



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

“MODO DE ACCIÓN Y EFICIENCIA PRODUCTIVA DE LAS ENZIMAS  
EXÓGENAS EN CERDOS CUANDO SE SUPLEMENTAN EN LAS  
ETAPAS DE DESTETE, CRECIMIENTO Y FINALIZACIÓN”

# TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA:

**EDGAR ARANDA AGUIRRE**

ASESORES:

**Dr. en C. MANUEL GONZÁLEZ RONQUILLO**

**Dr. en BCA. JORGE OSORIO AVALOS**

**Dra. en C. LIZBETH ESMERALDA ROBLES JIMÉNEZ**



TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO, NOVIEMBRE 2022

Modo de acción y eficiencia productiva de las enzimas exógenas en cerdos cuando se suplementan en las etapas de destete, crecimiento y finalización

## TÍTULO

MODO DE ACCIÓN Y EFICIENCIA PRODUCTIVA DE LAS ENZIMAS  
EXÓGENAS EN CERDOS CUANDO SE SUPLEMENTAN EN LAS ETAPAS DE  
DESTETE, CRECIMIENTO Y FINALIZACIÓN

---

<b>ÍNDICE</b>	<b>Pág.</b>
<b>Tabla de contenido</b>	
<b>RESUMEN.....</b>	<b>vii</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. Importancia de la producción porcina a nivel mundial.....	3
2.2. Desempeño productivo del cerdo.....	4
2.2.1. Desempeño productivo del cerdo al destete.....	4
2.2.2. Desempeño productivo del cerdo al crecimiento.....	4
2.2.3. Desempeño productivo del cerdo en la finalización.....	5
2.3. Ingredientes utilizados en la alimentación de cerdos.....	5
2.3.1. Fuentes de energía.....	5
2.3.2. Fuentes de proteína.....	6
2.3.3. Fuentes de vitaminas y minerales.....	6
2.3.4. Aditivos.....	7
2.4. Principales países productores, consumidores y consumo per cápita de carne de cerdo a nivel mundial.....	7
2.5. Principales estados productores, consumidores y consumo per cápita de carne de cerdo en México.....	8
2.6. Enzimas exógenas como sustituto de antibióticos.....	8
2.7. Enzimas exógenas comúnmente utilizadas en cerdos.....	9
2.7.1. Fitasas.....	9
2.7.2. Carbohidrasas.....	10
2.7.3. Mananasas.....	12
2.7.4. Xilanasas.....	13
2.7.5. Proteasas.....	14
2.7.6. Multi-enzimas.....	15
<b>3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>17</b>

<b>4. OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
<b>5. MATERIAL Y MÉTODO</b> .....	<b>19</b>
<b>6. LÍMITE DE ESPACIO</b> .....	<b>20</b>
<b>7. LÍMITE DE TIEMPO</b> .....	<b>21</b>
<b>8. RESULTADOS</b> .....	<b>22</b>
8.1. Carbohidrasas no comúnmente utilizadas o suplementadas en combinación.....	22
8.1.1. $\beta$ -glucanasas.....	22
8.1.2. $\alpha$ -Galactosidasas.....	22
8.1.3. Amilasas.....	22
8.1.4. Celulasas.....	23
8.1.5. Hemicelulasas.....	23
8.1.6. Pectinasas.....	24
8.2. Eficiencia productiva de enzimas exógenas utilizadas en cerdos en la etapa de destete.....	25
8.2.1. Fitasas.....	25
8.2.1. $\beta$ -glucanasas.....	25
8.2.3. Xilanasas.....	26
8.2.4. Amilasas.....	26
8.2.5. Mananasas.....	27
8.2.6. Celulasas.....	27
8.2.7. Pectinasas.....	27
8.2.8. Proteasas.....	27
8.3. Eficiencia productiva de enzimas exógenas utilizadas en cerdos en la etapa de crecimiento.....	29
8.3.1. Fitasas.....	29
8.3.2. $\beta$ -glucanasas.....	29
8.3.3. Xilanasas.....	29
8.3.4. $\alpha$ -Galactosidasas.....	29
8.3.5. Amilasas.....	30
8.3.6. Mananasas.....	30

Modo de acción y eficiencia productiva de las enzimas exógenas en cerdos cuando se suplementan en las etapas de destete, crecimiento y finalización

8.3.7. Proteasas.....	30
8.4. Eficiencia productiva de enzimas exógenas utilizadas en cerdos en la etapa de finalización.....	31
8.4.1. Fitasas.....	31
8.4.2. Xilanasas.....	31
8.4.3. $\alpha$ -Galactosidasas.....	31
8.4.4. Amilasas.....	31
8.4.5. Mananasas.....	31
8.4.6. Proteasas.....	32
<b>9. DISCUSIÓN.....</b>	<b>33</b>
<b>10. CONCLUSIONES.....</b>	<b>34</b>
<b>11. SUGERENCIAS.....</b>	<b>35</b>
<b>12. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>36</b>
<b>13. ABREVIATURAS.....</b>	<b>53</b>

---

---

**ÍNDICE DE TABLAS**

**Pág.**

Tabla 1. Enzimas exógenas para piensos y sustratos objetivo.....52

## **RESUMEN**

El objetivo del presente trabajo consistió en resumir el conocimiento actual sobre el uso de enzimas exógenas en las dietas de los cerdos para mejorar el rendimiento productivo en las etapas de destete, crecimiento y finalización con respecto a su modo de acción y efectos. La búsqueda de información se centró en estudios que informan del uso de enzimas exógenas en las dietas para cerdos. Del presente trabajo se resume que las enzimas exógenas suplementadas en dietas para cerdos son una alternativa que sustituye el uso de antibióticos como promotores del crecimiento, aumentan la digestibilidad de la energía y la fibra de la dieta con el fin de mejorar el rendimiento de la producción porcina a un bajo coste de producción y reducen el impacto medioambiental con menores excreciones de N y P. La etapa productiva, la composición de la dieta, el origen de la enzima, la cantidad y el número de enzimas agregadas, son factores a considerar antes de usarlas. La suplementación dietética de enzimas exógenas mejora las características de producción en todas las etapas productivas, sin embargo, no siempre se observa una mejora en el rendimiento del crecimiento y la digestibilidad de los nutrientes. Los estudios futuros deberán centrarse en la interacción entre las fases de producción, la composición de la dieta, el origen de la enzima y la cantidad y el número de enzimas añadidas.

## 1 1. INTRODUCCIÓN

2 Los ingredientes alimentarios incluidos en las dietas para cerdos, especialmente  
3 los cereales de origen vegetal, contienen grandes cantidades de polisacáridos sin  
4 almidón (NSP) (Adeola y Cowieson, 2011; Recharla *et al.*, 2019). Estos NSP son  
5 una parte importante de los ingredientes vegetales (10-75%) dependiendo del  
6 ingrediente, y la mayoría están compuestos por arabinosilanos, celulosa y  $\beta$ -  
7 glucanos (Choct, 2015). Sin embargo, los NSP son poco aprovechados por los  
8 cerdos, ya que carecen de enzimas endógenas específicas para su degradación  
9 (Jha y Berrocoso, 2015).

10

11 Así, la suplementación de enzimas exógenas como aditivos para las dietas de los  
12 cerdos hidroliza los NSP, rompe la pared celular que los encapsula, degrada los  
13 factores antinutricionales y realiza la escisión de los enlaces glicolíticos que no son  
14 hidrolizados por la actividad enzimática endógena (Lima *et al.*, 2007; Kim *et al.*,  
15 2008; Masey O'Neill *et al.*, 2014; Recharla *et al.*, 2019), mejorando la digestibilidad  
16 de los nutrientes y pudiendo así ser utilizados por el animal. La mayoría de los  
17 estudios sobre dietas en animales buscan estrategias para mejorar la eficiencia  
18 alimentaria, que son de especial interés como medio para aumentar la eficacia  
19 productiva y reducir el impacto ambiental (Aarnink y Verstegen, 2007; Clark y  
20 Tilman, 2017).

21

22 En este sentido, las enzimas exógenas mejoran la eficiencia alimentaria y reducen  
23 los costos de alimentación en la industria de producción animal (Adeola y  
24 Cowieson, 2011; Upadhaya *et al.*, 2016), ya que la alimentación de los cerdos  
25 representa entre el 55 y el 75% de los costos totales de producción (Nguyen *et al.*,  
26 2017). Estos costos derivan de los principales ingredientes utilizados en la dieta  
27 como lo son maíz y/o sorgo y harina de soya, los cuales se han elevado en los  
28 últimos años (USDA, 2021). Sin embargo, el uso de enzimas exógenas no  
29 significaría un alto costo de producción ya que la cantidad a utilizar es mínima  
30 (-100 g/kg) y los estudios indican que sus funciones son similares al del uso de

31 antibióticos (Adeola y Cowieson, 2011; Dersjant-Li *et al.*, 2014; Bedford y  
32 Cowieson, 2012).

33

34 Algunas enzimas exógenas incluidas en las dietas para cerdos son las fitasas, las  
35 carbohidrasas, las proteasas y las lipasas (Tabla 1) (Ravindran, 2013). Del  
36 mercado mundial de enzimas para la alimentación de monogástricos, se ha  
37 estimado que las fitasas y las carbohidrasas representan el 90% y las proteasas y  
38 lipasas el 10% (Adeola y Cowieson, 2011). Por lo tanto, el objetivo de la presente  
39 revisión bibliográfica es resumir el conocimiento actual sobre el uso de enzimas  
40 exógenas en las dietas de los cerdos, para mejorar el rendimiento productivo en  
41 las etapas de destete, crecimiento y finalización con respecto a su modo de acción  
42 y efectos.

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

## 62 2. REVISION DE LITERATURA

63

### 64 2.1. Importancia de la producción porcina a nivel mundial

65

66 La porcicultura a nivel mundial ha crecido significativamente de tal forma que se  
67 han empleado producciones intensivas para cumplir con la demanda de cada país.  
68 El censo mundial de ganado porcino es de aproximadamente 960 millones de  
69 cabezas, ubicándose alrededor de 60% en Asia, 20% en Europa, y 16% en  
70 América. Este crecimiento ha llevado a la carne de cerdo a representar el 40% del  
71 consumo mundial. Países como China, E.U y Alemania son los principales  
72 productores que satisfacen esta demanda de carne, sin embargo, en E.U los  
73 sistemas de producción han evolucionado más rápidamente (FAO, 2010; FIRA,  
74 2016-2017).

75

76 Por otro lado, además de que la porcicultura crea ingresos en los países, está  
77 directamente relacionada con la producción agrícola, al utilizar materias primas  
78 para su producción como el maíz amarillo, sorgo y harina de soya, desempeñando  
79 una función importante dentro de la cadena productiva de granos y leguminosas a  
80 nivel mundial (Iglesias *et al.*, 2018). Sin embargo, debido a la alta demanda de  
81 consumo de carne de esta especie y al incremento en los precios de los alimentos  
82 de un 20%, el sector porcino busca estrategias rentables que sigan mejorando el  
83 desempeño económico de los productores. Al mismo tiempo, las consecuencias de  
84 dicha producción porcina al impacto medioambiental siguen preocupando cada vez  
85 más, sobre todo en términos del uso de antibióticos, ya que la excreción de estos  
86 biológicos tanto en heces y orina contamina el suelo y agua (OECD, 2003).

87

88

89

90

91

92

## 93 **2.2. Desempeño productivo del cerdo**

94

### 95 **2.2.1. Desempeño productivo del cerdo al destete**

96

97 El destete es el periodo en el cual se determina el crecimiento y desarrollo del  
98 cerdo. Considerar el peso del lechón al destete como su tasa de crecimiento en el  
99 periodo 7-10 días post-destete, influyen sobre los parámetros productivos futuros y  
100 sobre la eficiencia del alimento. En los actuales sistemas intensivos los lechones  
101 son destetados entre los 14 y 28 días, proceso en el cual hay un cambio en la dieta  
102 al cambiar leche materna por un alimento concentrado. Estos cambios pueden  
103 afectar los procesos metabólicos, fisiológicos, endocrinos e inmunológicos en el  
104 lechón, lo que puede originar un estrés considerable afectando el potencial de  
105 crecimiento (Iglesias *et al.*, 2018). Por lo tanto, es importante evaluar la  
106 digestibilidad de la dieta con materias primas específicas, tomando en cuenta el  
107 sistema digestivo inmaduro del lechón, con la finalidad de adaptar al aparato  
108 digestivo del lechón al cambio de alimentación, considerando la concentración y  
109 actividad de enzimas (lactosa, sacarosa, maltosa) que se diferencian con los  
110 cerdos adultos (Sergio, 2009).

111

### 112 **2.2.2. Desempeño productivo del cerdo al crecimiento**

113

114 La alimentación del cerdo en la etapa de crecimiento es uno de los aspectos más  
115 importantes a considerar en cualquier programa de alimentación dado que sus  
116 rendimientos productivos posteriores dependen de esta etapa. En esta etapa se  
117 proporciona una mayor cantidad de energía para un rápido crecimiento, en el cual  
118 deben existir aminoácidos altamente digestibles, minerales para una buena  
119 estructura ósea y vitaminas para poder asimilar los nutrientes. El crecimiento es la  
120 etapa donde mayor síntesis de tejido magro existe (carne baja en grasa); por tal  
121 motivo se debe suministrar un alimento que provea un balance correcto entre la  
122 energía, aminoácidos digeribles y los demás nutrientes, para una mayor producción  
123 de músculo (Augenstein *et al.* 1997).

### 124 **2.2.3. Desempeño productivo del cerdo en la finalización**

125

126 El período de engorde del cerdo es una de las etapas más importantes de la vida  
127 productiva del animal, pues aquí se consume entre el 75 y el 80% del total del  
128 alimento necesario en su vida productiva. En esta etapa el animal tiene un sistema  
129 digestivo capaz de utilizar dietas simples y sintetizarlas para obtener un buen  
130 rendimiento. Existe una gran variación en los criterios sobre los requerimientos de  
131 nutrimentos para obtener máximos rendimientos en el período de desarrollo y  
132 engorde. Sin embargo, estos requerimientos siempre dependerán de factores como  
133 el ambiente, el tipo de dieta, el propósito del animal, la genética, el sexo, el peso  
134 del animal, la productividad y el manejo de la explotación (Campabadal, 2009).

135

### 136 **2.3. Ingredientes utilizados en la alimentación de cerdos**

137

138 Los ingredientes utilizados en dietas para cerdos son divididos en cuatro categorías  
139 que son: fuentes de energía, de proteína, de vitaminas y minerales, y los aditivos.  
140 Cada uno de los ingredientes que se utilizan en las diferentes etapas productivas  
141 depende del tipo de explotación y de la factibilidad para elaborar dietas con ellos  
142 (Iglesias *et al.*, 2018; Campabadal, 2009).

143

#### 144 **2.3.1. Fuentes de energía**

145

146 Las fuentes de energía más utilizadas para la alimentación porcina son el maíz, las  
147 grasas y/o aceites y los subproductos agroindustriales. El maíz es la principal  
148 fuente de energía utilizada en la alimentación porcina, aunque en términos de  
149 costos se puede sustituir por el sorgo. Por otro lado, el objetivo de la utilización de  
150 grasas y aceites es mantener al cerdo más fresco internamente y en los alimentos  
151 para lechones y cerdas lactantes, para incrementar la eficiencia de utilización de  
152 los alimentos y aumentar la producción de leche, evitando el desgaste corporal de  
153 la cerda lactante, que tanto afecta los rendimientos reproductivos. Las otras fuentes  
154 de energía que se utilizan en la alimentación de cerdos son los subproductos de

155 origen agroindustrial, que generalmente presentan ciertas limitaciones  
156 nutricionales como son un nivel bajo de energía, un alto nivel de fibra, elementos  
157 tóxicos y la ausencia de ciertos aminoácidos limitantes, lo que puede afectar los  
158 rendimientos productivos (Bobadilla *et al.*, 2010).

159

### 160 **2.3.2. Fuentes de proteína**

161

162 Dos son los tipos de fuentes de proteína utilizadas en la elaboración de alimentos  
163 balanceados para cerdos. Las fuentes de proteína de origen vegetal, que incluye  
164 principalmente a la harina de soya. La otra categoría de fuentes de proteína son  
165 las de origen animal, donde se incluyen las harinas de pescado, la harina de carne  
166 y hueso, los subproductos de la leche, el plasma porcino, las células sanguíneas y  
167 rara vez subproductos avícolas. El valor nutricional de estos tipos de fuentes de  
168 proteína dependerá del tipo de procesamiento a que son sometidas y de los  
169 constituyentes que las formen (Campabadal, 2009; Bobadilla *et al.*, 2010).

170

### 171 **2.3.3. Fuentes de vitaminas y minerales**

172

173 Las fuentes de vitaminas y minerales traza, se agregan a los alimentos en forma  
174 de pre-mezclas, solas o en conjunto. En ellas se satisfacen un 100% de los  
175 requerimientos de estos nutrimentos. En el caso de las fuentes de calcio y fósforo,  
176 se utilizan los fosfatos mono y dicálcicos cuyo contenido de estos dos minerales  
177 depende de la fuente. Uno de los más utilizados es el fosfato monocálcico que tiene  
178 21% de fósforo y 16% de calcio. Como fuente única de calcio, normalmente se usa  
179 el carbonato de calcio cuyo nivel de calcio varía según la fuente, de 28 a 38%. El  
180 nivel de cloro y sodio se satisface utilizando sal. Los niveles dependen de la etapa  
181 productiva y del contenido de las materias primas (Campabadal, 2009; Bobadilla *et*  
182 *al.*, 2010).

183

184

185

#### 186 **2.3.4. Aditivos**

187

188 Los aditivos son sustancias o microorganismos que se adicionan en pequeñas  
189 cantidades a las dietas para mejorar las funciones y/o calidad de las mismas, entre  
190 ellos se encuentran los 1) Aditivos nutricionales, que aportan nutrientes a la ración  
191 (aminoácidos sintéticos como la Lisina, Metionina y Treonina). 2) Aditivos  
192 sensoriales, que sirven para mejorar las características organolépticas o visuales  
193 de la ración (sabores o aromas incorporados en las dietas como destete y  
194 crecimiento). 3) Aditivos tecnológicos (aglomerantes de pellet como el  
195 Lignosulfonato, fluidificantes como el sílice y secuestrantes de micotoxinas). Por  
196 ultimo, 4) aditivos zootécnicos, que son los utilizados para el mejoramiento  
197 productivo y se clasifican en: A) Digestivos (enzimas, aceites esenciales o extractos  
198 de plantas). B) Equilibradores de flora (microorganismos que forman colonias o  
199 sustancias con efectos definidos y positivos sobre la flora del tracto digestivo).  
200 Finalmente, C) Mejoradores del desempeño productivo (antibióticos, ácidos  
201 orgánicos y antisépticos naturales) (Castro, 2005).

202

#### 203 **2.4. Principales países productores, consumidores y consumo per cápita de** 204 **carne de cerdo a nivel mundial**

205

206 Los principales países productores de carne de cerdo a nivel mundial del 2018 al  
207 2020 son China con el 41.7%, Unión europea 23.5%, Estados Unidos 12.3%, Brasil  
208 3.9%, y Rusia con el 3.3%. Sin embargo, los principales consumidores a nivel  
209 mundial del 2018 a 2020 son China, Unión Europea y Estados Unidos (USDA-FAS  
210 2019-2020a, 2020b, 2020c). Por otro lado, de acuerdo con estimaciones de la  
211 Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la  
212 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO),  
213 el consumo per cápita promedio mundial de carne de cerdo de 2010 a 2019 se  
214 ubicó en 12.0 kilogramos anuales (OECD-FAO, 2019-2028).

215

216 **2.5. Principales estados productores, consumidores y consumo per cápita de**  
217 **carne de cerdo en México**

218

219 A nivel nacional, los principales estados productores de carne de cerdo del 2018 a  
220 2020 son Jalisco con el 21.4%, Sonora 19.3%, Puebla 10.7%, Yucatán 9.2%,  
221 Veracruz 8.9% y Guanajuato 7.7%. Así mismo los principales consumidores son  
222 Ciudad de México y el Estado de México (SAGARPA-SIAP, 2020). Finalmente, a  
223 nivel nacional el consumo per cápita de carne de cerdo se ubica en 19.2 kilogramos  
224 anuales de 2006 a 2020 (USDA-FAS, 2019-2020a, 2020b, 2020c).

225

226 **2.6. Enzimas exógenas como sustituto de antibióticos**

227

228 Debido a que la alimentación de los cerdos representa entre el 55 y el 75% del  
229 costo total de producción, en los últimos años se han buscado suplementos como  
230 las enzimas exógenas para mejorar el rendimiento del crecimiento y la salud de los  
231 cerdos. Estas enzimas exógenas pueden utilizarse para mejorar la producción sin  
232 el uso de antibióticos, ya que, en mayo de 2015, la 68<sup>a</sup> Asamblea Mundial de la  
233 Salud reconoció la importancia del problema de salud pública de la resistencia a  
234 los antimicrobianos y adoptó el plan para reducir el uso innecesario de  
235 antimicrobianos en humanos y animales (Who guidelines on use of medically  
236 important antimicrobials in food-producing animals, 2017).

237

238 Países como los Estados miembros de la Unión Europea, México, Nueva Zelanda,  
239 República de Corea, Australia, Canadá, Japón y Estados Unidos han prohibido el  
240 uso de antibióticos en animales. Los grandes países productores de carne, como  
241 Argentina, Brasil, China, India, Indonesia, Filipinas, Rusia y Sudáfrica, no han  
242 prohibido el uso de promotores del crecimiento. La mayor incertidumbre sobre los  
243 patrones actuales de uso en el ganado se encuentra en los países de bajos  
244 ingresos (Antimicrobial resistance in the Asia Pacific region: World Health  
245 Organization Regional Office for the Western Pacific, 2017).

246

## 247 **2.7. Enzimas exógenas comúnmente utilizadas en cerdos**

248

### 249 **2.7.1. Fitasas**

250

251 En los cerdos, las fitasas (*myo*-inositol hexafosfato fosfohidrolasa) es una enzima  
252 fosfohidrolítica que inicia la eliminación gradual del fosfato del fitato (hexafosfato  
253 de inositol), que es la principal fuente de fósforo que se encuentra en los granos de  
254 cereales y las semillas oleaginosas (Dersjant-Li *et al.*, 2014). Las fitasas de origen  
255 bacteriano son las enzimas exógenas más utilizadas en las dietas de animales  
256 monogástricos y representan el 60% del mercado mundial de enzimas alimentarias  
257 (Adeola y Cowieson, 2011; Dersjant-Li *et al.*, 2014), actuando en la hidrólisis del  
258 fitato (*myo*-inositol 1,2,3,4,5,6-hexakis [dihidrógeno] fosfato) para liberar el fosfato  
259 de este complejo, mejorando la digestibilidad del fósforo (P), el calcio, los  
260 aminoácidos, la energía y reduciendo la excreción de P inorgánico al medio  
261 ambiente (EFSA, 2012; Dersjant-Li *et al.*, 2014; De Faria *et al.*, 2015).

262

263 Las fitasas más utilizadas en la alimentación animal son las fosfatasas ácidas de  
264 histidina (FAH), otras clases de fitasas son la fitasa de hélice  $\beta$  (BPPHy o fitasa  
265 alcalina), la fitasa ácida púrpura y la proteína tirosina fosfatasa (Lei *et al.*, 2012).  
266 La actividad de las fitasas se expresa como FTU (unidad de fitasa) y una unidad de  
267 fitasa se define como la cuantificación de la enzima que liberará 1 mol de ortofosfato  
268 inorgánico por minuto en las condiciones del ensayo (AOAC, 2000). Las fitasas  
269 microbianas suplementadas son activas principalmente en el estómago y en la  
270 parte superior del intestino delgado. La fitasa es una molécula proteica que puede  
271 ser hidrolizada por la proteasa endógena en el tracto digestivo de los animales  
272 (Dersjant-Li *et al.*, 2014).

273

274 La mejora de la disponibilidad de fósforo y otros minerales en las dietas para cerdos  
275 con el uso de fitasas, reduce la contaminación del suelo al disminuir la excreción  
276 de N y P (Sefer *et al.*, 2012). Las fitasas en las dietas para cerdos se añaden  
277 generalmente a 2.500 g/kg, pero se hidroliza menos del 50% del fitato en la dieta

278 (Selle *et al.*, 2009; Dersjant-Li *et al.*, 2017). Por lo tanto, es necesario incluir niveles  
279 más altos en la dieta para hidrolizar más del 60% del fitato, reducir sus efectos  
280 antinutricionales y mejorar la eficiencia del uso del fósforo orgánico (Dersjant-Li *et*  
281 *al.*, 2014). Adeola y Cowieson, (2011), mencionan que un nivel de inclusión de  
282 fitasas superior a 2.500 g/kg de alimento caracteriza una dosis alta de inclusión.

283

284 La eficacia depende de varios factores, como la etapa de crecimiento del cerdo, el  
285 tipo de dieta y la fuente de fitasas (Jongbloed *et al.*, 2004). El aumento del nivel de  
286 inclusión de la enzima no representa necesariamente una mejora lineal en la  
287 utilización de los nutrientes (Da Silva *et al.*, 2019). Además, ya se ha estudiado la  
288 recuperación de enzimas suplementarias, esto después de que Tsai *et al.* (2019)  
289 evaluaran la cantidad de enzimas ingeridas (g/d), la excreción fecal y urinaria (g/d)  
290 y la retención de enzimas (g/d y %). Las fitasas se suplementan en todas las etapas  
291 productivas del cerdo. Algunos autores reportan variables productivas en el  
292 desempeño de los cerdos con el uso de fitasas en comparación con la dieta control.

293

294 En la etapa de destete, Zeng *et al.* (2014), reportaron en promedio un incremento  
295 en ADG de 10.76%, en ADFI de 6.89% y G: F de 3.50%, con una suplementación  
296 de fitasas de 0.5-20 g/kg. Yáñez *et al.* (2013), reportaron en promedio un  
297 incremento en ADG de 7.29%, en G: F de 7.46% y una disminución en ADFI de -  
298 1.36%, con una suplementación de fitasas de 0.1 g/kg. En la etapa de crecimiento,  
299 Zeng *et al.* (2011), reportaron en promedio un incremento en ADG de 5.88%, en  
300 ADFI de 3.65% y DDM de 0.13% con una suplementación de fitasas de 0.25-2 g/kg.  
301 En la fase de finalización, Olukosi *et al.* (2007a), reportaron en promedio un  
302 incremento en ADG del 11.95%, del ADFI del 0.86%, del G: F del 7.69% y una  
303 disminución de la DDM del 0.95%, con una suplementación de fitasas de 0.5-1 g/kg.

304

### 305 **2.7.2. Carbohidrasas**

306

307 Las carbohidrasas hidrolizan porciones específicas de fibra y almidón en los  
308 alimentos vegetales, mejorando así la disponibilidad de energía y nutrientes para  
309 los cerdos (Woyengo *et al.*, 2016). Las carbohidrasas más comunes en las dietas

310 para cerdos son las  $\beta$ -glucanasas, las xilanasas, las  $\alpha$ -galactosidasas, las  
311 amilasas, las mananasas, las celulasas, las hemicelulasas y las pectinasas (Tabla  
312 1) (Emiola *et al.*, 2009; Zijlstra *et al.*, 2010; Ravindran, 2013; Masey O'Neill *et al.*,  
313 2014). Las carbohidrasas son enzimas que catalizan la descomposición de  
314 carbohidratos complejos en oligosacáridos, disacáridos y monosacáridos, y se  
315 utilizan como método para ayudar a superar las limitaciones de los cerdos para  
316 utilizar eficazmente los polisacáridos sin almidón (NSP), como los arabinoxilanos y  
317 los  $\beta$ -glucanos (Campbell y Bedford, 1992).

318

319 Las carbohidrasas se clasifican en enzimas degradables de almidón y enzimas  
320 degradables de NSP (Adeola y Bedford, 2004). Estas enzimas hidrolizan los  
321 componentes de las paredes celulares de las plantas, como el xilano, el manano y  
322 el  $\beta$ -glucano, y contribuyen a la liberación de componentes nutricionales como las  
323 proteínas, el almidón, los lípidos y otros minerales que quedan atrapados en la  
324 matriz de la pared celular (Li *et al.*, 1996; Meng y Slominski, 2005; Nortey *et al.*,  
325 2007). Tras la hidrólisis de los NSP y la digestibilidad de los nutrientes atrapados,  
326 los productos resultantes son fácilmente accesibles para la microflora intestinal, lo  
327 que puede tener múltiples efectos beneficiosos en la funcionalidad gastrointestinal  
328 de los animales (Yin *et al.*, 2010).

329

330 Las enzimas que degradan la fibra deberían aplicarse a las dietas fibrosas para  
331 mejorar la eficiencia de la producción porcina, especialmente si se tiene en cuenta  
332 la baja digestibilidad de los ingredientes ricos en fibra (Zhao *et al.*, 2020). Las  
333 enzimas que degradan el almidón no suelen utilizarse en la alimentación animal,  
334 excepto en la alimentación por arrastre, porque los animales pueden sintetizarlas  
335 de forma endógena. Pero si el objetivo es un uso eficiente de los nutrientes en la  
336 dieta, se pueden complementar ciertas enzimas de forma exógena como aditivos  
337 para lograr la hidrólisis de los NSP (Recharla *et al.*, 2019).

338

339 Alrededor del 80% del mercado mundial de carbohidrasas para la alimentación  
340 monogástrica está representado por la xilanasas y la glucanasas, las mejoras en el

341 rendimiento del crecimiento y la utilización de los nutrientes después de la  
342 suplementación con carbohidrasas no siempre son positivas (Adeola y Cowieson,  
343 2011). Las carbohidrasas funcionan mejor en cerdos jóvenes, debido a su  
344 incapacidad intestinal (Patience y DeRouchey, 2010), y a los efectos negativos  
345 causados por los altos niveles de fibra, mejorando así el rendimiento del  
346 crecimiento (Tsai *et al.*, 2017). Esta suplementación favorece la digestión de los  
347 nutrientes en la porción más proximal del tracto digestivo (Mathlouthi *et al.*, 2002).  
348 Las limitaciones impuestas por la incapacidad intestinal hacen que la  
349 suplementación con carbohidrasas sea una intervención dietética esencial en  
350 cerdos jóvenes, el uso en cerdas aún carece de información (Adeola y Cowieson,  
351 2011).

352

### 353 **2.7.3. Mananasas**

354

355 Su uso se debe a que el tracto digestivo de los cerdos carece de las enzimas que  
356 se dirigen a los enlaces  $\beta$ -1,4-manosil y  $\alpha$ -1,6-galactosil, por lo que la utilización de  
357 nutrientes y el rendimiento del crecimiento son limitados y la suplementación con  
358  $\beta$ -mananasas o complejo enzimáticos con  $\beta$ -mananasas tienen el potencial de  
359 mejorarlos, además de eliminar el efecto negativo del manano (Veum y Odle, 2001;  
360 Pettey *et al.*, 2002; Ao *et al.*, 2011; Jo *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2016).  
361 Las endo-1,4- $\beta$  mananasas son producidas por la cepa *Bacillus lentus* (ATCC  
362 55045). La actividad se expresa en unidades internacionales (UI) de mananasas,  
363 donde 1 UI es la cantidad de enzima que libera 0.72 microgramos de azúcares  
364 reductores (expresados como equivalentes de manosa) por minuto de un sustrato  
365 que contiene manano (goma de garrofín) a pH 7.5 y 40°C. El aditivo está destinado  
366 a ser comercializado como un preparado enzimático líquido con una actividad  
367 endo-1,4- $\beta$  mananasa de al menos  $7.2 \times 10^8$  U/L (EURL, 2012).

368

369 La inclusión de mananasas a la dieta ha sido utilizada en cualquier etapa  
370 productiva, el rendimiento productivo en la dieta de destete, crecimiento y  
371 finalización ha sido superior a la dieta control cuando esta se suplementa. Algunos  
372 autores reportan variables productivas en el desempeño de los cerdos con el uso

373 de mananasas en comparación con la dieta control, en la etapa de crecimiento, Lv  
374 *et al.* (2013), reportaron en promedio un incremento en ADG de 16.96%, en G: F  
375 de 22.19%, en DDM de 2.78% y una disminución en ADFI de -4.98%, con una  
376 suplementación de mananasas de 0.2-0.6 g/kg. Kim *et al.* (2017), reportaron en  
377 promedio un incremento en ADG de 7.16%, en ADFI de 2.61% y en DDM de 2.33%,  
378 con una suplementación de mananasas de 0.4-1.6 g/kg. En la etapa de finalización,  
379 Yoon *et al.* (2010), reportaron en promedio un incremento en ADG de 2.96%, en G:  
380 F de 6.46%, en DDM de 0.99% y una disminución en ADFI de -3.16%, con una  
381 suplementación de mananasas de 0.2-0-6 g/kg.

382

#### 383 **2.7.4. Xilanasas**

384

385 Las xilanasas son otras de las carbohidrasas más utilizadas en las dietas de los  
386 cerdos y se encuentra dentro del 80% de las carbohidrasas más vendidas a nivel  
387 mundial para su uso en animales monogástricos (Adeola y Cowieson, 2011). La  
388 endo-1,4- $\beta$ -xilanasas es producida por una cepa modificada genéticamente de  
389 *Bacillus subtilis* TD160 (229) con una actividad expresada en unidades  
390 internacionales (UI) que se define como la cantidad de enzima que libera un  
391 micromol de azúcares reductores (equivalentes de xilosa) a partir del xilano de la  
392 madera de haya por minuto a pH 4.5 y 30°C (European Union Reference Laboratory  
393 for Feed Additives, 2014).

394

395 Las xilanasas tienen la capacidad de hidrolizar el contenido de xilano de los enlaces  
396 1,4- $\beta$ -D-xilósidos (International Union of Biochemistry and Molecular Biology,  
397 1992), así como los granos secos de destilería con solubles (DDGS) de trigo y  
398 harina de colza para mejorar el uso de energía por parte del cerdo (Nortey *et al.*,  
399 2007). La magnitud del efecto de las xilanasas exógenas depende del valor  
400 nutricional de la dieta a la que se añaden (Cowieson y Bedford, 2009). El uso de  
401 xilanasas es utilizado en todas las etapas productivas, sin embargo, algunos  
402 autores han reportado incrementos en las variables productivas en comparación  
403 con la dieta control, así como Lan *et al.* (2017) en la etapa de destete, donde  
404 reportaron en promedio un incremento en ADG de 3.88%, en ADFI de 0.34%, en

405 G: F de 3.50% y en DDM de 2.25%, con una suplementación de xilanasas de 0.05-  
406 0.1 g/kg. En la etapa de finalización, Cho *et al.* (2017), reportaron en promedio un  
407 incremento en ADG de 1.81%, en ADFI de 0.18%, en G: F de 1.58% y una  
408 disminución en DDM de -0.62%, con una suplementación de xilanasas de 0.1 g/kg.

409

#### 410 **2.7.5. Proteasas**

411

412 Las proteasas hidrolizan y solubilizan las proteínas de la dieta (Fru-Nji *et al.*, 2011;  
413 Glitsø *et al.*, 2012). El modo de acción de las proteasas en sus etapas productivas  
414 del cerdo mejorará la digestibilidad de los nutrientes, así como la capacidad de  
415 fermentación intestinal y el mayor tiempo de tránsito (Zuo *et al.*, 2015; Tactacan *et*  
416 *al.*, 2016; Choe *et al.*, 2017; Lei *et al.*, 2017; Nguyen *et al.*, 2019). La mayoría de  
417 los estudios sobre la suplementación de proteasas en la dieta se han realizado con  
418 combinación de enzimas, no hay datos suficientes sobre la suplementación con  
419 proteasas derivadas de *Bacillus licheniformis* en cerdos post-destete y en  
420 crecimiento (Zuo *et al.*, 2015; Cheng y Kim, 2019).

421

422 Los cerdos tienen la capacidad de producir proteasas digestivas como pepsina,  
423 tripsina, quimotripsina y carboxipeptidasas que digieren las proteínas incluidas en  
424 la dieta. Una fracción de estas proteínas incluidas en el alimento que se ingiere, se  
425 excreta en las heces, lo que significa que una proteasa exógena puede mejorar el  
426 aprovechamiento de las proteínas (Parsons *et al.*, 1997; Lemme *et al.*, 2004). La  
427 proteasa se define como la cantidad de enzima que libera 1  $\mu\text{mol}$  de p-nitroanilina  
428 a partir de 1  $\mu\text{M}$  de sustrato (N-succinil-Ala-Pro-Phe p-nitroanilida) por minuto a pH  
429 9.0 y 37°C. La proteasa utilizada en la alimentación animal es producida por una  
430 cepa genéticamente modificada de *Bacillus licheniformis* que expresa  
431 específicamente la serina proteasa de *Nocardiaopsis prasina* en forma concentrada  
432 con mínimas actividades secundarias (Fru-Nji *et al.*, 2011; Glitsø *et al.*, 2012).

433

434 Algunos autores reportan variables productivas en el desempeño de los cerdos con  
435 el uso de proteasas en comparación con la dieta control. En la etapa de destete,  
436 Zuo *et al.* (2015), reportaron en promedio un incremento en ADG de 6.31%, en

437 ADFI de 5.62% y una disminución en DDM de -0,26%, con una suplementación de  
438 proteasa de 0,1-0,3 g/kg. En la etapa de finalización, Lei et al. (2017), reportaron  
439 en promedio una disminución en el ADG de -0.11%, en el ADFI de -1.90%, en DDM  
440 de -0.47 y un aumento en G: F de 1.79%, con una suplementación de proteasa de  
441 0.5 g/kg.

442

#### 443 **2.7.6. Multi-enzimas**

444

445 Las multi-enzimas, son un grupo de varias enzimas que se complementan en la  
446 dieta, para combinar diferentes modos de acción en busca de mejorar el  
447 rendimiento del cerdo. Las multi-enzimas sirven para combinar múltiples  
448 actividades enzimáticas, que se dirigen a diferentes compuestos antinutricionales  
449 de los alimentos para obtener el máximo beneficio de la enzima (Adeola y  
450 Cowieson, 2011). El complejo de carbohidrasas puede producir un mayor beneficio  
451 que cada una de las enzimas que actúan individualmente (Juanpere *et al.*, 2005;  
452 Meng *et al.*, 2005; Olukosi *et al.*, 2007b). Entender cómo las enzimas trabajan  
453 juntas para hidrolizar sus respectivos sustratos y conocer el modo de acción de la  
454 combinación utilizada en las dietas animales, maximiza la eficiencia productiva  
455 (Adeola y Cowieson, 2011), aunque los beneficios de la combinación de enzimas  
456 también dependen de la composición de la dieta (Meng y Slominski, 2005).

457

458 Algunos autores reportan variables productivas en el desempeño de los cerdos con  
459 el uso de multi-enzimas en comparación con la dieta control. En la etapa de destete,  
460 Yi *et al.* (2013), reportaron un incremento promedio en ADG de 13.50%, en ADFI  
461 de 2.49%, en G: F de 10% y en DDM de 1.36%, con una suplementación de amilasa  
462 + proteasa + xilanasas de 0.1-0.15 g/kg. Kim *et al.* (2004), reportaron en promedio  
463 una disminución en ADG de -5.25% y en ADFI de -2.44%, con una suplementación  
464 de glucanasa + xilanasas + amilasa + pectinasa + proteasa de 0.5-1.5 g/kg. En la  
465 etapa de crecimiento, Owusu-Asiedu *et al.* (2012), reportaron en promedio un  
466 incremento en el ADG de 2%, una disminución en el ADFI de -12.04% y un  
467 incremento en G: F de 16.66% y DDM de 1.8%, con una suplementación de  
468 xilanasas + glucanasa de 0.05-0.1 g/kg. Ao *et al.* (2010), reportaron en promedio un

469 incremento en ADG de 2.71%, en G: F de 4.23%, en DDM de 1.46% y una  
470 disminución en ADFI de -1.35%, con una suplementación de galactosidasa +  
471 mananasa de 1-2 g/kg.

472

473 En la etapa de finalización, Olukosi *et al.* (2007a), informaron una disminución del  
474 ADG del -34%, del ADFI del -21.05%, del G: F del -13.63% y de un aumento del  
475 DDM del 1.15%, con una suplementación de xilanas + amilasa + proteasa de 0.5  
476 g/kg. O'Shea *et al.* (2014), reportaron en promedio una disminución del ADG de -  
477 14.15% y del ADFI de -10.61%, con una suplementación de proteasa + xilanas de  
478 0.4 g/kg.

479

480

481

482

483

484

485

486

487

488

489

490

491

492

493

494

495

496

497

498

499

### 500 **3. JUSTIFICACIÓN**

501

502 Debido a que el cerdo es un monogástrico que no produce enzimas endógenas  
503 capaces de digerir el NSP presente en la dieta, aumenta la viscosidad de la digesta,  
504 se altera la morfología epitelial del intestino y se reduce la digestibilidad de los  
505 nutrientes, por lo tanto, el propósito de las enzimas exógenas es obtener un mejor  
506 rendimiento productivo del cerdo a través de la dieta. Aunque el propósito de la  
507 suplementación con enzimas exógenas es obtener un mejor rendimiento de  
508 crecimiento y digestibilidad de nutrientes, los cerdos que reciben enzimas exógenas  
509 no siempre muestran una mejora constante. De esta forma es importante evaluar  
510 que enzimas exógenas funcionan mejor en todas las etapas productivas del cerdo  
511 para seguir suplementándolas, reducir costos de producción y remplazar el uso de  
512 antibióticos, ya que el uso indiscriminado de estos afecta al medio ambiente a través  
513 de sus excreciones en heces y orina lo que contaminación el suelo y el agua.

514

515 Existen enzimas exógenas en la alimentación de cerdos que han sido estudiadas  
516 para su inclusión en la dieta en diferentes etapas productivas (destete, crecimiento  
517 y finalización) remplazando el uso de antibióticos en términos del mejoramiento  
518 productivo (aumento de ADG, ADFI, G: F y DDM), promotores del crecimiento y  
519 que recientemente han progresado e impactado en la última década debido a que  
520 su desarrollo indica que cuando se utilizan en los alimentos se produce un ahorro  
521 en la compra de los mismos.

522

523 Por lo cual es de suma importancia evaluar el papel que cumple la inclusión de  
524 enzimas exógenas en la alimentación porcina en cada una de sus etapas  
525 productivas y comparar cuales de estas enzimas mejora más el rendimiento  
526 productivo.

527

528

529

530

531 **4. OBJETIVOS**

532

533 **4.1. General**

534

535 Resumir el conocimiento actual sobre el uso de enzimas exógenas en cerdos, para  
536 mejorar el rendimiento productivo en las etapas de destete, crecimiento y  
537 finalización con respecto a su modo de acción y efectos.

538

539 **4.2. Específicos**

540

541 Conocer las enzimas exógenas más eficientes en el rendimiento productivo del  
542 cerdo, y encontrar las enzimas exógenas que más se suplementan en las etapas  
543 productivas (destete, crecimiento y finalización).

544

545 Evaluar las variables productivas que se mejoran con la suplementación de las  
546 principales enzimas exógenas en cada etapa de producción.

547

548

549

550

551

552

553

554

555

556

557

558

559

560

561

562

563 **5. MATERIAL Y MÉTODO**

564

565 **Material para consulta**

566

567 La búsqueda de información se centró en los estudios que informan del uso de  
568 enzimas exógenas en las dietas para cerdos. Las publicaciones se obtuvieron de  
569 bases de datos como WorldWideScience, ScienceDirect, Scopus, Springer Link,  
570 Wiley Online Library, Dialnet, SciELO, ScienceResearch, PubMed, Redalyc,  
571 Google Academic y ERIC. La obtención de información para encontrar  
572 publicaciones relevantes se basó en una cadena de temas específicos, como las  
573 diversas enzimas exógenas utilizadas en los cerdos.

574

575 La cadena de búsqueda con el tema concreto se apoyó en operadores booleanos  
576 ("and", "or"), que sirvieron para especificar la información requerida. Todos los  
577 términos de búsqueda dentro de una cadena se comprobaron con un "título,  
578 resumen y palabra clave". Las palabras clave utilizadas fueron: cerdos, enzimas  
579 exógenas, modo de acción, efectos, rendimiento productivo, tratamiento (control vs  
580 enzima o multi-enzimas), etapa productiva del cerdo (destete, crecimiento y  
581 finalización), dosis de enzima en la dieta (g/kg), ganancia diaria promedio de peso  
582 (ADG kg/día), relación ganancia: alimento (G: F kg/kg), ingesta diaria promedio de  
583 alimento (ADFI, kg/día) y digestibilidad de la materia seca (DDM %).

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593 **6. LÍMITE DE ESPACIO**

594

595 El trabajo se realizó en el departamento de nutrición animal de la Facultad de  
596 Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de  
597 México, ubicada en El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, C. P  
598 50295. Sus coordenadas son; Longitud (dec): -99.69037600, Latitud (dec):  
599 19.40830200. La localidad se encuentra a una altura de 2632 metros sobre el nivel  
600 del mar, su clima es templado subhúmedo con temperatura media anual de 13.7°C,  
601 la precipitación media anual varia de 1,000 a 1,200 mm; las heladas son de 80 a  
602 140 días en la época fría (INAFED-SEGOB, 2010).

603

604

605

606

607

608

609

610

611

612

613

614

615

616

617

618

619

620

621 **7. LÍMITE DE TIEMPO**

622

623 **Cronograma de actividades**

<b>Actividades a realizar</b>	<b>Junio 2021</b>	<b>Julio 2021</b>	<b>Agosto 2021</b>
Identificación y manejo de las bases de datos para la identificación de literatura primaria.	X		
Compilación de información de carácter científico.	X		
Clasificación de la información.	X		
Análisis de información.	X		
Redacción de tesina.		X	
Registro de protocolo en el departamento de titulación FMVZ.			X

624

625

626

627

628

629

630

631

632

## 633 **8. RESULTADOS**

634

### 635 **8.1. Carbohidrasas no comúnmente utilizadas o suplementadas en** 636 **combinación**

637

#### 638 **8.1.1. $\beta$ -glucanasas**

639

640 Las  $\beta$ -glucanasas son enzimas que tienen como finalidad incrementar la  
641 digestibilidad de algunos polímeros que son parte de la estructura de los  
642 ingredientes de los alimentos, tal es el caso de los  $\beta$ -glucanos que se encuentran  
643 en la pared celular de los vegetales. Las  $\beta$ -glucanasas son enzimas específicas  
644 que hidrolizan el  $\beta$ -glucano rompiendo las cadenas poliméricas en trozos más  
645 pequeños y reduciendo la viscosidad intestinal, por lo que mejoran el valor nutritivo  
646 de los granos ricos en NSP. Generalmente esta enzima es utilizada en asociación  
647 con otras carbohidrasas con la finalidad de incrementar la eficacia en la  
648 alimentación animal, su uso por sí sola carece de reportes en estudios con cerdos  
649 (Dehghani *et al.*, 2012; Smits y Annison, 1996).

650

#### 651 **8.1.2. $\alpha$ -Galactosidasas**

652

653 Las  $\alpha$ -Galactosidasas ( $\alpha$ -Gal, E.C.3.2.1.22) están generalmente implicadas en la  
654 utilización metabólica de una variedad de oligosacáridos, como la rafinosa, la  
655 estaquiosa, la melibiosa y el galactomanano, desempeñando un papel fundamental  
656 y aumentando la digestibilidad de los nutrientes. La actividad de la  $\alpha$ -galactosidasa  
657 se definió como la cantidad de enzima que libera 1  $\mu$ mol de nitrofenol por minuto  
658 en condiciones de ensayo a 40°C y pH 4.8 (Brouns *et al.*, 2006).

659

#### 660 **8.1.3. Amilasas**

661

662 Las amilasas son enzimas que hidrolizan las moléculas de almidón en diversos  
663 alimentos que incluyen maltosa, dextrinas límite y polímeros progresivamente más

664 pequeños compuestos por unidades de glucosa (Windish y Mahatre, 1965). Las  
665 amilasas pueden ser divididas en dos categorías, endoamilasas y exoamilasas. Las  
666 endoamilasas catalizan la hidrólisis de forma aleatoria en el interior de la molécula  
667 de almidón produciendo oligosacáridos lineales y ramificados de varias longitudes  
668 de cadena de glucosa. Las exoamilasas actúan desde el extremo no reductor  
669 sucesivamente dando lugar a productos finales cortos de azúcar (Gupta *et al.*,  
670 2003).

671

#### 672 **8.1.4. Celulasas**

673

674 La celulasa es una clase de enzima exogena que cataliza la celulólisis, es decir, la  
675 hidrólisis de la celulosa. La celulasa es un sistema enzimático múltiple que consta  
676 de endo -1, 4 - $\beta$ -D-glucanasas y exo -1, 4 - $\beta$ - D-glucanasas junto con la celobiasa  
677 ( $\beta$ - D - glucosideglucano hidrolasa) (Sharada *et al.*, 2009). Las celulasas son  
678 enzimas inducibles sintetizadas por una gran diversidad de microorganismos,  
679 incluyendo hongos y bacterias durante su crecimiento en materiales celulósicos.  
680 Estos microorganismos pueden ser aerobios, anaerobios mesófilos o termófilos.  
681 Entre ellos, los géneros de *Clostridium*, *Cellulomonas*, *Thermomonospora*,  
682 *Trichoderma* y *Aspergillus* son los más estudiados como productores de celulasa  
683 celulasa (Sukumaran *et al.*, 2005).

684

#### 685 **8.1.5. Hemicelulasas**

686

687 Las enzimas hemicelulasas tienen como función principal la hidrólisis parcial de los  
688 materiales lignocelulósicos, el descascarado de los granos de cereales, la hidrólisis  
689 de los  $\beta$ -16 glucanos y disminución de la viscosidad intestinal para mejorar la  
690 calidad nutricional de los alimentos (Bhat, 2000).

691

692

693

694

695 **8.1.6. Pectinasas**

696

697 La pectina es un carbohidrato vegetal complejo que forma parte de pared celular  
698 de la mayoría de los granos utilizados en la dieta de cerdos. En contacto con los  
699 líquidos, la pectina tiene la capacidad de absorber agua y formar gel en contacto  
700 con el sistema digestivo, dificultando la digestión de los nutrientes. Para  
701 incrementar la digestibilidad de las pectinas se utiliza las pectinasas exógenas, que  
702 hidrolizan la pectina de los ingredientes que se encuentran en la dieta. La adición  
703 de las pectinasas en la dieta de cerdos es beneficiosa, pero generalmente tiene  
704 una acción en combinación con otras carbohidrasas como las xilanasas o  $\beta$ -  
705 glucanasas, obteniendo buenos resultados en la digestión de los nutrientes (Soria  
706 *et al.*, 2009).

707

708

709

710

711

712

713

714

715

716

717

718

719

720

721

722

723

724

725

726 **8.2. Eficiencia productiva de enzimas exógenas utilizadas en cerdos en la**  
727 **etapa de destete**

728

729 **8.2.1. Fitasas**

730

731 Mejoran la AID de DM, GE, CP, almidón, NSP, Ca, P, hexafosfato de inositol (IP6),  
732 algunos AA (leucina, lisina, fenilalanina, alanina, cisteína, isoleucina, treonina,  
733 asparagina y serina) y fitato. Mejoran la ATTD de DM, GE, CP, almidón, NSP, fitato,  
734 Ca, P, Na, K, Mg y Zn, así como en la retención de Mg y Zn. Aumentan la ADG,  
735 ADFI, G: F, resistencia ósea y concentraciones plasmáticas de fósforo. Disminuyen  
736 la excreción fecal de P, concentración de calcio en plasma, así como la actividad  
737 de fosfatasa alcalina en plasma y hueso (Omogbenigun *et al.*, 2004; Zeng *et al.*,  
738 2014; Yáñez *et al.*, 2013; Zeng *et al.*, 2011).

739

740 **8.2.2.  $\beta$ -Glucanasas**

741

742 Mejoran la viscosidad de la digesta ileal, AID de DM, GE, CP, almidón, NSP, fitato,  
743 isoleucina, valina y ácido aspártico. Mejoran la ATTD de DM, ADF, GE, CP, almidón,  
744 NSP, fitato y utilización de P. Se mejora la digestibilidad de nutrientes, modificación  
745 de comunidades microbianas en el intestino posterior y azúcares individuales  
746 (arabinosa, xilosa, manosa y glucosa). Aumentan el recuento de *Lactobacilos*,  
747 lactato, ADG, ADFI, G: F, FCR y bacterias *Treponema* y *Barnesiella* en el intestino.  
748 Disminuyen la excreción fecal de P, así como las bacterias *Prevotella*,  
749 *Butyricoccus*, *Ruminococcus* y *Succinivibrio* (Kiarie *et al.*, 2007; Omogbenigun *et*  
750 *al.*, 2004; Recharla *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2018; Owusu-Asiedu *et al.*, 2010; Zijlstra *et*  
751 *al.*, 2004).

752

753

754

755

756

757 **8.2.3. Xilanasas**

758

759 Mejoran la viscosidad ileal, estomacal, concentraciones de ácido acético, propiónico  
760 y butírico en ciego y colon. Mejoran las concentraciones de ácidos grasos volátiles,  
761 proporción de bacterias en el intestino grueso, ATTD de DM, NDF, ADF, CP, GE,  
762 almidón, NSP, fitato y utilización de P. Mejoran la AID de DM, GE, CP, almidón,  
763 NSP, fitato, isoleucina, valina y ácido aspártico, además de azúcares individuales  
764 (arabinosa, xilosa, manosa y glucosa), la digestibilidad de los nutrientes y  
765 modificación de comunidades microbianas en el intestino posterior. Aumentan la  
766 ADG, ADFI, G: F, FCR, bacterias *Treponema* y *Barnesiella* en el intestino, población  
767 de *Lactobacillus spp.* y *Bacillus spp.* en el ciego y amilasa, lipasa, lactato y proteasa  
768 en el intestino delgado. Disminuyen la excreción fecal de P, bacterias *Prevotella*,  
769 *Butyricoccus*, *Ruminococcus* y *Succinivibrio*. Disminuyen la población de *E. coli*  
770 en el colon, poblaciones de *Salmonella spp.* y *Escherichia coli spp.* en las heces,  
771 *Lactobacillus spp.* y metabolitos bacterianos en el estómago, así como las  
772 concentraciones de nitrógeno ureico en sangre y emisión fecal de NH<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S (Kiarie  
773 *et al.*, 2007; Omogbenigun *et al.*, 2004; Recharla *et al.*, 2019; Yi *et al.*, 2013; Zhang  
774 *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2018; Owusu-Asiedu *et al.*, 2010; Zijlstra *et al.*, 2004; Vahjen  
775 *et al.*, 2007; Lan *et al.*, 2017).

776

777 **8.2.4. Amilasas**

778

779 Mejoran la AID de DM, GE, CP, almidón, NSP y fitato. Mejoran la ATTD de DM,  
780 GE, CP, almidón, NSP, fitato y utilización de P. Se mejora la digestibilidad de los  
781 nutrientes, modificación de comunidades microbianas en el intestino posterior,  
782 viscosidad de la digestión estomacal, concentraciones de ácido acético, propiónico  
783 y butírico en ciego y colon, así como las concentraciones de ácidos grasos volátiles  
784 y proporción de bacterias en el intestino grueso. Aumentan la ADG, ADFI, G: F,  
785 bacterias *Treponema* y *Barnesiella* en el intestino, así como la población de  
786 *Lactobacillus spp.* y *Bacillus spp.* en el ciego. Disminuyen la excreción fecal de P,  
787 bacterias *Prevotella*, *Butyricoccus*, *Ruminococcus* y *Succinivibrio*, población de *E.*

788 *coli* en el colon, así como las poblaciones de *Salmonella spp.* y *Escherichia coli*  
789 *spp.* en las heces (Omogbenigun *et al.*, 2004; Recharla *et al.*, 2019; Yi *et al.*, 2013;  
790 Zhang *et al.*, 2014).

791

#### 792 **8.2.5. Mananasas**

793

794 Mejoran la viscosidad de la digesta ileal, aumentan la AID de DM y NSP, así como  
795 el recuento de *lactobacilos* y lactato (Kiarie *et al.*, 2007).

796

#### 797 **8.2.6. Celulasas**

798

799 Mejoran la viscosidad de la digesta ileal y la integridad de la barrera intestinal.  
800 Aumentan la ADG, AID de DM y NSP, la ATTD de ADF y el recuento de *lactobacilos*  
801 y lactato (Kiarie *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2018).

802

#### 803 **8.2.7. Pectinasas**

804

805 Mejoran la viscosidad de la digesta ileal. Aumentan la AID de DM, NSP y el  
806 recuento de *lactobacilos* y lactato (Kiarie *et al.*, 2007).

807

#### 808 **8.2.8. Proteasas**

809

810 Mejoran la AID de DM, GE, CP, almidón, NSP, fitato, isoleucina, valina y ácido  
811 aspártico, además de la ATTD de DM, GE, CP, almidón, NSP, fitato y utilización de  
812 P. Mejoran la digestibilidad de nutrientes, modificación de comunidades  
813 microbianas en el intestino posterior, viscosidad de la digestión estomacal,  
814 concentraciones de ácido acético, propiónico y butírico en ciego y colon,  
815 concentraciones de ácidos grasos volátiles, proporción de bacterias en el intestino  
816 grueso, capacidad de fermentación intestinal y mayor tiempo de tránsito. Aumentan  
817 la ADG, ADFI, G: F, bacterias *Treponema* y *Barnesiella* en el intestino, población  
818 de *Lactobacillus spp.* y *Bacillus spp.* en el ciego y amilasa, lipasa y proteasa en el

819 intestino delgado. Disminuyen la excreción fecal de P, bacterias *Prevotella*,  
820 *Butyricoccus*, *Ruminococcus* y *Succinivibrio*, población de *E. coli* en el colon,  
821 poblaciones de *Salmonella spp.* y *Escherichia coli spp.* en las heces, emisión de  
822 NH<sub>3</sub> en heces y nivel de creatinina en sangre (Omogbenigun *et al.*, 2004; Recharla  
823 *et al.*, 2019; Yi *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2014; Tactacan *et al.*, 2016; Zuo *et al.*,  
824 2015).

825

826

827

828

829

830

831

832

833

834

835

836

837

838

839

840

841

842

843

844

845

846

847

848

849 **8.3. Eficiencia productiva de enzimas exógenas utilizadas en cerdos en la**  
850 **etapa de crecimiento**

851

852 **8.3.1. Fitasas**

853

854 Mejoran la AID de DM, lisina, treonina, serina, isoleucina, asparagina, valina, ATTD  
855 de P, Ca, DM, GE, leucina, lisina, fenilalanina, alanina y cisteína. Aumentan la ADG,  
856 FCR y G: F. Disminuyen la ADFI, excreción de P fecal, concentración de calcio en  
857 plasma, así como actividad de fosfatasa alcalina en plasma y hueso (Nortey *et al.*,  
858 2007; Kim *et al.*, 2008; Zeng *et al.*, 2011; Woyengo *et al.*, 2016).

859

860 **8.3.2.  $\beta$ -Glucanasas**

861

862 Mejoran la AID de DM, AA, CP, transporte de nutrientes y digestibilidad de N.  
863 Aumentan la G: F y glucosa (Ao *et al.*, 2010; Owusu-Asiedu *et al.*, 2012; Agyekum  
864 *et al.*, 2015).

865

866 **8.3.3. Xilanasas**

867

868 Mejoran la AID de DM, AA, isoleucina, P, CP, transporte de nutrientes y  
869 digestibilidad de N. Aumentan la G: F, FCR y glucosa. Disminuyen la ADFI (Ao *et*  
870 *al.*, 2010; Nortey *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2008; Owusu-Asiedu *et al.*, 2012; Agyekum  
871 *et al.*, 2015).

872

873 **8.3.4.  $\alpha$ -Galactosidasas**

874

875 Mejoran la AID de DM, AA y la digestibilidad de N. Aumentan la ADG, BUN y  
876 glucosa (Ao *et al.*, 2010).

877

878

879

880 **8.3.5. Amilasas**

881

882 Mejoran la ATTD de la DM, GE, CP y BUN. Aumentan la ADG y G: F (Jo *et al.*,  
883 2012).

884

885 **8.3.6. Mananasas**

886

887 Mejoran la AID de AA, ATTD de DM, NDF, ADF, GE, CP, Ca, manosa, galactosa,  
888 fósforo, concentración de glucosa en sangre, BUN y digestibilidad de N. Aumentan  
889 la ADG, ADFI y G: F. Disminuyen la población de coliformes fecales y NH<sub>3</sub> (Ao *et*  
890 *al.*, 2010; Jo *et al.*, 2012; Lv *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2013; Yoon *et*  
891 *al.*, 2010; Upadhaya *et al.*, 2016).

892

893 **8.3.7. Proteasas**

894

895 Mejoran la ATTD de DM, GE, CP, BUN y la digestibilidad de los nutrientes.  
896 Aumentan la ADG, G: F y niveles de creatinina en sangre. Disminuyen la emisión  
897 de gases de amoníaco, los niveles de noradrenalina en sangre y la emisión de  
898 gases nocivos (Jo *et al.*, 2012; Nguyen *et al.*, 2019).

899

900

901

902

903

904

905

906

907

908

909

910 **8.4. Eficiencia productiva de enzimas exógenas utilizadas en cerdos en la**  
911 **etapa de finalización**

912

913 **8.4.1. Fitasas**

914

915 Mejoran la digestibilidad de P, aumentan la ADG y Ca, y disminuyen la excreción  
916 de P (Olukosi *et al.*, 2007a).

917

918 **8.4.2. Xilanasas**

919

920 Mejoran la AID de GE, ATTD de GE, N, DM y digestibilidad de P. Aumentan la ADG  
921 y GE. Disminuyen la excreción de P, emisiones de olor a estiércol y espesor gordo  
922 de la costilla número 10 (Olukosi *et al.*, 2007a; O'Shea *et al.*, 2014; Cho and Kim,  
923 2013; Cho *et al.*, 2017).

924

925 **8.4.3.  $\alpha$ -Galactosidasas**

926

927 Mejoran la ATTD de DM, N y aumentan la ADG (Kim *et al.*, 2013).

928

929 **8.4.4. Amilasas**

930

931 Mejoran la digestibilidad de P y aumentan la ADG (Olukosi *et al.*, 2007a).

932

933 **8.4.5. Mananasas**

934

935 Mejoran la ATTD de GE, N, DM y CP. Aumentan la ADG, G: F, ADFI y  
936 concentración de glucosa en sangre. Disminuyen el grosor de la costilla número 10  
937 (Cho and Kim, 2013; Kim *et al.*, 2013; Yoon *et al.*, 2010).

938

939

940

941 **8.4.6. Proteasas**

942

943 Mejoran la AID de GE y ATTD de CP. Aumentan la ADG y GE. Disminuyen la ADFI  
944 y emisión de amoníaco fecal (Olukosi *et al.*, 2007a; O'Shea *et al.*, 2014; Choe *et al.*,  
945 2017; Lei *et al.*, 2017).

946

947

948

949

950

951

952

953

954

955

956

957

958

959

960

961

962

963

964

965

966

967

968

969

970

971

972 **9. DISCUSIÓN**

973

974 Conocer la composición de la dieta, la etapa productiva, el origen de la enzima, la  
975 cantidad y el número de enzimas agregadas, conduce a un mejor rendimiento  
976 productivo del cerdo, similar al mencionado por Adeola y Cowieson, (2011), quienes  
977 concluyeron que las proteasas de diferente origen provocan diferentes respuestas  
978 en los ensayos *in vivo* en animales. Las enzimas exógenas para cerdos y aves de  
979 corral han tenido el mayor progreso e impacto en la última década. Su desarrollo se  
980 debe a estimaciones recientes que indican que cuando se usa en la alimentación  
981 hay ahorros en la compra de alimentos. Adeola y Cowieson, (2011), informaron que  
982 las enzimas más vendidas son las fitasas con 60%, las carbohidrasas con 30% y  
983 las proteasas y lipasas con 10%. La industria continuará buscando ingredientes  
984 alimentarios alternativos rentables, como los coproductos de cereales de las  
985 industrias de biocombustibles y molienda, para su uso en cerdos (Kiarie y Nyachoti,  
986 2009).

987

988

989

990

991

992

993

994

995

996

997

998

999

1000

1001

1002

1003 **10. CONCLUSIONES**

1004

1005 Aunque la mayoría de las investigaciones que usan suplementos enzimáticos en  
1006 dietas para cerdos tienen resultados positivos, no siempre muestran una mejora  
1007 constante en el rendimiento del crecimiento y la digestibilidad de nutrientes. Hoy en  
1008 día, los complejos enzimáticos utilizados en las dietas de cerdos se han informado  
1009 ampliamente, debido a su inclusión en todas las etapas productivas, en realidad su  
1010 uso se debe a las múltiples actividades enzimáticas que se pueden llevar a cabo  
1011 contra los compuestos antinutritivos en la dieta, lo que puede beneficiar al animal.  
1012 Las fitasas son las enzimas más suplementadas en todas las etapas productivas  
1013 de los cerdos, superando el uso de las mananasas y xilanasas, así como de las  
1014 proteasas, aunque estas últimas son menos frecuentemente suplementadas en las  
1015 dietas de los cerdos.

1016

1017

1018

1019

1020

1021

1022

1023

1024

1025

1026

1027

1028

1029

1030

1031

1032

1033

1034 **11. SUGERENCIAS**

1035

1036 Son necesarios más estudios sobre el uso de enzimas exógenas en cerdos para  
1037 entender la interacción entre la composición de la dieta, la etapa productiva, el  
1038 origen de la enzima, la cantidad y el número de enzimas añadidas, ya que todas  
1039 esas variables interfieren en el modo de acción y tienen efectos específicos en las  
1040 diferentes etapas productivas.

1041

1042

1043

1044

1045

1046

1047

1048

1049

1050

1051

1052

1053

1054

1055

1056

1057

1058

1059

1060

1061

1062

1063

1064

1065 **12. LITERATURA CITADA**

1066

1067 Antimicrobial resistance in the Asia Pacific region: a development agenda. Manila,  
1068 Philippines. World Health Organization Regional Office for the Western  
1069 Pacific; 2017.

1070

1071 Aarnink AJA, Verstegen MWA. (2007): Nutrition, key factor to reduce environmental  
1072 load from pig production. *Livestock Science*, 109(1-3):194-203.

1073

1074 Adeola O, Bedford MR. (2004): Exogenous dietary xylanase ameliorates viscosity-  
1075 induced anti-nutritional effects in wheat-based diets for White Pekin ducks  
1076 (*Anas platyrinchos domesticus*). *British Journal of Nutrition*, 92:87-94.

1077

1078 Adeola O, Cowieson AJ. (2011): Board-invited review: Opportunities and challenges  
1079 in using exogenous enzymes to improve on ruminant animal production.  
1080 *Journal of Animal Science*, 89(10):3189-3218.

1081

1082 AOAC. (2000): Phytase activity in feed: Colorimetric enzymatic method. In Official  
1083 Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. Assoc. Off. Anal. Chem.,  
1084 Arlington, VA.

1085

1086 Ao X, Meng QW, Yan L, Kim HJ, Hong SM, Cho JH, Kim IH. (2010): Effects of non-  
1087 starch polysaccharide-degrading enzymes on nutrient digestibility, growth  
1088 performance and blood profiles of growing pigs fed a diet based on corn and  
1089 soybean meal. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 23(12):1632-  
1090 1638.

1091

1092 Ao X, Zhou TX, Meng QW, Lee JH, Jang HD, Cho JH, Kim IH. (2011): Effects of a  
1093 carbohydrase cocktail supplementation on the growth performance, nutrient  
1094 digestibility, blood profiles and meat quality in finishing pigs fed palm kernel  
1095 meal. *Livestock Science*, 137(1-3):238-243.

- 1096 Augenstein M, Johnston L, Shurson G, Hawton D, Pettigrew J. (1997): Formulating  
1097 Farm Specific Swine Diets. University of Minnesota.  
1098
- 1099 Agyekum AK, Sands JS, Regassa A, Kiarie E, Weihrauch D, Kim WK, Nyachoti CM.  
1100 (2015): Effect of supplementing a fibrous diet with a xylanase and  $\beta$ -  
1101 glucanase blend on growth performance, intestinal glucose uptake, and  
1102 transport-associated gene expression in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 93:3483-  
1103 3493.  
1104
- 1105 Bedford MR, Cowieson AJ. (2012): Exogenous enzymes and their effects on  
1106 intestinal microbiology. *Animal Feed Science and Technology*, 173(1-2):76-  
1107 85.  
1108
- 1109 Bobadilla E, Espinoza OA, Ernesto MCF. (2010): “Dinámica de la producción  
1110 porcina en México de 1980 a 2008”, en *Rev. Mex. Pecu*, 2(3):251-268.  
1111
- 1112 Brouns SJJ, Smits N, Wu H, Snijders APL, Wrigh PCT, de Vos WM, van der Oost J.  
1113 (2006): Identification of a novel  $\alpha$ -galactosidase from the hypertgermophilic  
1114 archaeon *Sulfolobus solfataricus*. *J. Bacteriol.* 188:2392-2399.  
1115
- 1116 Bhat MK. (2000): Cellulases and related enzymes in biotechnology. *Biotechnology*  
1117 *Advances*, 18:355-383.  
1118
- 1119 Choe J, Kim KS, Kim HB, Park S, Kim J, Kim S, Kim B, Cho SH, Cho JY, Park IH,  
1120 Cho JH, Song M. (2017): Effect of protease on growth performance and  
1121 carcass characteristics of growing-finishing pigs. *South African Journal of*  
1122 *Animal Science*, 47(5):697.  
1123
- 1124 Cho JH, Kim IH. (2013): Effects of Beta Mannanase and Xylanase Supplementation  
1125 in Low Energy Density Diets on Performances, Nutrient Digestibility, Blood

- 1126 Profiles and Meat Quality in Finishing Pigs. *Asian J. Anim. Vet. Adv*, 8:622-  
1127 630.  
1128
- 1129 Cho JH, Park JH, Lee DH, Lee JM, Song TH, Kim IH. (2017): Effects of xylanase  
1130 supplementation on growth performance, digestibility, fecal gas emission, and  
1131 meat quality in growing-finishing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*,  
1132 97(1):95-100.  
1133
- 1134 Choct M. (2015): Feed non-starch polysaccharides for monogastric animals:  
1135 classification and function. *Animal Production Science*, 55(12):1360-1366.  
1136
- 1137 Cheng L, Kim IH. (2019): Effects of dietary supplementation with *Bacillus*  
1138 *licheniformis* derived-protease on growth performance, nutrient digestibility  
1139 and fecal microbial shedding in post-weaned growing pigs. *Journal of Applied*  
1140 *Animal Research*, 47(1):322-325.  
1141
- 1142 Clark M, Tilman D. (2017): Comparative analysis of environmental impacts of  
1143 agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice.  
1144 *Environmental Research Letters*, 12(6): 064016.  
1145
- 1146 Campbell GL, Bedford MR. (1992): Enzyme application for monogastric feeds: a  
1147 review. *Canadian Journal of Animal Science*, 72:449-466.  
1148
- 1149 Cowieson AJ, Bedford MR. (2009): The effect of phytase and carbohydrase on ileal  
1150 amino acid digestibility in monogastric diets: Complementary mode of action?  
1151 *World's Poultry Science Journal*, 65(4):609-624.  
1152
- 1153 Campabadal C. (2009): Guía técnica para alimentación de cerdos.  
1154
- 1155 Castro, M. (2005): Uso de aditivos en la alimentación de animales monogástricos.  
1156 *Rev. Cubana Cienc. Agríc.*

- 1157 Dersjant-Li Y, Awati A, Schulze H, Partridge G. (2014): Phytase in non-ruminant  
1158 animal nutrition: a critical review on phytase activities in the gastrointestinal  
1159 tract and influencing factors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*,  
1160 95(5):878-896.  
1161
- 1162 Dersjant-Li Y, Schuh K, Weallean AL, Awati A, Dusel G. (2017): Effect of a  
1163 Buttiauxella phytase on production performance in growing/finishing pigs fed  
1164 a European-type diet without inclusion of inorganic phosphorus. *Journal of*  
1165 *Applied Animal Nutrition*, 5(4):1-7.  
1166
- 1167 De Faria HG, Thomaz MC, Ruiz UDS, Robles-Huaynate RA, Watanabe PH, De Melo  
1168 GMP, Silva SZ. (2015): Effects of phytase on pig diets digestibilities, bone  
1169 mineral deposition, performance and manure production. *Semina: Ciências*  
1170 *Agrárias Londrina*, 36(6):4519-4530.  
1171
- 1172 Da Silva CA, Callegari MA, Dias CP, Bridi AM, Pierozan CR, Foppa L, Da Silva  
1173 Martins CC, Falleiros DFT, Passos A, Hermes R. (2019): Increasing doses  
1174 of phytase from *Citrobacter braakii* in diets with reduced inorganic phosphorus  
1175 and calcium improve growth performance and lean meat of growing and  
1176 finishing pigs. *Plos one*, 14(5):e0217490.  
1177
- 1178 Dehghani MR, Weisbjerg MR, velplund TH, Kristensen NB. (2012): Effect of enzyme  
1179 addition to forage at ensiling on silage chemical composition and NDF  
1180 degradation characteristics. *Livestock Science*, 50:51-58.  
1181
- 1182 EURL. (2012): Evaluation Report on the Analytical Methods submitted in connection  
1183 with the Application for the Authorisation of Feed Additives according to  
1184 Regulation (EC) N° 1831/2003. Endo-1,4-β mannanase (E.C. 3.2.1.78).  
1185 <https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/FinRep-FAD-2011-0049.pdf>.  
1186

- 1187 EFSA. (2012): Scientific opinion on the safety and efficacy of Ronozyme ®HiPhos  
1188 M/L (6-phytase) as a feed additive for poultry and pigs. EFSA panel on  
1189 genetically modified organisms (GMO). *EFSA Journal*, 10(1):2527.  
1190
- 1191 European Union Reference Laboratory for Feed Additives (EURL-FA). (2014). Geel,  
1192 Belgium. [https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/oc\\_eurl\\_wp\\_2\\_015\\_feed\\_additives\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/oc_eurl_wp_2_015_feed_additives_en.pdf)  
1193  
1194
- 1195 Emiola IA, Opapeju FO, Slominski BA, Nyachoti C. M. (2009): Growth performance  
1196 and nutrient digestibility in pigs fed wheat distillers dried grains with solubles-  
1197 based diets supplemented with a multicarbohydase enzyme. *Journal of*  
1198 *Animal Science*, 87(7):2315-2322.  
1199
- 1200 Fru-Nji F, Klunter AM, Fischer M, Pontoppidan K. (2011): A feed serine protease  
1201 improves broiler performance and increases protein and energy digestibility.  
1202 *Journal of Poultry Science*, 48(4):239-246.  
1203
- 1204 FAO. (2010): Manejo Sanitario Eficiente de los Cerdos. Cartilla básica No.2,  
1205 Programa Especial para Seguridad Alimentaria (PESA), Nicaragua: 1-40.  
1206
- 1207 FIRA. (2016): “Panorama Agroalimentario”, en [https://www.gob.mx/cms/](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200634/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_Cerdo_2016.pdf)  
1208 [uploads/attachment/file/200634/Panorama\\_Agroalimentario\\_](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200634/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_Cerdo_2016.pdf)  
1209 [Carne\\_de\\_Cerdo\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200634/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_Cerdo_2016.pdf), consultado 14/06/2017.  
1210
- 1211 FIRA. (2017): “Panorama Agroalimentario”, en [http://www.ugrpg.org.](http://www.ugrpg.org.mx/pdfs/Panorama%20Agroalimentario%20Carne%20de%20cerdo%202017.pdf)  
1212 [mx/pdfs/Panorama%20Agroalimentario%20Carne%20de%20](http://www.ugrpg.org.mx/pdfs/Panorama%20Agroalimentario%20Carne%20de%20cerdo%202017.pdf)  
1213 [cerdo%202017.pdf](http://www.ugrpg.org.mx/pdfs/Panorama%20Agroalimentario%20Carne%20de%20cerdo%202017.pdf), consultado 13/12/2017.  
1214
- 1215 Glitsø V, Pontoppidan K, Knap I, Ward N. (2012): Development of a feed protease.  
1216 *Industrial Biotechnology*, 8(4):172-175.  
1217

- 1218 Gupta R, Gigras P, Mohapatra H, Goswami VK, Chauhan B (2003): Microbial  $\alpha$ -  
1219 amylases: a biotechnological perspective. *Process Biochem*, 38:1599-1616.  
1220
- 1221 International Union of Biochemistry and Molecular Biology. (1992): Enzyme  
1222 Nomenclature: recommendations of the nomenclature committee of  
1223 international union of biochemistry and molecular biology on the  
1224 nomenclature and classification of enzymes. New York: Academic Press.  
1225 **ISBN:** 9781483298689.  
1226
- 1227 INAFED-SEGOB. (2010): Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México.  
1228
- 1229 Iglesias RAE, Ortiz MAR, Juárez MML, Guevara GJA, Córdova IA. (2018):  
1230 Comportamiento de la porcicultura mexicana de los años 1970 a 2017. Una  
1231 revisión documental sobre su desempeño.  
1232
- 1233 Jha R, Berrocoso JD. (2015): Review: Dietary fiber utilization and its effects on  
1234 physiological functions and gut health of swine. *Animal*, 9(9):1441-1452.  
1235
- 1236 Juanpere J, Perez-Vendrell AM, Angulo E, Brufau J. (2005): Assessment of potential  
1237 interactions between phytase and glycosidase enzyme supplementation on  
1238 nutrient digestibility in broilers. *Poultry Science*, 84(4):571-580.  
1239
- 1240 Jongbloed AW, Van Diepen JThM, Kemme PA, Broz J. (2004): Efficacy of microbial  
1241 phytase on mineral digestibility in diets for gestating and lactating sows.  
1242 *Livestock Production Science*, 91(1-2):143-155.  
1243
- 1244 Jo JK, Ingale SL, Kim JS, Kim YW, Kim KH, Lohakare JD, Lee JH, Chae BJ. (2012):  
1245 Effects of exogenous enzyme supplementation to corn- and soybean meal-  
1246 based or complex diets on growth performance, nutrient digestibility, and  
1247 blood metabolites in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 90(9):3041-  
1248 3048.

- 1249 Kim BG, Tian JZ, Lim JS, Kil DY, Jeon HY, Chung YK, Kim YY. (2004): Influences  
1250 of enzyme complex supplementation on growth, ileal and apparent fecal  
1251 digestibility and morphology of small intestine in pigs. *Asian-Australasian*  
1252 *Journal of Animal Sciences*, 17(12): 1729-1735.  
1253
- 1254 Kim JC, Sands JS, Mullan BP, Pluske JR. (2008): Performance and total-tract  
1255 digestibility responses to exogenous xylanase and phytase in diets for  
1256 growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 142(1-2):163-172.  
1257
- 1258 Kim JS, Ingale SL, Lee SH, Kim KH, Kim JS, Lee JH, Chae BJ. (2013): Effects of  
1259 energy levels of diet and  $\beta$ -mannanase supplementation on growth  
1260 performance, apparent total tract digestibility and blood metabolites in  
1261 growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 186(1-2):64-70.  
1262
- 1263 Kim JS, Ingale SL, Hosseindoust AR, Lee SH, Lee JH, Chae BJ. (2016): Effects of  
1264 mannan level and  $\beta$ -mannanase supplementation on growth performance,  
1265 apparent total tract digestibility and blood metabolites of growing pigs. *Animal*,  
1266 11(2):202-208.  
1267
- 1268 Kiarie E, Nyachoti CM, Slominski BA, Blank G. (2007): Growth performance,  
1269 gastrointestinal microbial activity, and nutrient digestibility in early-weaned  
1270 pigs fed diets containing flaxseed and carbohydrase enzyme<sup>1, 2</sup>. *Journal of*  
1271 *Animal Science*. 85:2982-2993.  
1272
- 1273 Kiarie E, Nyachoti CM. (2009): Alternative feed ingredients in swine diets. In  
1274 Proceedings of the 32nd Saskatchewan Pork Industry Symposium,  
1275 Saskatoon: Saskatchewan Pork Development Board. 29-38.  
1276
- 1277 Lei XG, Weaver JD, Mullaney E, Ullah AH, Azain MJ. (2012): Phytase, a new life for  
1278 an "old" enzyme. *Annual Review of Animal Biosciences*, 1:283-309.  
1279

- 1280 Lei XJ, Cheong JY, Park JH, Kim IH. (2017): Supplementation of protease, alone  
1281 and in combination with fructooligosaccharide to low protein diet for finishing  
1282 pigs. *Animal Science Journal*, 88(12):1987-1993.  
1283
- 1284 Lima MR, Da Silva JHV, Araujo JA, Lima CB, Oliveira ERA. (2007): Enzimas  
1285 exógenas na alimentação de aves. *Acta Veterinaria Brasilica*, 1(4):99-110.  
1286
- 1287 Li S, Sauer WC, Huang SX, Gabert VM. (1996): Effect of  $\beta$ -glucanase  
1288 supplementation to hullless barley- or wheat-soybean meal diets on the  
1289 digestibilities of energy, protein,  $\beta$ -glucans, and amino acids in young pigs.  
1290 *Journal of Animal Science*, 74(7):1649-1656.  
1291
- 1292 Li Q, Gabler NK, Loving CL, Gould SA, Patience JF. (2018): A dietary carbohydrase  
1293 blend improved intestinal barrier function and growth rate in weaned pigs fed  
1294 higher fiber diets. *Journal of Animal Science*.  
1295
- 1296 Lv JN, Chen YQ, Guo XJ, Piao XS, Cao YH, Dong B. (2013): Effects of  
1297 supplementation of  $\beta$ -mannanase in corn-soybean meal diets on performance  
1298 and nutrient digestibility in growing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal  
1299 Sciences*, 26(4):579-587.  
1300
- 1301 Lemme A, Ravindran V, Bryden WL. (2004): Ileal digestibility of amino acids in feed  
1302 ingredients for broilers. *World's Poultry Science Journal*, 60(4):423-437.  
1303
- 1304 Lan R, Li T, Kim I. (2017): Effects of xylanase supplementation on growth  
1305 performance, nutrient digestibility, blood parameters, fecal microbiota, fecal  
1306 score and fecal noxious gas emission of weaning pigs fed corn-soybean  
1307 meal-based diet. *Animal Science Journal*, 88(9):1398-1405.  
1308
- 1309 Masey O'Neill HV, Smith JA, Bedford MR. (2014): Multicarbohydrase enzymes for  
1310 non-ruminants. *Asian-Australasian Journal Animal Sciences*, 27(2):290-301.

- 1311 Meng X, Slominski BA. (2005): Nutritive values of corn, soybean meal, canola meal,  
1312 and peas for broiler chickens as affected by a multicarbohydrase preparation  
1313 of cell wall degrading enzymes. *Poultry Science*, 84(8):1242-1251.  
1314
- 1315 Meng X, Slominski BA, Nyachoti CM, Campbell LD, Guenter W. (2005): Degradation  
1316 of cell wall polysaccharides by combinations of carbohydrase enzymes and  
1317 their effect on nutrient utilization and broiler chicken performance. *Poultry  
1318 Science*, 84(1):37-47.  
1319
- 1320 Mathlouthi N, Lalles JP, Lepercq P, Juste C, Larbier M. (2002): Xylanase and beta-  
1321 glucanase supplementation improve conjugated bile acid fraction in intestinal  
1322 contents and increase villus size of small intestine wall in broiler chickens fed  
1323 a ryebased diet. *Journal of Animal Science*, 80(11):2773-2779.  
1324
- 1325 Nguyen DH, Park JW, Kim IH. (2017): Effect of crumbled diet on growth  
1326 performance, market day age and meat quality of growing-finishing pigs.  
1327 *Journal of Applied Animal Research*, 45(1):396-399.  
1328
- 1329 Nguyen DH, Upadhaya SD, Lei XJ, Yin J, Kim IH. (2019): Influence of dietary  
1330 protease supplementation to corn-soybean meal based high and low energy  
1331 diets on growth performance, nutrient digestibility, blood profiles, and gas  
1332 emission in growing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 99(3):482-  
1333 488.  
1334
- 1335 Nortey TN, Patience JF, Simmins PH, Trottier NL, Zijlstra RT. (2007): Effects of  
1336 individual or combined xylanase and phytase supplementation on energy,  
1337 amino acid, and phosphorus digestibility and growth performance of grower  
1338 swine fed wheat-based diets containing wheat millrun. *Journal of Animal  
1339 Science*, 85(6):1432-1443.  
1340

- 1341 Olukosi OA, Sands JS, Adeola O. (2007a): Supplementation of carbohydrases or  
1342 phytase individually or in combination to diets for weanling and growing-  
1343 finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 85(7):1702-1711.  
1344
- 1345 Olukosi OA, Cowieson AJ, Adeola O. (2007b): Age-related influence of a cocktail of  
1346 xylanase, amylase, and protease or phytase individually or in combination in  
1347 broilers. *Poultry Science*, 86(1):77-86.  
1348
- 1349 Omogbenigun FO, Nyachoti CM, Slominski BA. (2004): Dietary supplementation  
1350 with multienzyme preparations improves nutrient utilization and growth  
1351 performance in weaned pigs. *Journal of Animal Science*, 82:1053-1061.  
1352
- 1353 Owusu-Asiedu A, Simmins PH, Brufau J, Lizardo R, Péron A. (2010): Effect of  
1354 xylanase and  $\beta$ -glucanase on growth performance and nutrient digestibility in  
1355 piglets fed wheat-barley-based diets. *Livestock Science*. 134:76-78.  
1356
- 1357 Owusu-Asiedu A, Kiarie E, Péron A, Woyengo TA, Simmins PH, Nyachoti CM.  
1358 (2012): Growth performance and nutrient digestibilities in nursery pigs  
1359 receiving varying doses of xylanase and  $\beta$ -glucanase blend in pelleted wheat-  
1360 and barley-based diets. *Journal of Animal Science*, 4:92-94.  
1361
- 1362 O'Shea CJ, Mc Alpine PO, Solan P, Curran T, Varley PF, Walsh AM, Doherty JVO.  
1363 (2014): The effect of protease and xylanase enzymes on growth performance,  
1364 nutrient digestibility, and manure odour in grower-finisher pigs. *Animal Feed  
1365 Science and Technology*, 189:88-97.  
1366
- 1367 Organisation for Economic Co-Operation and Development. (2003): Agriculture  
1368 Trade and the Environment : The Pig Sector.  
1369
- 1370 OECD-FAO. (2019-2028): Agricultural Outlook.  
1371

- 1372 Patience JF, DeRouchey JM. (2010): Feed additives for swine - Enzymes and  
1373 phytase. Animal Science White Papers, Technical Reports, and Fact Sheets.  
1374 13.  
1375
- 1376 Pettey LA, Carter SD, Senne BW, Shriver JA. (2002): Effects of beta-mannanase  
1377 addition to corn-soybean meal diets on growth performance, carcass traits,  
1378 and nutrient digestibility of weanling and growing-finishing pigs. *Journal of*  
1379 *Animal Science*, 80(4):1012-1019.  
1380
- 1381 Parsons CM, Castanon F, Han Y. (1997): Protein and amino acid acid digestibility  
1382 of meat and bone meal. *Poultry Science*, 76(2):361-368.  
1383
- 1384 Recharla N, Kim D, Ramani S, Song M, Park J, Balasubramanian B, Puligundla P,  
1385 Park S. (2019): Dietary multi-enzyme complex improves *In Vitro* nutrient  
1386 digestibility and hind gut microbial fermentation of pigs. *Plos One*,  
1387 14(5):e02117459.  
1388
- 1389 Ravindran V. (2013): Feed enzymes: The science, practice, and metabolic realities.  
1390 *Journal of Applied Poultry Research*, 22(3):628-636.  
1391
- 1392 Sefer D, Petrujkic B, Markovic R, Grdovic S, Nestorovic B, Bogosavljevic V, Milic D.  
1393 (2012): Effect of phytase supplementation on growing pigs performance. *Acta*  
1394 *Veterinaria Beograd*, 62(5-6):627-639.  
1395
- 1396 Selle PH, Cowieson AJ, Ravindran V. (2009): Consequences of calcium interactions  
1397 with phytase and phytase for poultry and pigs. *Livestock Science*, 124(1):126-  
1398 141.  
1399
- 1400 Sergio RPP. (2009): "Cuantificación del desempeño productivo de tres categorías  
1401 de lechones al destete y su influencia en el costo de producción de una granja

- 1402 de sitio dos en la zona de santo domingo”. Universidad nacional de loja. Área  
1403 agropecuaria y de recursos naturales renovables. Loja, Ecuador.  
1404  
1405 SAGARPA-SIAP. (2020): Expectativas Agroalimentarias.  
1406  
1407 Smits CHM, Annison G. (1996): Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition:  
1408 towards a physiologically valid approach to their determination. *Worlds Poult.*  
1409 *Sci. J*, 52:203–221.  
1410  
1411 Sharada R, Swathi K, Venkateswar S, AnandRao M, Narsi Reddy M. (2009):  
1412 Optimization of cultural conditions for cellulase production by *Aspergillus*  
1413 *niger* (MTCC 2196) using submerged fermentation. *Biosciences*  
1414 *Biotechnology Research Asia*, 6(1):289-292.  
1415  
1416 Sukumaran RK, Singhanian RR, Pandey A. (2005): “Microbial cellulases-production,  
1417 applications and challenges”. *Journal of Scientific and Industrial Research*,  
1418 64(11):832-844.  
1419  
1420 Soria FAI, Mariscal LG, Gómez RS, Cuarón IJA. (2009): Efecto de la adición de  
1421 enzimas fibrolíticas y una fitasa para cerdos en crecimiento sobre la  
1422 digestibilidad de nutrientes. *Técnica Pecuaria en México*, 47:1-14.  
1423  
1424 Tactacan GB, Cho SY, Cho JH, Kim IH. (2016): Performance responses, nutrient  
1425 digestibility, blood characteristics, and measures of gastrointestinal health in  
1426 weanling pigs fed protease enzyme. *Asian Australasian Journal of Animal*  
1427 *Science*, 29(7):998-1003.  
1428  
1429 Tsai T, Dove CR, Cline PM, Owusu-Asiedu A, Walsh MC, Azain M. (2017): The  
1430 effect of adding xylanase or  $\beta$ -glucanase to diets with corn distillers dried  
1431 grains with solubles (CDDGS) on growth performance and nutrient  
1432 digestibility in nursery pigs. *Livestock Science*, 197:4-52.

- 1433 Tsai TC, Dove R, Bedford MR, Azain MJ. (2019): Effect of phytase on phosphorous  
1434 balance in 20-kg barrows fed low or adequate phosphorous diets. *Animal*  
1435 *Nutrition Journal*, 6(1):9-15.  
1436
- 1437 Upadhaya SD, Park JW, Lee JH, Kim IH. (2016): Efficacy of  $\beta$ -mannanase  
1438 supplementation to corn–soya bean meal-based diets on growth  
1439 performance, nutrient digestibility, blood urea nitrogen, faecal coliform and  
1440 lactic acid bacteria and faecal noxious gas emission in growing pigs. *Archives*  
1441 *of Animal Nutrition*. 70(1):33-43.  
1442
- 1443 USDA-FAS. (2019): China. Livestock and products annual. 7/22/2019.  
1444
- 1445 USDA-FAS. (2020a): Brazil. livestock and products semi-annual. 2/18/2020.  
1446
- 1447 USDA-FAS. (2020b): European Union. livestock and products semi-annual.  
1448 3/02/2020.
- 1449 USDA-FAS. (2020c): México. Livestock and products semi-annual. 2/04/2020  
1450
- 1451 USDA. (2021): <https://www.fns.usda.gov/usda-fis/usda-foods-available>  
1452
- 1453 Veum TL, Odle J. (2001): Feeding neonatal pigs. In Swine nutrition (ed. AJ Lewis  
1454 and LL Southern). CRC Press, New York, USA. 671-690.  
1455
- 1456 Vahjen W, Osswald T, Schäfer K, Simon O. (2007): Comparison of a xylanase and  
1457 a complex of non starch polysaccharide-degrading enzymes with regard to  
1458 performance and bacterial metabolism in weaned piglets. *Archives of Animal*  
1459 *Nutrition*. 61:90-102.  
1460
- 1461 Woyengo TA, Dupe VIGE, Akinremi OO, Nyachoti CM. (2016): Performance and  
1462 nutrient digestibility in growing pigs fed wheat dried distillers' grain with

- 1463           solubles-containing diets supplemented with phytase and multi-  
1464           carbohydrase. *Animal Science Journal*, 87(4):570-577.  
1465
- 1466   Who guidelines on use of medically important antimicrobials in food-producing  
1467           animals. (2017): Geneva: World Health Organization; Licence: CC BY-NC-  
1468           SA 3.0 IGO.  
1469
- 1470   Windish WW, Mhatre NS. (1965): Microbial amylases. *Advances in Applied*  
1471           *Microbiol*, 7:273-304.  
1472
- 1473   Yin F, Zhang Z, Huang J, Yin Y. (2010): Digestion rate of dietary starch affects  
1474           systemic circulation of amino acids in weaned pigs. *British Journal of*  
1475           *Nutrition*, 103(10):1404-1412.  
1476
- 1477   Yi JQ, Piao XS, Li ZC, Zhang HY, Chen Y, Li QY, Liu JD, Zhang Q, Ru YJ, Dong B.  
1478           (2013): The effects of enzyme complex on performance, intestinal health and  
1479           nutrient digestibility of weaned pigs. *Asian Australasian Journal of Animal*  
1480           *Science*, 26(8):1181-1188.  
1481
- 1482   Yáñez JL, Landero JL, Owusu-Asiedu A, Cervantes M, Zijlstra RT. (2013): Growth  
1483           performance, diet nutrient digestibility, and bone mineralization in weaned  
1484           pigs fed pelleted diets containing thermostable phytase. *Journal of Animal*  
1485           *Science*, 91(2):745-754.  
1486
- 1487   Yoon SY, Yang YX, Shinde PL, Choi JY, Kim JS, Kim YW, Yun K, Jo JK, Lee JH,  
1488           Ohh SJ, Kwon IK, Chae BJ. (2010): Effects of mannanase and distillers dried  
1489           grain with solubles on growth performance, nutrient digestibility, and carcass  
1490           characteristics of grower-finisher pigs. *Journal of Animal Science*, 88(1):181-  
1491           191.  
1492

- 1493 Zuo J, Ling B, Long L, Li T, Lahaye L, Yang C, Feng D. (2015): Effect of dietary  
1494 supplementation with protease on growth performance, nutrient digestibility,  
1495 intestinal morphology, digestive enzymes and gene expression of weaned  
1496 piglets. *Animal Nutrition*. 1(4):276-282.  
1497
- 1498 Zijlstra RT, Li S, Owusu-Asiedu A, Simmins PH, Patience JF. (2004): Effect of  
1499 carbohydrase supplementation of wheat- and canola-meal-based diets on  
1500 growth performance and nutrient digestibility in group-housed weaned pigs.  
1501 *Canadian Journal of Animal Science*.  
1502
- 1503 Zijlstra RT, Owusu-Asiedu A, Simmins PH. (2010): Future of NSP-degrading  
1504 enzymes to improve nutrient utilization of coproducts and gut health in pigs.  
1505 *Livestock Science*, 134(1-3):255-257.  
1506
- 1507 Zhao J, Zhang G, Liu L, Wang J, Zhang S. (2020): Effects of fibre-degrading  
1508 enzymes in combination with different fibre sources on ileal and total tract  
1509 nutrient digestibility and fermentation products in pigs. *Archives of Animal  
1510 Nutrition*, 74(4):309-324.  
1511
- 1512 Zeng ZK, Piao XS, Wang D, Li PF, Xue LF, Salmon L, Zhang HY, Han X, Liu L.  
1513 (2011): Effect of microbial phytase on performance, nutrient absorption and  
1514 excretion in weaned pigs and apparent ileal nutrient digestibility in growing  
1515 pigs. *Asian-Australasian Journal Animal Science*, 24(8):1164-1172.  
1516
- 1517 Zeng ZK, Wang D, Piao XS, Li PF, Zhang HY, Shi CX, Yu SK. (2014): Effects of  
1518 adding super dose phytase to the phosphorus-deficient diets of young pigs  
1519 on growth performance, bone quality, minerals and amino acids digestibilities.  
1520 *Asian Australasian Journal Animal Science*, 27(2):237-246.  
1521

1522 Zhang GG, Yang ZB, Wang Y, Yang WR, Zhou HJ. (2014): Effects of dietary  
1523 supplementation of multi-enzyme on growth performance, nutrient  
1524 digestibility, small intestinal digestive enzyme activities, and large intestinal  
1525 selected microbiota in weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 92:2063-2069.

1526

1527

1528

1529

1530

1531

1532

1533

1534

1535

1536

1537

1538

1539

1540

1541

1542

1543

1544

1545

1546

1547

1548

1549

1550

1551 **Tabla 1. Enzimas exógenas para piensos y sustratos objetivo.**

Enzima	Sustrato objetivo	Materia prima
Fitasas	Ácido fítico	Todos los ingredientes de origen vegetal
$\beta$ -Glucanasas	$\beta$ -Glucano	Cebada, avena y centeno
Xilanasas	Arabinoxilanos	Trigo, centeno, triticale, cebada, alimentos vegetales fibrosos
$\alpha$ -Galactosidasas	Oligosacáridos	Harina de soja, legumbres de grano
Amilasa	Almidón	Granos de cereales, legumbres de grano
Mananasas	Matriz de la pared celular (componentes de fibra)	Ingredientes de origen vegetal, alimentos vegetales fibrosos
Celulasas		Ingredientes de origen vegetal, alimentos vegetales fibrosos
Hemicelulasas		Maíz, arroz, sorgo, trigo
Pectinasas		Maíz, cebada, avena
Proteasas		Proteínas
Lipasas	Lípidos	Lípidos en los ingredientes de los alimentos

1552 Adaptado de Ravindran, 2013.

1553

1554

1555

1556

1557

1558

1559

1560

1561

1562

1563

1564

1565 **13. ABREVIATURAS**

1566

1567 AID: digestibilidad ileal aparente

1568 ATTD: digestibilidad aparente del tracto total

1569 DM: materia seca

1570 NSP: polisacáridos sin almidón

1571 GE: energía bruta

1572 CP: proteína cruda

1573 ADG: aumento de peso diario promedio

1574 FCR: relación de conversión de alimento

1575 ADFI: ingesta diaria promedio de alimento

1576 G: F: ganancia de alimentación

1577 ADF: fibra detergente ácida

1578 NDF: fibra detergente neutra

1579 BUN: nitrógeno ureico en sangre

1580 AA: aminoácidos

1581 P: fósforo

1582 Ca: calcio

1583 Na: sodio

1584 K: potasio

1585 Mg: magnesio

1586 Zn: zinc

1587 N: nitrógeno

1588