, que por el aumento de los niveles de calcio muscular que estimula la actividad de las enzimas proteolíticas post mortem, reduciendo la pérdida de agua por goteo (Enright *et al.*, 1998).

El aumento en los tonos rojos también puede deberse a la posible capacidad antioxidante que se ha relacionado recientemente con la vitamina D₃ (Duffy *et al.* 2018). Este efecto antioxidante está en las funciones más nuevas descritas para esta vitamina, que no están relacionadas a los roles calcémicos. Ya que, tiene una estructura homóloga del colesterol (Smith, 1991), se ha propuesto que pueda tener efectos antioxidantes similares o incluso superiores a la vitamina E (Sardar *et al.* 1996), además, induce la expresión de varias moléculas implicadas en la defensa antioxidante que

incluye GSH, GSH peroxidasa y SOD, y suprime la expresión de NADPH oxidasa (Mokhtari *et al.* 2016).

Cuadro 10.- Efectos de la suplementación continua de 25OHD₃ en el alimento de las cerdas y su progenie sobre parámetros de rendimiento, calidad de la canal y calidad de carne.^a

Observaciones ^b	CC	CD	DC	DD	<i>P</i> <			
	55	55	55	55	EEM ^c	Mdr ^d	Cdo ^e	Int ^f
Peso vivo, kg	109.38	108.50	110.48	111.22	1.102	0.09	0.47	0.95
Peso canal caliente ^g , kg	90.48	90.42	91.27	91.98	0.927	0.21	0.68	0.73
Peso canal fría, kg	88.24	88.10	89.15	89.81	0.913	0.16	0.66	0.77
Color subjetivo								
Escala NPPC	2.96	2.90	2.81	3.03	0.078	0.92	0.29	0.07
Escala INIFAP	3.42	3.42	3.43	3.58	0.098	0.40	0.43	0.43
Color Objetivo								
L*	57.89	56.95	57.39	56.99	0.339	0.50	0.43	0.15
a*	6.43	6.44	6.87	6.93	0.193	0.02	0.85	0.80
b*	15.02	14.86	15.16	14.99	0.108	0.21	0.98	0.11
Marmoleo	1.99	1.96	2.07	2.06	0.090	0.32	0.92	0.79
Fuerza de corte, mm/s	3.21	3.17	3.45	3.18	0.113	0.28	0.17	0.29
Pérdida de agua								
Por compresión, %	19.32	18.42	18.45	18.15	0.919	0.54	0.52	0.74
Por cocción, %	24.39	23.98	24.44	23.47	0.587	0.70	0.24	0.64
Por goteo a 24 h, %	5.34	5.10	5.46	5.29	0.210	0.46	0.32	0.85
Por goteo a 48 h, %	7.89	7.62	8.02	7.74	0.266	0.64	0.31	0.99
Por goteo a 72 h, %	9.30	9.00	9.54	9.21	0.303	0.47	0.30	0.97
Capacidad de hidratación, %	7.78	9.14	6.77	6.80	1.287	0.20	0.59	0.60

pH a 45' = 0.73, pH a 24 h. 0.66 (*P* > 0.05)

^aMedias de mínimos cuadrados.

^bUnidades experimentales: observaciones individuales

^cEEM = error estándar de la media.

^dMdr= Probabilidad para el efecto mayor de la dieta de la madre

^eCdo= Probabilidad para el efecto mayor de la dieta de los cerdos

^fInt= Probabilidad para la interacción entre Tratamientos

^gCanal con cabeza y patas; relativo al peso inmediato de sacrificio.

10. Conclusiones

En conclusión, la suplementación de 25OHD₃ durante la gestación, lactación y crecimiento temprano mejoró la eficiencia alimenticia de los lechones destetados hasta 53 días post-destete, lo que sugiere que el metabolito circulante favoreció su adaptación al destete y crecimiento. Sin embargo, durante el periodo de engorda a finalización de los cerdos, la suplementación no tuvo efectos que mejoraran la productividad de los animales. Estos hallazgos sugieren que las recomendaciones actuales de vitamina D₃ para cerdas y cerdos de destete a finalización podrían ser insuficientes y que la inclusión de 25OHD₃ a una dosis de 50 µg/kg en las dietas podría satisfacer las necesidades totales de vitamina D y mejorar la producción y rendimiento.

Es importante destacar que los cerdos en una granja porcina común están expuestos a diferentes factores que generan estrés y que pueden afectar su respuesta a la suplementación de vitaminas. Por lo tanto, se necesitan más investigaciones para estudiar los efectos de la suplementación de vitaminas en condiciones similares a las de una granja comercial y determinar las dosis ideales y la duración óptima de la suplementación para mejorar la producción porcina. En general, las vitaminas son nutrientes clave que juegan un papel importante en la salud y el desarrollo de los animales, y su uso adecuado puede ser beneficioso para mejorar la productividad y el rendimiento en la industria porcina.

11. Literatura citada

- AMSA. (2012). Meat color measurement guidelines. American Meat Sci. Association. Illinois, USA.
- A.O.A.C. 2005. Official Methods of Analysis. 18th. Ed. AOAC. International Gaithersburg.
- Atkins, D. & Martin, T. J. (1976). Metabolism of Vitamin D. *Annals of Clinical Biochemistry*, 13, 561-570. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/000456327601300160>
- Barroeta, A. C., Baucells, M. D., Blanco Pérez, A., Casamiglia, S., Casals, R., Cepero Briz, R., Davin, R., Gonzalez, G., Hernandez, J. M., Isabel, B., Lopez Bote, C., Rey, I. A., Rodriguez, M., Sanz, J., Soto-Salanova, M. F. & Weber, G. (2012). Optimum Vitamin Nutrition in the production of quality animal foods (1.^a ed.). 5M Publishing
- Bischoff, H. A., Borchers, M., Gudat, F., Duermueller, U., Theiler, R., Stähelin, H. B., & Dick, W. (2001). In situ detection of 1,25-dihydroxyvitamin D₃ receptor in human skeletal muscle tissue. *The Histochemical Journal*, 33, 19-24. <https://doi.org/10.1023/a:1017535728844>
- Ceglia, L., & Harris, S. S. (2012). Vitamin D and Its Role in Skeletal Muscle. *Calcified Tissue International*, 92(2), 151-162. <https://doi.org/10.1007/s00223-012-9645-y>
- Celis, A. (2016). Sondeo de niveles de vitaminas para aves y cerdos: Resultados preliminares [Presentación]. CLANA, Cancún, Riviera Maya, México.
- Cho, J., Lu, N. & Lindemann, M. (2017). Effects of vitamin supplementation on growth performance and carcass characteristics in pigs. *Livestock Science*, 204, 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.08.007>
- Christakos, S., Dhawan, P., Verstuyf, A., Verlinden, L., & Carmeliet, G. (2016). Vitamin D: Metabolism, Molecular Mechanism of Action, and Pleiotropic Effects. *Physiological Reviews*, 96(1), 365-408. <https://doi.org/10.1152/physrev.00014.2015>
- Coffey, J. D., Hines, E. A., Starkey, J. D., Starkey, C. W., & Chung, T. K. (2012). Feeding 25-hydroxycholecalciferol improves gilt reproductive performance and fetal vitamin D status¹. *Journal of Animal Science*, 90(11), 3783-3788. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-5023>
- Consejo Mexicano de la Carne. (2021). Compendio estadístico 2021. https://comecarne.org/wp-content/uploads/2021/07/Compendio_Estad%C3%ADstico_2021_VF.pdf
- Cuarón, J. A. (2015). Nutrición y formación del esqueleto en cerdos. XLIX Congreso Nacional AMVEC, León de Los Aldama, Guanajuato, México. Engormix. <https://www.engormix.com/porcicultura/articulos/nutricion-formacion-esqueleto-cerdos-t32621.htm>.

- Duffy, S. K., Kelly, A. K., Rajauria, G., Jakobsen, J., Clarke, L. C., Monahan, F. J., Dowling, K. G., Hull, G., Galvin, K., Cashman, K. D., Hayes, A., & O'Doherty, J. V. (2018). The use of synthetic and natural vitamin D sources in pig diets to improve meat quality and vitamin D content. *Meat Science*, 143, 60-68. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.014>
- Endo, I., Inoue, D., Mitsui, T., Umaki, Y., Akaike, M., Yoshizawa, T., Kato, S. & Matsumoto, T. (2003). Deletion of Vitamin D Receptor Gene in Mice Results in Abnormal Skeletal Muscle Development with Deregulated Expression of Myoregulatory Transcription Factors. *Endocrinology*, 144(12), 5138-5144. <https://doi.org/10.1210/en.2003-0502>
- Enright, K.L., Anderson B.K., Ellis M., McKeith F.K., Berger L.L., & Baker D.H. (1998). The effects of feeding high levels of vitamin D3 on pork quality. *Journal of Animal Science*. 76:149.
- European Food Safety Authority. (2009). Safety and efficacy of 25-hydroxycholecalciferol as a feed additive for poultry and pigs: Scientific opinion of the panel on additives and products or substances used in animal feed. *The EFSA Journal*, 969, 1-32.
- Feldman, D., Pike, W. J., & Glorieux, F. H. (2005). *Vitamin D (English Edition) (2.a ed.)*. Academic Press.
- Flohr, J. R., Tokach, M. D., Dritz, S. S., DeRouche, J. M., Goodband, R. D., Nelssen, J. L., & Bergstrom, J. R. (2014). An evaluation of the effects of added vitamin D3 in maternal diets on sow and pig performance. *Journal of Animal Science*, 92(2), 594-603. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6792>
- Flohr, J. R., Woodworth, J. C., Bergstrom, J. R., Tokach, M. D., Dritz, S. S., Goodband, R. D. & DeRouche, J. M. (2016). Evaluating the impact of maternal vitamin D supplementation on sow performance: II. Subsequent growth performance and carcass characteristics of growing pigs. *Journal of Animal Science*, 94(11), 4643-4653. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0410>
- Guerrero, D. (2018). Resultado de un ajuste a los niveles de vitaminas en dietas para cerdos en crecimiento [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Guerrero, I., E. Ponce, and M. L. Pérez. (2002). *Curso práctico de tecnología de carnes y pescado*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.
- Hamm, R. (1986). *Functional properties of the myofibrillar system and their measurements*. Academic Press.
- Hines, E. A., Coffey, J. D., Starkey, C. W., Chung, T. K. & Starkey, J. D. (2013). Improvement of maternal vitamin D status with 25-hydroxycholecalciferol positively impacts porcine fetal skeletal muscle development and myoblast activity. *Journal of Animal Science*, 91(9), 4116-4122. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6565>

- Honikel, K. O. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, 49(4), 447-457. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(98\)00034-5](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(98)00034-5)
- Honikel, K.O., Hamm, R. (1994). Measurement of water-holding capacity and juiciness. In: Pearson, A.M., Dutson, T.R. (eds) *Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products*. *Advances in Meat Research*, vol 9. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2167-9_5
- Lauridsen, C., Halekoh, U., Larsen, T., & Jensen, S. K. (2010). Reproductive performance and bone status markers of gilts and lactating sows supplemented with two different forms of vitamin D. *Journal of Animal Science*, 88(1), 202-213. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1976>
- Lauridsen C. (2014) TRIENNIAL GROWTH SYMPOSIUM: Establishment of the 2012 vitamin D requirements in swine with focus on dietary forms and levels of vitamin D. *Journal of Animal Science*, 92, 910-916. <https://doi.org/10.2527/jas2013-7201>
- Leichtmann, G. A., Bengoa, J. M., Bolt, M. J. & Sitrin, M. D. (1991). Intestinal absorption of cholecalciferol and 25-hydroxycholecalciferol in patients with both Crohn's disease and intestinal resection. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 54(3), 548-552. <https://doi.org/10.1093/ajcn/54.3.548>.
- Mascaró, E. (2011). Síntesis de nuevos análogos del calcitriol (1 α ,25-dihidroxivitamina D3) fósforo funcionalizados. Estudio de una nueva metodología para la formación del sistema triénico. [Tesis de Doctorado]. Universidad Nacional del Sur.
- Mejía, C. A., Cuarón, J. A., Rentería, J. A., Braña, D., Mariscal, G., & Gómez, S. (2007). Alimentación del hato reproductor porcino: Teoría y práctica dirigidas a elevar la eficiencia productiva del pie de cría. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal.
- Mokhtari, Z., Hekmatdoost, A., & Nourian, M. (2016). Antioxidant efficacy of vitamin D. *Journal of Parathyroid Disease*, 5(1), 11-16. <http://jparathyroid.com/PDF/JPD-5-11.pdf>
- National Center for Biotechnology Information (2022). PubChem Compound Summary for CID 5280795, Cholecalciferol. Retrieved December 30, 2022 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Cholecalciferol>.
- National Research Council. 1998. *Nutrient Requirements of Swine: 10th Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/6016>.
- National Research Council. 2012. *Nutrient Requirements of Swine: Eleventh Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13298>.
- Nelson, D. L. & Cox, M. M. (2019). *Lehninger. Principios de Bioquímica (7.a ed.)*. Omega.

- Norma Oficial Mexicana, NOM-033-Z00-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. Diario Oficial de la Federación
- Norma Oficial Mexicana NOM-051-ZOO-1995, Trato humanitario en la movilización de animales. Diario Oficial de la Federación
- Nuñez Montoya, S. C., & Rocha, M. T. (2020). Ficha técnica de Vitamina D. Red Argentina de Centros de Información de Medicamentos. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/16359>
- Omdahl, J. L. & DeLuca, H. F. (1973). Regulation of vitamin D metabolism and function. *Physiological Reviews*, 53(2), 327-372. <https://doi.org/10.1152/physrev.1973.53.2.327>.
- Razas Porcinas - La Comunidad de Producción Porcina. (2017, 7 abril). La alimentación durante la producción porcina y sus objetivos a cumplir. <https://razasporcinas.com/la-alimentacion-durante-la-produccion-porcina-y-sus-objetivos-a-cumplir/>
- Red Argentina de Centros de Información de Medicamentos (RACIM). (2020). Vitamina D. <http://cime.fcq.unc.edu.ar/wp-content/uploads/sites/15/2020/12/RACIM-Vitamina-D-versi%C3%B3n-2-18.11.2020.pdf>
- Rehfeldt, C., Fiedler, I., Weikard, R., Kanitz, E. & Ender, K. (1993). It is possible to increase skeletal muscle fibre number in utero. *Bioscience Reports*, 13(4), 213-220. <https://doi.org/10.1007/bf01123503>
- Sales, J. & Koukolová, V. (2011). Dietary vitamin E and lipid and color stability of beef and pork: Modeling of relationships. *Journal of Animal Science*, 89(9), 2836-2848. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3335>.
- Sandoval, J. L., Ventura, D. E., Fiallos, O. B., Anderson, B. L., Sparks, J. C., Starkey, J. D., & Starkey, C. W. (2022). Efficacy and safety of a novel source of dietary 25-hydroxycholecalciferol in growing pigs. *Journal of animal science*, 100(9), skac260. <https://doi.org/10.1093/jas/skac260>
- Sardar, S., Chakraborty, A., & Chatterjee, M. (1996). Comparative effectiveness of vitamin D3 and dietary vitamin E on peroxidation of lipids and enzymes of the hepatic antioxidant system in Sprague--Dawley rats. *International journal for vitamin and nutrition research. Internationale Zeitschrift fur Vitamin- und Ernährungsforschung. Journal international de vitaminologie et de nutrition*, 66(1), 39–45.
- Sato, Y., Iwamoto, J., Kanoko, T. & Satoh, K. (2005). Low-Dose Vitamin D Prevents Muscular Atrophy and Reduces Falls and Hip Fractures in Women after Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Cerebrovascular Diseases*, 20(3), 187-192. <https://doi.org/10.1159/000087203>.
- Smith, L. L. (1991). Another cholesterol hypothesis: Cholesterol as antioxidant. *Free Radical Biology and Medicine*, 11(1), 47-61. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(91\)90187-8](https://doi.org/10.1016/0891-5849(91)90187-8)

- Soares, J., Kerr, J. & Gray, R. (1995). 25-Hydroxycholecalciferol in Poultry Nutrition. *Poultry Science*, 74(12), 1919-1934. <https://doi.org/10.3382/ps.0741919>.
- Starkey, J. D. (2014). TRIENNIAL GROWTH SYMPOSIUM: A role for vitamin D in skeletal muscle development and growth. *Journal of Animal Science*, 92, 887-892. <https://doi.org/10.2527/jas2013-7087>
- Sugiyama, T., Kusuhara, S., Chung, T. K., Yonekura, H., Azem, E. & Hayakawa, T. (2012). Effects of 25-hydroxy-cholecalciferol on the development of osteochondrosis in swine. *Animal Science Journal*, 84(4), 341-349. <https://doi.org/10.1111/asj.12000>.
- Thayer, M. T., Nelssen, J. L., Langemeier, A. J., Morton, J. M., Gonzalez, J. M., Kruger, S. R., Ou, Z., Makowski, A. J. & Bergstrom, J. R. (2019). The effects of maternal dietary supplementation of cholecalciferol (vitamin D3) and 25(OH)D3 on sow and progeny performance. *Translational Animal Science*, 3(2), 692-708. <https://doi.org/10.1093/tas/txz029>
- Upadhaya, S. D., Chung, T. K., Jung, Y. J., & Kim, I. H. (2022). Dietary 25(OH)D3 supplementation to gestating and lactating sows and their progeny affects growth performance, carcass characteristics, blood profiles and myogenic regulatory factor-related gene expression in wean-finish pigs. *Animal Bioscience*, 35(3), 461-474. <https://doi.org/10.5713/ab.21.0304>.
- Van Soest P. J., Robertson J. B., Lewis B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and no starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74:3583-3597.
- Vassiliou, A. (2009). Scientific opinion: Safety and efficacy of 25-hydroxycholecalciferol as a feed additive for poultry and pigs. *Official Journal of the European Union*, 969, 1-32.
- Weber, G. M., Witschi, A. K. M., Wenk, c. & Martens, H. (2014). TRIENNIAL GROWTH SYMPOSIUM: Effects of dietary 25-hydroxycholecalciferol and cholecalciferol on blood vitamin D and mineral status, bone turnover, milk composition, and reproductive performance of sows. *Journal of Animal Science*, 92, 899-909. <https://doi.org/10.2527/jas2013-7209>.
- Wiegand, B. R., Sparks, J. C., Beitz, D. C., Parrish, F. C., Horst, R. L., Trenkle, A. H., & Ewan, R. C. (2002). Short-term feeding of vitamin D3 improves color but does not change tenderness of pork-loin chops. *Journal of Animal Science*, 80(8), 2116-2121. <https://doi.org/10.1093/ansci/80.8.2116>
- Wilborn, B. S., Kerth, C. R., Owsley, W. F., Jones, W. R., & Frobish, L. T. (2004). Improving pork quality by feeding supranutritional concentrations of vitamin D3. *Journal of Animal Science*, 82(1), 218-224. <https://doi.org/10.2527/2004.821218x>
- Zhang, L., Liu, S., & Piao, X. (2020). Dietary 25-hydroxycholecalciferol supplementation improves performance, immunity, antioxidant status, intestinal morphology, and bone quality in

weaned piglets. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(6), 2592-2600.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.10889>

- Zhang, L., Yang, M., & Piao, X. (2021). Effects of 25-hydroxyvitamin D₃ on growth performance, serum parameters, fecal microbiota, and metabolites in weaned piglets fed diets with low calcium and phosphorus. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(2), 597-606.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.11388>
- Zhang, M., Mittal, G. & Barbut, S. (1995). Effects of test conditions on the water holding capacity of meat by a centrifugal method. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 50-55.
[https://doi.org/10.1016/s0023-6438\(95\)80012-3](https://doi.org/10.1016/s0023-6438(95)80012-3)
- Zhou, H., Chen, Y., Lv, G., Zhuo, Y., Lin, Y., Feng, B., Fang, Z., Che, L., Li, J., Xu, S., & Wu, D. (2016). Improving maternal vitamin D status promotes prenatal and postnatal skeletal muscle development of pig offspring. *Nutrition*, 32(10), 1144-1152.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2016.03.004>