



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**EFFECTO DE DOS PRODUCTOS COMERCIALES A BASE DE  
RACTOPAMINA AL 2% SOBRE EL CONSUMO DE ALIMENTO, GANANCIA  
DE PESO, GRASA DORSAL Y PROFUNDIDAD DE MÚSCULO LARGO  
DORSAL**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA**

**PRESENTA**

**MONSERRAT MARTÍNEZ GONZÁLEZ**

**Asesores:**

**MVZ MPA. Marco Antonio Herradora Lozano**

**MVZ MCV Gerardo Ramírez Hernández**

**Ciudad Universitaria, Cd. Mx. 2020**





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.

## **DEDICATORIA.**

Con todo mi amor a mis padres Cristina y Carlos ya que, gracias a su amor incondicional, paciencia, confianza y apoyo he podido completar una de las etapas más importantes de mi vida. Los amo incondicionalmente.

A mi hermano y primos por el apoyo y cariño brindado durante mi formación académica, en especial a mi segunda madre, mi tía Isabel, por sus consejos y cariño.

Con mucho cariño a mi abue Paulina, gracias por cuidarnos y educarnos de la mejor manera que supiste, te amo; este logro es tuyo también.

Cachi, la cachorrita que me encontró al inicio de la carrera, te amo demasiado.

Christian, te amo.

**Gracias.**

## **AGRADECIMIENTOS.**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y a los médicos que compartieron conmigo su conocimiento.

Al Departamento de Medicina y Zootecnia de Cerdos, por el aprendizaje brindado, por los amigos y colegas que encontré ahí.

A los médicos Marco Herradora, Gerardo Ramírez, Christian Carlín, pues gracias a su confianza, apoyo y grandes conocimientos fue posible realizar este trabajo.

A PAFFA S.A. de C.V. por las facilidades otorgadas para la realización del presente trabajo.

A la empresa NU3/PORCÍCOLA GARLEÓN y al médico Cuauhtémoc Rodríguez por facilitarnos las instalaciones para realizar este proyecto.

A Tony, Ramón y todo el personal de la granja “El Suspiro” por su apoyo, amistad y consejos durante nuestra estancia en La Piedad.

A Neil por acompañarme y apoyarme durante e incluso después de finalizar nuestra estancia en La Piedad, te convertiste en una gran amiga.

## CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
JUSTIFICACIÓN	12
HIPÓTESIS	13
OBJETIVOS	14
MATERIALES	15
SUJETOS EXPERIMENTALES	17
MÉTODOS	20
RESULTADOS	22
DISCUSIÓN	24
CONCLUSIONES	27
REFERENCIAS	28

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO 1.- ADRENÉRGICOS.</b>	<b>5</b>
<b>CUADRO 2. DISTRIBUCIÓN DE LOS RECEPTORES <math>\beta_1</math> y <math>\beta_2</math> EN DISTINTOS TEJIDOS Y ÓRGANOS.</b>	<b>10</b>
<b>CUADRO 3. ALIMENTOS FINALIZADORES AZUL Y NARANJA.</b>	<b>17</b>
<b>CUADRO 4. DISTRIBUCIÓN DE ANIMALES.</b>	<b>18</b>
<b>CUADRO 5. ANIMALES SELECCIONADOS POR TRATAMIENTO.</b>	<b>19</b>
<b>CUADRO 6. VARIABLES MEDIDAS.</b>	<b>20</b>
<b>CUADRO 7. PROMEDIOS Y ERRORES ESTÁNDAR DE LAS VARIABLES DE DESEMPEÑO PRODUCTIVO EVALUADAS Y EFECTOS POR TRATAMIENTO (TX), SEXO (SX), INTERACCIÓN (TX*SX) Y LA COVARIABLE (COV) DE PESO1 (146D).</b>	<b>23</b>
<b>CUADRO 8. CONSUMO DIARIO PROMEDIO, CONVERSIÓN ALIMENTICIA Y GANANCIA DIARIA DE PESO.</b>	<b>24</b>
<b>CUADRO 9. CONSUMO PROMEDIO DE EM Y PROTEÍNA POR DÍA.</b>	<b>24</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1. FORMULA ESTRUCTURAL DE RACTOPAMINA.</b>	<b>9</b>
<b>FIGURA 2. FORMULA ESTRUCTURAL DE ADRENALINA.</b>	<b>9</b>
<b>FIGURA 3. CORRALES UTILIZADOS PARA LA PRUEBA.</b>	<b>15</b>
<b>FIGURA 4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS CORRALES.</b>	<b>15</b>
<b>FIGURA 5. PRODUCTOS A BASE DE RACTOPAMINA.</b>	<b>16</b>
<b>FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN DE ANIMALES.</b>	<b>18</b>

## **RESUMEN.**

MARTÍNEZ GONZÁLEZ MONSERRAT. Efecto de dos productos comerciales a base de Ractopamina al 2% sobre el consumo de alimento, ganancia de peso, grasa dorsal y profundidad de músculo largo dorsal. (Bajo la asesoría de MVZ MPA Marco Antonio Herradora Lozano y MVZ MCV Gerardo Ramírez Hernández).

El objetivo del siguiente estudio fue comparar el desempeño productivo de cerdos alimentados con dos productos con base en ractopamina, considerando variables como: grasa dorsal (GD), ganancia de peso (GDP), profundidad de músculo largo dorsal (PMLD), consumo diario promedio (CDP), y conversión alimenticia (CA). Se utilizaron dos productos a base de clorhidrato de ractopamina al 2% (PAFMINE® producido desde la síntesis de ractopamina en México por PAFFA S. A. de C. V. y PAYLEAN® de ELANCO, producto de importación), como dos tratamientos ciegos denominados, Naranja y Azul, a una dosis de 10 ppm y distribuidos en ocho corrales de engorda, con  $44 \pm 3$  cerdos por corral. De estos se seleccionaron 20 animales por corral, acorde a su peso promedio, para medir las variables GD, GDP y PMLD y clasificados por sexo en machos (M) y hembras (H); mientras que cada corral, fue considerado como unidad experimental para CDP y CA. El peso al inicio de la prueba (P1) se manejó como covariable. No se observaron diferencias ( $P > 0.05$ ) por efecto de tratamiento, para las variables GDP y CDP. A lo largo de la prueba se apreciaron diferencias ( $P < 0.05$ ), en GDP1 y GDP2, principalmente por efecto de sexo; mientras que la covariable P1 influyó en GD2 ( $P = 0.0133$ ). Para GD1 y GD2 se observaron efectos por tratamiento ( $P < 0.05$ ) y solamente PMLD2 presentó diferencias por efecto de sexo ( $P < 0.05$ ). Con base en lo anterior se concluye que las diferencias encontradas se debieron a peso inicial y sexo, por lo tanto, el desempeño productivo de ambos productos fue el mismo.

## **INTRODUCCIÓN.**

Durante el año 2018 en México, se estimó un consumo de 2 millones de toneladas de carne de cerdo y de 15.4 kg *per cápita* por año, al cierre de 2019 el consumo nacional de carne de cerdo llegó a niveles máximos, con un incremento de 2.3 por ciento (%), respecto de 2018. A lo largo del 2019 el principal comprador de la carne de cerdo mexicana fue Japón, con una participación de 66.7 %, seguido de China con 16.6% y Estados Unidos con 8.8%, mientras que el principal proveedor de la carne de cerdo importada por México, fue Estados Unidos con 83.9%, seguido de Canadá con 15.9%. Se estima que en 2020 las importaciones se incrementen 2.5 % en comparación con el año previo. (1)

En México, la expectativa es que la producción de carne de cerdo siga aumentando y que sea una alternativa de menor costo respecto a otros tipos de carne (1), es por esto que se buscan opciones para obtener animales de mayor peso, con canales magras y con un precio de producción accesible, se considera que el crecimiento está influenciado por distintos factores, como los ligados al propio animal, dentro de los cuales destaca principalmente, la influencia de la genética y los diferentes pesos de los individuos en cada una de las etapas críticas en el crecimiento. Un manejo adecuado, el cual puede ser favorable para obtener el máximo potencial de crecimiento y rendimiento productivo; las buenas prácticas ganaderas siempre se han considerado como un aspecto realmente influyente. La sanidad en la unidad productiva es determinante en el desarrollo de un sistema productivo eficiente, incluyendo aspectos de higiene, estado inmunológico de los animales, programas de vigilancia y prevención de patologías. El alojamiento y el medio ambiente de las producciones, es fundamental donde las densidades de población son elevadas, así como también el buen estado de las instalaciones, temperaturas y acondicionamiento para los animales teniendo en cuenta sus necesidades fisiológicas. La alimentación es el sustento que permite una mejora de los rendimientos productivos, la nutrición óptima, complementada con sustancias legalmente autorizadas y disponibles en el mercado permite un mayor aprovechamiento de los nutrientes, es uno de los

aspectos en los que se ha incidido con mayor esfuerzo desde que empezaron a aparecer suplementos combinables en la dieta. (2)

El insumo más caro en las empresas porcinas es el alimento, sobrepasando el 70% del total de los costos de producción (3,4), es por esto que a lo largo de los años se ha buscado reducir el desperdicio de alimento, mejorando las formulaciones en conjunto con la alimentación y evaluación de dietas, de esta manera, el empleo de aditivos juega un papel importante al permitir una mayor eficiencia del alimento (5), dentro de éstos se encuentran los promotores del crecimiento.

Según la definición de la Organización Mundial de la Salud (OMS), “agente promotor del crecimiento es aquella sustancia distinta de los nutrientes de la ración que aumentan el ritmo de crecimiento, mejoran el índice de conversión de los animales sanos y correctamente alimentados”. (6) El concepto de promotor del crecimiento se puede aplicar a diversos grupos de sustancias que han sido utilizadas en producción ganadera. (2) Dentro de estos promotores se encuentran:

Antibióticos.

Estas sustancias están prohibidas en el concepto de promotores de crecimiento en México y muchos países en el mundo. Su efecto como promotor del crecimiento se debe a su capacidad de disminuir las bacterias intestinales que compiten por los nutrimentos. Sin embargo, actualmente los antibióticos se usan de forma indebida, esto preocupa a las autoridades sanitarias debido al riesgo que representa para el hombre, ya que el uso indebido de antibióticos favorece la generación de bacterias resistentes. (5,7,8)

Prebióticos y Probióticos.

Los prebióticos son ingredientes alimentarios no digestibles que son fermentados selectivamente por la microbiota intestinal. Representativamente lactobacilos y bifidobacterias, los cuales tienen el potencial de promover la integridad intestinal induciendo beneficios a la salud. (9,10) La FAO/OMS indican que los probióticos son microorganismos seleccionados vivos que, a una dosis

adecuada, ejercen efectos benéficos en el huésped, después de pasar a través del estómago e intestino delgado, algunos probióticos sobreviven y se establecen transitoriamente en el intestino grueso. (10)

Enzimas.

La adición de algunas enzimas en la dieta tiene la intención de aumentar y complementar las secretadas de forma endógena. Se ha demostrado que su inclusión mejora la digestión y absorción de nutrientes, por lo tanto, la tasa de crecimiento aumenta. La incidencia de desgaste intestinal también se reduce, ya que pasa menos material no digerido al intestino grueso, lo que reduce el sustrato disponible para el crecimiento bacteriano, aunque se sabe también que la adición de algunas enzimas, pueden desencadenar factores antinutricionales, que perjudican la digestión y, por lo tanto, llegan a provocar trastornos digestivos. (11)

Esteroides y anabólicos.

Los anabólicos pueden ser de origen endógeno (naturales) o sintéticos, estas sustancias (algunas homólogas de los esteroides), se definen como cualquier compuesto o mezcla de compuestos que afectan la función metabólica del animal para incrementar la cantidad de proteína corporal. En la Unión Europea (UE) está prohibida la utilización de hormonas y ciertos anabólicos como promotores de crecimiento; estas restricciones han desarrollado una polémica internacional debido a que las hormonas, como todas las sustancias químicas o medicamentos, dejan en general residuos en las carnes con posible efecto en el consumidor y que pueden ser detectados por diversos métodos, aún en partes muy pequeñas. (12)

Agonistas  $\beta$ -Adrenérgicos.

En producción animal son útiles para modificar la composición de la canal mediante la alteración de la distribución de nutrientes y la reducción de la deposición de grasa, aumentando simultáneamente la acumulación de proteínas. (5) Sin embargo, algunos de ellos podrían llegar a afectar a los consumidores debido a su permanencia en el animal (acumulación de residuos)

con ciertos signos, como temblores intensos de las extremidades, taquicardia, náuseas, dolores de cabeza y mareos, esto debido a los diferentes receptores adrenérgicos que se encuentran distribuidos en todo el organismo (**Cuadro 1**) (7), por lo cual su uso está prohibido a nivel mundial los más destacados son: **clenbuterol**, salbutamol, albuterol y simaterol. (4,7)

**Cuadro 1.** Funciones de los receptores adrenérgicos. (Tomado y modificado de Puchal et al., 1992).

Receptores Alfa	Receptores Beta
Vasoconstricción	Vasodilatación ( $\beta$ 2)
Dilatación del Iris	Taquicardia ( $\beta$ 1)
Relajación Intestinal	Relajación Intestinal ( $\beta$ 2)
Contracción de Esfínteres	Broncodilatación ( $\beta$ 2)
Contracción Pilomotoras	Glucogenólisis ( $\beta$ 2)
	Termogénesis ( $\beta$ 2)
	Lipólisis ( $\beta$ 1)

Ciertos agonistas  $\beta$ -adrenérgicos legales son utilizados en la producción animal, ya que tienen nulo efecto negativo respecto a lo antes expuesto debido a su baja cantidad de residuos en tejidos, como es el caso de la ractopamina con pobre o nula cantidad de residuos dependiendo el tejido, que se traduce en seguridad para el consumidor. Ractopamina o clorhidrato de ractopamina propicia una mayor eficiencia del uso del alimento, la cual se manifiesta en mejores características de la canal, así como en la composición química de la carne. (13) En México, EUA y más de 24 países, la ractopamina está aprobada para su uso en dietas de cerdos (FAO/OMS, 2015). A lo largo de más de 30 años a partir de su descubrimiento y 20 años desde sus primeros usos en la producción porcina, no han existido reportes de intoxicaciones en personas que consuman carnes de cerdos alimentados con el fármaco, de aquí la razón por la que es aceptada por

el *Codex alimentarius*. (14) En México, el uso del clorhidrato de ractopamina se encuentra regulado de manera estricta a través de la Ley Federal de Sanidad Animal 2012, su reglamento y normas vigentes NOM-064-ZOO-2000; y su ACUERDO por el que se modifica el diverso por el que se establece la clasificación y prescripción de los productos farmacéuticos veterinarios por el nivel de riesgo de sus ingredientes activos; así como por la autoridad competente, en materia de medicamentos y productos de uso veterinario: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), antes SAGARPA. (8, 9, 10, 15, 16, 17)

La ractopamina es un agonista  $\beta$ -adrenérgico con eficacia comprobada en la producción de carne con un menor contenido de grasa y una mayor utilización de nutrientes de las dietas (18,19); actúa especialmente en el metabolismo de proteínas, lípidos y carbohidratos, repartiendo los nutrientes de la dieta a vías metabólicas que favorecen la síntesis de proteínas sobre la deposición de grasa en la canal. (20, 21, 22, 23, 24, 25)

Diferentes estudios demuestran que la inclusión de ractopamina en la etapa de los últimos 20 a 40kg de ganancia durante la engorda, tiene efectos positivos sobre la velocidad de crecimiento, el desarrollo de canales magras y mejora en la conversión alimenticia (25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32); también se reporta una reducción en la deposición de tejido adiposo en la canal de cerdos alimentados con dietas que contienen ractopamina. (25, 33, 34, 35, 36, 37)

Este agente de repartición es comúnmente empleado a dosis que van de los 5 a los 20 gramos por tonelada de alimento (5 a 20ppm) y generalmente durante los últimos 28 días de la engorda (22, 38, 39, 40) los efectos de la ractopamina se ven influenciados por distintos factores como: dosis, tiempo de suministro, sexo, genética; así como los aportes de energía, lisina y la relación entre estos dos, dentro de la dieta. (26, 38, 39, 41)

Se ha reportado que las dietas suplementadas con ractopamina deben recibir un mínimo de 16% de proteína cruda (PC) y 30% más de lisina que una dieta típica de finalización para lograr resultados significativos en el rendimiento y la calidad de la canal; por lo tanto, la ractopamina se ha incluido en dietas con 16% de PC,

para cerdos que pesan de 41 a 109 kg. (33, 34, 35) Para obtener una respuesta ideal al momento de utilizar repartidores de nutrientes como aditivos, es necesario proporcionar niveles adecuados de aminoácidos en la dieta, con la finalidad de obtener el mayor aumento de proporción de carne. (43, 45, 46)

Se sabe que los niveles de lisina pueden restringir la acción de la ractopamina, especialmente en los cerdos seleccionados como magros, porque el nivel de lisina es directamente responsable de la síntesis de proteínas y la posterior deposición de tejido muscular. Sin embargo, un exceso de lisina también puede restringir los beneficios proporcionados por los agonistas  $\beta$ -adrenérgicos, ya que estos aminoácidos deben competir por los sitios de absorción y el catabolismo de estos excedentes de aminoácidos, puede ocurrir a expensas de un deseado aumento de la síntesis de proteínas. (43)

También es conocido que después del nacimiento, el crecimiento ocurre gracias a la hipertrofia de las fibras musculares existentes. Por lo cual, la función agonista  $\beta$ -adrenérgica ocurre a través de tres posibles vías generales para provocar esta hipertrofia: aumento de la síntesis de proteínas musculares, disminución de la degradación de proteínas o una combinación de las dos anteriores. (47)

La ractopamina al ser administrada en la alimentación de cerdos provoca una hipertrofia muscular, este efecto se produce a través de dos vías metabólicas: reducción de la lipogénesis y aumento de la lipólisis. Se han realizado pruebas experimentales para conocer cuál de estas dos vías es la que permite la disminución del tejido adiposo en la canal de los cerdos; Liu *et al.* (1989) (45), determinaron la tasa lipolítica de los adipocitos porcinos a través de la formación de glicerol y encontraron que la reducción en el tejido adiposo en la canal se produjo a través de un aumento en la lipólisis. Por otro lado, Mills y Liu (1990) (46) y Peterla y Scanes (1990) (47) trabajaron con adipocitos porcinos *in vitro* midiendo la tasa de lipogénesis a través de la incorporación de glucosa marcada con carbono 14 en ácidos grasos y encontraron que una reducción en la lipogénesis fue la reacción clave en este proceso. (27, 28, 31, 38, 39, 40)

Efectos de la ractopamina.

El clorhidrato de ractopamina pertenece al grupo de las catecolaminas, el cual es un derivado de la familia de los  $\beta$ -adrenérgicos, que actúa incrementando el flujo sanguíneo (mayor movilización de nutrientes), dando consigo una hipertrofia de las fibras musculares esqueléticas, un aumento de la síntesis proteica y una disminución en la degradación de la proteína muscular. Además, la ractopamina ejerce una activación directa para promover la hidrólisis de los triglicéridos y disminuye la síntesis de ácidos grasos, lo que provoca una menor acumulación de grasa. (38)

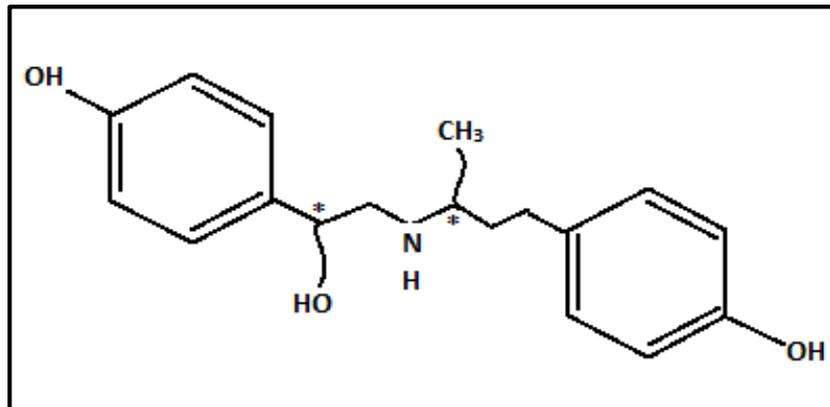
También se han informado reducciones en la concentración de urea en plasma de cerdos alimentados con ractopamina; según See, *et al.* (2004), la disminución en la concentración de urea plasmática es debido al aumento en la síntesis de proteínas musculares promovida por la ractopamina, lo que en consecuencia eleva la utilización de nitrógeno. Algunos estudios demuestran que una concentración de 20 ppm de ractopamina en la dieta provoca una reducción de urea plasmática dentro de las primeras 30 horas después de comenzar el tratamiento, por otro lado los cerdos que recibieron 5 ppm de ractopamina mostraron una reducción en las concentraciones plasmáticas de urea dentro de los primeros 14 días de alimentación, sin llegar hasta los 28 días que duraría el tratamiento; por lo tanto este  $\beta$  agonista actúa más eficientemente sobre el metabolismo de las proteínas durante los primeros 14 días de suplementación, disminuyendo con el tiempo. (38, 51)

Estructura química.

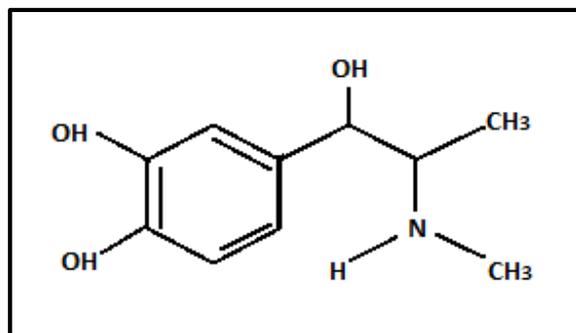
La presencia de un anillo aromático con un grupo hidroxilo unido al carbono  $\beta$ , nitrógeno cargado positivamente en la cadena lateral de etilamina y un sustituyente voluminoso en el nitrógeno alifático, hacen que la molécula sea más específica para el receptor adrenérgico  $\beta$  ( $\beta$ AR), el cual también desempeña un papel regulador en la función cardiovascular, respiratoria, metabólica y reproductiva. (38, 52) Se han identificado y secuenciado tres subtipos de receptores adrenérgicos  $\beta$ :  $\beta$ 1,  $\beta$ 2 y  $\beta$ 3, cada uno con una homología de 65 a 70% en su estructura de aminoácidos. (53) Estos receptores están presentes en

la mayoría de los tejidos, pero su distribución y proporción son variadas entre órganos y especies. (47)

Estos  $\beta$  agonistas son compuestos de síntesis, derivados de las catecolaminas neurotransmisoras, una de ellas la adrenalina de tipo  $\beta$ -adrenérgico-mimético, es decir, sustancias análogas a los neurotransmisores, con una afinidad especialmente específica por los receptores de tipo beta (**Figura 1 y 2**). (54)



**Figura 1.** Formula estructural de Ractopamina. Los asteriscos indican la localización de los carbonos quirales.



**Figura 2.** Formula estructural de adrenalina.

### Receptores $\beta$ -Adrenérgicos.

Las señales extracelulares, como los factores de crecimiento, las hormonas y los neurotransmisores, actúan sobre los receptores unidos a la membrana. Uno de estos receptores son los  $\beta$ AR (Beta Adrenergic Receptors, por sus siglas en inglés), que generan respuesta al estar unidos a sus ligandos naturales: adrenalina y noradrenalina. A lo largo de los años, los científicos han desarrollado agonistas sintéticos para el  $\beta$ AR, los cuales han sido utilizados en la industria farmacéutica humana y animal. (52) El  $\beta$ AR forma parte de una clase

más grande de receptores pertenecientes a los receptores acoplados a la proteína G (GPCR, del inglés: *G protein-coupled receptors*). (55) Los subtipos  $\beta$ AR comparten aproximadamente 50% de semejanza de secuencia, con la mayor similitud en los dominios transmembrana donde se forma la unión al ligando, la diversidad de subtipos proporciona un mayor control de los procesos metabólicos. (56)

Los subtipos  $\beta$ AR exhiben selectividad de ligandos de modo que el orden de rango de afinidad para la noradrenalina es  $\beta$ 1AR >  $\beta$ 2AR >  $\beta$ 3AR. La adrenalina se une al  $\beta$ 1AR y al  $\beta$ 2AR con una afinidad similar, pero tiene una afinidad mayor por el  $\beta$ 2AR que la noradrenalina. (56) Se sabe que la concentración de receptores  $\beta$ AR para ractopamina influye en la eficiencia de la ractopamina, algunos autores reportan que en el tejido adiposo de cerdos se encuentra el 73% del total de receptores  $\beta$ -adrenérgicos y entre 41% a 59% en músculo esquelético. (38) El  $\beta$ 1AR es el subtipo predominante en la mayoría de los tejidos de cerdo, que comprende casi el 80% en el tejido adiposo, el 72% en el corazón, el 65% en el pulmón, el 60% en el músculo esquelético y el 50% en el hígado (**Cuadro 2**). (38, 57, 58)

**Cuadro 2.** Distribución de los receptores  $\beta_1$  y  $\beta_2$  en distintos tejidos y órganos. (Puchal et al., 1992).

Órgano	Tipo
Corazón	$\beta_1 > \beta_2$
Arterias	$\beta_2 > \beta_1$
Aparato Digestivo	$\beta_2 > \beta_1$
Riñón	$\beta_1 > \beta_2$
Hígado	$\beta_2 > \beta_1$
Tejido Muscular Esquelético	$\beta_2 > \beta_1$
Tejido Adiposo	$\beta_2 > \beta_1$

(El símbolo > refiere de la predominancia del tipo de receptor)

#### Desensibilización del receptor acoplado a la proteína G.

Los GPCR sufren desensibilización del receptor debido a la exposición prolongada a un agonista. La desensibilización a corto plazo puede durar de segundos a minutos e involucra la fosforilación del receptor. La fosforilación se lleva a cabo mediante la quinasa  $\beta$ -AR quinasa 1 ( $\beta$ ARK, del inglés:  *$\beta$ -AR kinase 1*) independiente de AMPc (Adenosín monofosfato cíclico) y las quinasas receptoras acopladas a proteína G (GRK, del inglés: *G protein-coupled receptor kinases*). Esta fosforilación conduce a la unión por la  $\beta$ -arrestina (proteína citosólica codificada por el gen *arrb1*) y al desacoplamiento parcial de las proteínas G. La prolongación de la exposición conduce a la internalización del receptor y después de horas o días de exposición, hay una pérdida neta de receptores a través de la regulación descendente y la degradación del receptor, en este proceso llamado “baja regulación, o a la baja” (del término: *down regulation*), los receptores  $\beta$ AR son ubiquitinados por enzimas que activan el proceso de degradación de los lisosomas, es por esto que cuando el tratamiento tiene una duración de más de 28 días la respuesta lipolítica disminuye, ya que no se encuentran receptores disponibles para la utilización de la ractopamina.(29, 52, 59, 60)

## **JUSTIFICACIÓN.**

En México existen varias presentaciones de ractopamina, con dos productos líderes en el mercado, uno de ellos es la ractopamina desarrollada y distribuida desde el año 1999 – 2000 de manera pionera, por ELANCO Animal Health, (Indianápolis, Indiana. EUA); Paylean®, con número de registro vigente: Q-1807-036 para uso regulado en México, y el segundo es el desarrollado por PAFFA S. A. de C. V. (Atautla, Edo. Méx. MÉX); PAFMINE®, de éste último, el producto y la síntesis de su ractopamina son elaborados en México, de lo cual la empresa ostenta desde el 2007 el correspondiente número de registro vigente para su uso regulado: Q-7704-004, y un oficio expedido por la autoridad (SAGARPA – SENASICA, ahora SADER – SENASICA) que reconoce la síntesis desde el 30 octubre del 2009 con número: B00.02.08.02.01.0701-2013 (comunicación personal, Shalaiko Christian Carlin 2020); sin embargo, en pruebas de campo se desconoce el desempeño productivo de los animales, cuando se han empleado comparativamente ambos productos, de lo que se puede asumir respectivamente; uno de síntesis extranjera y el otro de síntesis nacional.

## **HIPÓTESIS.**

La grasa dorsal (GD), ganancia de peso (GDP), profundidad de músculo largo dorsal (PMLD), el consumo diario promedio (CDP) de alimento y conversión alimenticia (CA) en cerdos de finalización alimentados con dietas adicionadas con dos productos comerciales a base de ractopamina al 2% a una dosis de 10 ppm, y mantenidos bajo condiciones de manejo similares, no presentarán diferencias estadísticas.

## **OBJETIVOS.**

- Comparar el efecto de dos productos comerciales a base de clorhidrato de ractopamina al 2%, sobre GD, GDP, PMLD, en dos grupos de cerdos de finalización.
- Comparar CDP de alimento y CA de los animales alimentados con dos productos a base de ractopamina al 2%.

### **Objetivos específicos**

- Medir y comparar ganancia de grasa dorsal de los animales tratados, a los 0, 10, 30 días de prueba.
- Medir y comparar ganancia de peso de los animales tratados, a los 0, 10, 30 días de prueba.
- Medir y comparar ganancia de profundidad de músculo largo dorsal de los animales tratados, a los 0, 10, 30 días de prueba.
- Registrar y comparar consumo y conversión alimenticia de los animales tratados durante la prueba.

## MATERIALES.

### *Lugar e instalaciones.*

El estudio se realizó en las instalaciones de engorda, en una de las granjas de la empresa NU3/PORCÍCOLA GARLEÓN, ubicada en La Piedad, Michoacán. La granja se encuentra cercada y delimitada, cuenta con arco y vado sanitario, el acceso es restringido, únicamente puede entrar personal autorizado, que deberá bañarse, usar ropa y calzado propios de la granja. Cabe señalar que el procedimiento y diseño experimentales, se adaptaron a las condiciones productivas que se manejan en la empresa porcina.

Las instalaciones para la prueba estuvieron constituidas por 8 corrales de engorda (**Figura 3**), mismos que tienen 2 comederos, uno tipo tolva longitudinal con ocho espacios de alimentación y otro tipo tolva circular con cuatro espacios de alimentación. Cada corral cuenta con 3 suministradores de agua tipo colgante con 2 bebederos de mordida cada uno. Se utilizaron 8 corrales rectangulares, cada uno mide  $7.30 \times 6.85\text{m} = 50 \text{m}^2$ ; el piso en su totalidad es sólido, de cemento y se maneja charca en un tercio de la superficie del corral (**Figura 4**). A lo largo de la prueba, las temperaturas registradas al medio día, presentaron un rango de  $23.2^\circ \text{C}$  a  $30.8^\circ \text{C}$ .



**Figura 4.** Corrales utilizados para la prueba.



**Figura 3.** Características generales de los corrales.

### *Ractopamina.*

Durante el desarrollo del estudio, las empresas proveedoras de los productos con base en clorhidrato de ractopamina al 2% y destinado al consumo de los cerdos, (PAFMINE® de PAFFA S. A. de C. V. y PAYLEAN® de ELANCO) (**Figura 5**), solo participaron como proveedoras del mismo.



*Figura 5. Productos con base en ractopamina, empleados en la prueba.*

### *Alimento.*

Todos los animales recibieron una misma fórmula de alimento con aportes promedios de: 14.70% PC. y 2.9 EM/kg (**Cuadro 3**); conforme a la etapa productiva correspondiente y a lo establecido por la propia empresa porcina. Este alimento se elaboró en la planta de alimentos de la propia empresa porcícola, declarando que la única diferencia entre los alimentos correspondió a la adición de los productos PAFMINE® o PAYLEAN®, ambos en una dosis de 10ppm del principio activo (10g/tonelada), equivalente a 500g del producto comercial /tonelada de alimento; se consideraron como tratamientos AZUL y NARANJA, se registraron: lote, fecha de arribo, kilogramos entregados para el desarrollo de la prueba, alimento servido cada día (kg) y alimento sobrante en comedero (kg) en cada etapa de la prueba.

**Cuadro 3.** Alimentos finalizadores azul y naranja. Aportes reportados por el laboratorio en Base húmeda.

	TRATAMIENTO AZUL	TRATAMIENTO NARANJA
Proteína cruda	15.93%	13.47%
Extracto etéreo	3.17%	5.08%
Fibra cruda	3.94%	3.65%
Extracto libre de nitrógeno	63.25%	64.07%
Proteína verdadera	15.31%	13.04%
EM/kg	2.85	2.95

### *Equipo.*

Para obtener el peso de los animales y del alimento servido en los comederos, se empleó una báscula electrónica marca Brecknell con capacidad para 500 kg.

Para la medición de grasa dorsal (GD) y profundidad del músculo largo dorsal (PMLD), se empleó un aparato de ultrasonido PREG-ALERT-PRO® de RENCO.

### **Sujetos Experimentales.**

Antes de iniciar la prueba, todos los animales fueron pesados de manera individual e identificados con arete plástico. Se emplearon 352 cerdos híbridos producto de una cruce terminal, los cuales fueron distribuidos en ocho corrales. A partir del promedio y desviación estándar de los pesos obtenidos en cada corral, se seleccionaron aproximadamente 10 machos y 10 hembras de cada corral, obteniendo el total de 151 cerdos con 135 días de edad, resultando: 79 machos (M) con un peso promedio de  $67.05 \pm 4.45$ kg, y 72 hembras (H) con  $63.44 \pm 4.34$ kg (**Cuadro 4**), los cuales serán considerados como unidades experimentales para las variables: grasa dorsal (GD), ganancia de peso (GDP) y profundidad del músculo largo dorsal (PMLD). Se distribuyeron aleatoriamente por bloques, en dos sexos (H, M) y dos tratamientos: PAFMINE® y PAYLEAN®.

De esta manera se trabajó con 2 tratamientos ciegos, compuestos por 4 corrales cada uno, haciendo un total de 8 corrales, cada uno fue considerado para consumo diario promedio (CDP) de alimento, y conversión alimenticia (CA) (**Figura 6**).



**Figura 6.** Distribución de animales durante el tratamiento.

**Cuadro 4.** Distribución de los animales en granja:

CORRAL	TRATAMIENTO	No. DE ANIMALES	MACHOS		HEMBRAS	
			ID	Peso promedio	ID	Peso promedio
1	Azul	47	26	67.31	21	62.15
3	Azul	44	20	66.53	24	65.72
5	Azul	42	16	65.96	26	58.86
7	Azul	42	28	68.07	14	64.2
2	Naranja	42	33	66.75	9	66.8
4	Naranja	44	16	67.92	28	60.92
6	Naranja	44	19	67.74	25	59.15
8	Naranja	47	28	63.92	19	66.61

\*ID= Identificación.

**Cuadro 5. Animales seleccionados por tratamiento.**

CORRAL	TRATAMIENTO	No DE ANIMALES	MACHOS				HEMBRAS			
			ID	Peso promedio (kg)	Desv. Estándar	Coef. Var.	ID	Peso promedio (kg)	Desv. Estándar	Coef. Var.
1	Azul	20	10	68.9	3.36	4.88	10	62.3	2.23	3.59
2	Azul	16	10	67.7	3.61	5.33	6	67.7	6.95	10.27
3	Azul	20	10	69.7	3.49	5	10	65.2	2.07	3.18
4	Azul	20	10	67.1	4.55	6.78	10	61.6	3.46	5.62
5	Naranja	20	10	64.5	4.62	7.17	10	59.7	4.03	6.75
6	Naranja	20	10	67.4	4.01	5.96	10	60.4	2.3	3.81
7	Naranja	16	10	69.1	2.64	3.83	6	65.6	2.26	3.45
8	Naranja	19	9	61.5	4.03	6.57	10	67.6	2.78	4.12

Desv. Estándar = Desviación Estándar.

Coef. Var. = Coeficiente de Variación.

Los grupos se conformaron con base en las rutinas o manejos de la granja, bajo los siguientes criterios:

- De inclusión (antes de iniciar la prueba). Cerdos clínicamente sanos, hembras y machos, con peso promedio inicial de  $65.3 \pm 10$  kg.
- De exclusión (antes de iniciar la prueba). Cerdos fuera del peso establecido, enfermos, retrasados o animales que presenten anomalías físicas como: hernias, miembros y articulaciones hinchadas, escurrimiento nasal, problemas oculares, cambios en la coloración de la piel, así como otros que, a consideración del médico o responsable de la granja, sean anomalías que mermen el desempeño productivo de los animales.
- De eliminación (durante la prueba). Cerdos que desarrollen enfermedades durante el experimento o que manifiesten padecimientos que afecten su desempeño productivo.



## **MÉTODOS.**

A los 0, 10, 30 días de prueba, (135, 145, 165 días de edad de los cerdos) se efectuaron los pesajes y mediciones de grasa y músculo largo dorsal (entre las costillas 10, 11); con los datos obtenidos se estimaron las variables GD, GDP y PMLD. Para obtener el peso de los animales y del alimento servido en los comederos, se empleó una báscula electrónica, y para la medición de grasa dorsal y profundidad del músculo largo dorsal, se empleó un aparato de ultrasonido PREG-ALERT-PRO® de RENCO realizando la medición a la altura de la 10-11° costilla.

Para cada uno de los tratamientos, se obtuvieron muestras de cada uno de los alimentos (1 kg). Estas muestras se llevaron al departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la UNAM, se sometieron a las siguientes pruebas: Análisis Químico Proximal (AQP) y Proteína Verdadera.

Cada día se pesaron y registraron los costales de alimento servidos en cada uno de los corrales, el domingo de cada semana se pesó y registró el alimento sobrante de cada comedero para obtener el consumo de alimento por corral para así estimar el consumo diario promedio.

Los datos obtenidos a partir de los consumos de alimento por corral se emplearon para estimar la conversión alimenticia.

Se realizaron medidas de las siguientes variables:

**Cuadro 6.** Variables medidas.

VARIABLE	SIGLAS	EDAD	
Peso original	POr	135	Sin Ractopamina
Peso 1 (inicio)	P1	146	Sin Ractopamina
Peso 2 (final)	P2	166	Con Ractopamina
Grasa dorsal 1	GD1	146	Sin Ractopamina
Grasa dorsal 2	GD2	166	Con Ractopamina
Ganancia de grasa dorsal	GGD1	146-166	Con Ractopamina
Ganancia de peso 0	GDP0	135-146	Sin Ractopamina
Ganancia de peso 1	GDP1	146-166	Con Ractopamina
Ganancia de peso total	GDPT	135-146	
Profundidad de músculo largo dorsal 1	PMLD1	146	Sin Ractopamina
Profundidad de músculo largo dorsal 2	PMLD2	166	Con Ractopamina
Ganancia en profundidad de músculo largo dorsal	GPMLD	146-166	Con Ractopamina
Consumo diario promedio 1	CDP1	135-146	
Consumo diario promedio 2	CDP2	146-166	
Consumo total	CT	135-166	
Conversión Alimenticia	CA0	135-146	Sin Ractopamina
Conversión Alimenticia 1	CA1	146-166	Con Ractopamina
Conversión alimenticia total	CAT	135-166	

Método estadístico.

Los datos fueron analizados estadísticamente por un Modelo Lineal General (GLM), a través de un Análisis de Varianza (ANDEVA) y por una prueba de Tukey, se determinaron las diferencias entre tratamientos y sexos, a partir de un valor alfa de 0.05. Para ello se empleó el programa estadístico JMP 10 (2012 SAS, Institute Inc.) y en los casos en que se presentó supuesto efecto de tratamiento, a través de un análisis de covarianza (ANCOVA), se evaluó el efecto de la covariable: peso al inicio de la prueba. Por una prueba de "t de Student" se determinaron las diferencias entre tratamientos, para las variables relacionadas a consumos y conversiones alimenticias. Para ello se empleó el programa estadístico JMP 10 (2012 SAS, Institute Inc.), con el que se corrieron 92 análisis para el desempeño productivo y 24 para consumos y conversiones.

## RESULTADOS.

En la variable PMLD1, se observa efecto aparentemente por tratamiento ( $P < 0.05$ ), pero dado que no hubo una medición previa, este efecto se puede deber a la distribución al azar de los tratamientos, de haber existido un verdadero efecto de tratamiento se habría observado también en PMLD2. (**Cuadro 7**)

Para las variables GD1 y GD2 se observaron efectos por tratamiento ( $P < 0.05$ ), mientras que la covariable P1 influyó en GD2 ( $P = 0.0133$ ). Para las variables de pesos (POr, P1 y P2) y sus ganancias correspondientes, se aprecian efectos ( $P < 0.05$ ) a lo largo de la prueba, principalmente debidos al sexo. La profundidad del músculo largo dorsal (PMLD2) y su respectiva ganancia presentan efectos ( $P < 0.05$ ) debido al sexo. (**Cuadro 7**)

No se observaron diferencias ( $P > 0.05$ ) por efecto del tratamiento, para las variables consumo diario promedio, conversión alimenticia y ganancia diaria promedio de peso. (**Cuadro 8**)

No se observaron diferencias en el consumo promedio de energía entre los tratamientos, aunque numéricamente se requirieron 80g menos del alimento Naranja, por kilogramo de peso producido. (**Cuadro 9**)

**Cuadro 7.-** Promedios y Errores Estándar de las variables de desempeño productivo evaluadas y efectos por Tratamiento (Tx), Sexo (Sx), Interacción (Tx\*Sx) y la Covariable (Cov) de Peso1 (146d).

Variables	TRATAMIENTO AZUL				TRATAMIENTO NARANJA				Valor de P			
	H	(EE)	M	(EE)	H	(EE)	M	(EE)	Tx	Sx	Tx*Sx	Cov
<b>POr. (135d)</b>	62.93c	0.7257	68.05a	0.6885	63.96bc	0.7257	66.03ab	0.6973	0.4859	<0.001	<0.05	-
<b>P1 (146d)</b>	72.70b	0.7778	78.90a	0.7379	73.98b	0.7778	76.94a	0.7473	0.6537	<0.001	<0.05	-
<b>P2 (166d)</b>	92.28c	1.2918	101.73a	1.2411	93.38bc	1.2918	97.47ab	1.2411	0.2144	<0.001	<0.05	-
<b>GDP0</b>	9.77b	0.3618	10.92a	0.3432	10.02b	0.3318	10.91a	0.3476	0.7408	<0.05	0.7082	-
<b>GDP1</b>	19.58b	0.8228	22.73a	0.7905	19.41b	0.8228	20.53ab	0.7905	0.1432	<0.01	0.2127	-
<b>GD1 (146d)</b>	5.3b	0.1926	6.6a	0.1827	5.1b	0.1926	5.8b	0.1850	<0.01	<0.001	0.0793	-
<b>GD2 (166d)</b>	6.1b	0.2522	7.7a	0.2423	5.7b	0.2522	7.0a	0.2423	<b>&lt;0.05</b>	<0.001	0.4382	<b>0.0133</b>
<b>GGD</b>	0.8ab	0.1530	1.1ab	0.1470	0.6b	0.1530	1.2a	0.1470	0.9292	<0.01	0.2672	-
<b>PMLD1 (146d)</b>	51.7ab	0.4400	53.1a	0.4174	52.0ab	0.4400	51.5b	0.4228	0.1116	0.2943	<0.05	-
<b>PMLD2 (166d)</b>	56.5b	0.7615	59.3a	0.7319	56.2b	0.7615	57.6ab	0.7316	0.1724	<0.01	0.3284	-
<b>GPMLD1</b>	4.8b	0.6792	6.2a	0.6525	4.3b	0.6792	6.0a	0.6525	0.6404	<0.05	0.7715	-

Por= Peso Original; P= Peso; GDP0= Ganancia De Peso; GD= Grasa Dorsal; GGD= Ganancia de Grasa Dorsal; PMLD= Profundidad de Músculo Largo Dorsal; GPMLD= Ganancia de Profundidad de Musculo Largo Dorsal. H= Hembras; (EE)= Error Estándar; M= Machos. <sup>ab</sup>. Distintas literales en un mismo renglón, indican diferencia estadística. - = No se analizó.

**Cuadro 8.** Consumo diario promedio (CDP), conversión alimenticia (CA) y ganancia diaria de peso (GDP).

Variable	Tratamiento Azul	Tratamiento Naranja	Valor de P
CDP (kg)	2.39	2.32	P>0.05
CA (kg)	3.15	3.04	P>0.05
GDP (kg)	0.68	0.70	P>0.05

**Cuadro 9.** Consumo promedio de EM, Proteína por día y Eficiencia Alimenticia.

	Tratamiento Azul	Tratamiento Naranja
Consumo Promedio EM/día	9.79	9.82
Consumo Promedio Proteína/día	478.54	394.80
Eficiencia Alimenticia	0.2845	0.3017



## DISCUSIÓN.

Para ninguno de los dos tratamientos se observó diferencias entre sexo para las variables P1 (146d), P2 (166d), GDP0, GDP1, GGD, PMLD2 (166d), y GPMLD1 (cuadro 5) tal como See et al. (2004) lo describieron en su estudio donde se hacen comparaciones entre sexos a diferentes dosis de ractopamina sin obtener una diferencia estadísticamente significativa.

En este estudio se observó un efecto del tratamiento sobre la variable grasa dorsal 1 (GD1) favoreciendo al tratamiento naranja, esto se debió al acomodo al azar de los animales, por lo cual el impacto en los resultados es menos significativo y se comprueba en grasa dorsal 2 (GD2) al presentarse efecto de la covariable peso inicial ( $P=0.0133$ ), se puede observar que la cantidad de grasa depositada en hembras y machos es diferente favoreciendo a los machos de ambos tratamientos, similar a los resultados obtenidos por Puls *et al.*, (2014) donde demuestran que las diferencias de peso corporal respecto al sexo al comienzo del estudio refleja diferencias en la tasa de crecimiento.

Amaral, *et al.* (2009) reportan en su estudio que la relación entre el uso de ractopamina y sexo no es significativa, por lo tanto se comprueba una vez más que la grasa dorsal (GD) y ganancia de grasa dorsal (GGD) se debió al acomodo al azar de los animales desde el inicio de la prueba; las hembras presentaron una deposición de grasa menor que los machos siendo las cerdas del tratamiento naranja las que acumularon menor cantidad grasa, siendo la única variable en donde no se aprecia este efecto de sexo, la variable PMLD1-146 días ( $p=0.2943$ ). Rickard-Bell *et al.* (2007) demostraron que los cerdos de finalización considerados ligeros para entrar a la etapa de finalización (65 kg aproximadamente) manifiestan una buena respuesta al uso de ractopamina en la dieta, de manera similar a cerdos pesados, esto lo han demostrado See *et al.* (2004), Schinckel *et al.* (2002), Williams *et al.* (1994) y Watkins *et al.* (1990) entre otros; quienes refieren que, la profundidad de la grasa disminuye y el porcentaje de magro se ve beneficiado en cerdos alimentados con ractopamina. Gerlemann *et al.* (2014), mencionan en su estudio que la inclusión de ractopamina en la

dieta, promueve una menor deposición de grasa (7.2%) en comparación de los animales de un grupo control sin ractopamina en dieta.

A lo largo de la prueba se observaron efectos debido al sexo en las variables POr, P1 y P2 y sus respectivas ganancias. Collins *et al.* (2010) y Amaral *et al.* (2009), demostraron que la relación entre el uso de ractopamina y el sexo no es significativo para el peso final, ni la ganancia diaria de peso, ya que el uso de ractopamina tiene una influencia positiva en el crecimiento del cerdo en ambos sexos. Por otra parte, Garbossa (2013), Rickard-Bell *et al.* (2009), Moore *et al.* (2009), Carr *et al.* (2009), Sainz *et al.* (1993) y otros autores más, han demostrado en estudios experimentales, que el uso de ractopamina en la dieta mejora el aumento de peso diario promedio en cerdos de finalización en comparación con cerdos a los que no se les administra ractopamina en la dieta. Sainz *et al.* (1993) demostraron también que la ractopamina estimula el crecimiento en cerdos. Puls *et al.* (2014), demuestran que cerdos alimentados por 26 días, con una dieta con ractopamina, a una dosis de 7.5ppm, presentaron ganancias promedio de 1.211 kg/día, estos resultados son superiores a los observados en el presente estudio, lo cual pudo deberse al bajo aporte de proteína en la dieta; ya que los niveles manejados durante el estudio de Puls *et al.* correspondieron a 16.01%, en comparación del 14.07% de PC que se manejaron en la prueba.

En cuanto a la variable PMLD no se presentaron efectos estadísticamente representativos, tanto tratamiento como por la covariable de peso inicial.

Para las variables Consumo Diario Promedio, Conversión Alimenticia y Ganancia Diaria Promedio, no se observan diferencias entre ambos tratamientos. Al respecto, Puls, *et al.* (2014) observaron un efecto positivo ( $P < 0.001$ ) sobre la eficiencia alimenticia, en cerdos que recibieron ractopamina por 26 días a una dosis de 7.5 ppm; dicho sea de paso, el efecto observado correspondió a un aumento del 16.44% en la eficiencia alimenticia, en comparación con aquellos cerdos que no recibieron ractopamina en la dieta. Sin embargo, en el presente estudio, la eficiencia alimenticia fue un 13% menor en comparación a lo observado por Puls *et al.*, (2014), lo que puede nuevamente estar asociado a las

ya declaradas deficiencias en el aporte de proteína en la dieta, esto es -2% respecto de lo que mencionan diversos autores como necesario; un aporte mínimo del 16% para obtener efectos óptimos del uso de ractopamina.

Adicionalmente se observó que el consumo promedio de proteína por día representó una diferencia de alrededor de 80g más en el tratamiento azul, en comparación con el tratamiento naranja; aun así, los cerdos de ambos tratamientos tuvieron ganancias similares de peso durante la prueba. Xiao *et al* (1999) reportan que cuando el aporte de proteína en la dieta es menor al recomendado (16%) los efectos en ganancia diaria de peso y conversión alimenticia por efecto de la ractopamina no son significativos en comparación a una dieta con el aporte recomendado de 16% de proteína cruda; por lo que, en el presente trabajo (PC 14.07%), al tener un déficit de proteína cruda en la dieta, no se observaron tales beneficios. Crome *et al* (1996), reportan en su estudio que los cerdos con ractopamina en la dieta ganan peso más rápido y resultan ser más eficientes que los cerdos sin ractopamina. En el presente trabajo, ambos tratamientos (azul y naranja) con ractopamina tuvieron un desempeño productivo semejante, a pesar de la diferencia de gramos consumidos de alimento entre un tratamiento y otro, la ganancia de peso y eficiencia fueron semejantes, por lo tanto, se corrobora productivamente en el cerdo la presencia de ractopamina en igualdad para los dos productos y sus tratamientos.



## **CONCLUSIONES.**

En este estudio se comprobó que ambos productos a base de clorhidrato de ractopamina al 2%, PAFMINE® de PAFFA S. A. de C. V. y PAYLEAN® de ELANCO, independientemente de su origen (asumiendo las respectivas síntesis nacional y extranjera), tienen efectos similares con respecto a la ganancia de peso y de grasa dorsal. No hubo diferencia estadística en relación a las medidas del músculo largo dorsal.

Con las variables consideradas para el presente estudio y los resultados semejantes entre ambas marcas, se comprueba la hipótesis planteada en términos de igualdad.

Independientemente de la marca de preferencia; PAYLEAN® o PAFMINE®, debe quedar claro que, para obtener un mejor resultado en conversión alimenticia y ganancia de peso, es de suma importancia proveer una dieta con el aporte adecuado de proteína, de esta forma el efecto de la ractopamina en el organismo de los animales será el óptimo.

## REFERENCIAS.

1. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Comunicado Estimación de producción de carne de porcino 2020. Ciudad de México; 2020.
2. Estévez, RR. Estudio histórico del uso y prohibición de los promotores del crecimiento en la ganadería española. Universidad Complutense de Madrid Facultad de Veterinaria; 2016.
3. Arrieta, J. Lescano, D. Mirada M et. al. Estrategias nutricionales y de alimentación en recría y engorde. Impacto en los costos. Cordoba; 2015.
4. Gonzalez RM, Angeles Hernandez JC. Antibiotic and synthetic growth promoters in animal diets: Review of impact and analytical methods. *Food Control* [Internet]. 2017;72:255–67. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.03.001>
5. Sigvard Thomke KE. Growth promotants in feeding pigs and poultry . I . Growth and feed efficiency responses to antibiotic growth promotants. *AnnZootech* [Internet]. 1998;47:85–97. Disponible en: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00889716>
6. Guadarrama EA. Comportamiento Productivo del Pollo de Engorda Suplementado en la Fase de Iniciación con un Nucleótido como Promotor de Crecimiento. Vol. 67. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”; 2007.
7. Toldrá F, Reig M. Growth Promoters: Characteristics and Determination. En: *Encyclopedia of Food and Health*. 2015. p. 266–9.
8. SENASICA. Manual de Buenas Prácticas de Producción en Granjas Porcícolas. 2004. 85 p.
9. Romo AA, Gutiérrez SG, et al. Probiotics and Prebiotics as a Therapeutic Strategy to Improve Memory in a Model of Middle-Aged Rats. *Front Aging Neurosci* [Internet]. 2018 [citado el 10 de junio de 2019];10:416. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30618722>
10. Roberfroid MB. Prebiotics and probiotics: are they functional foods? *Am J Clin Nutr* [Internet]. el 1 de junio de 2000 [citado el 10 de junio de 2019];71(6):1682S-1687S. Disponible en: <https://academic.oup.com/ajcn/article/71/6/1682S/4729644>
11. Close WH. Producing Pigs without Antibiotic Growth Promoters [Internet]. Vol. 11. 2000 [citado el 10 de junio de 2019]. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.549.6132&rep=rep1&type=pdf>

12. Bavera, GB, O. Petryna A. Promotores del crecimiento y modificadores del metabolismo. 2004. p. 1–4.
13. Elmes CA, et al. Efecto de la adición de ractopamina y aminoácidos en los parámetros de crecimiento, características de canal, calidad de carne y residuos de cerdos de engorda. *Cienc e Investig Agrar*. 2014;41(3):297–308.
14. FAO, OMS. Comisión del Codex Alimentarius Límites Máximos de Residuos para Medicamentos Veterinarios en los Alimentos Actualizado en la 35 a Sesión de la Comisión del Codex Alimentarius Commission (Julio de 2012) CAC/LMR 2-2012. *Codex Aliment* [Internet]. 2012;40. Disponible en: [http://www.codexalimentarius.net/vetdrugs/data/MRL2\\_s\\_2012.pdf](http://www.codexalimentarius.net/vetdrugs/data/MRL2_s_2012.pdf)
15. Diario Oficial de la Federación. ACUERDO por el que se modifica el diverso por el que se establece la clasificación y prescripción de los productos farmacéuticos veterinarios por el nivel de riesgo de sus ingre. *D Ofical la Fed* [Internet]. 2012;21–128. Disponible en: <http://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2015/08/DOF-SAGARPA-190815-DOF-Moko-del-plátano.pdf>
16. Diario Oficial de la Federación. Ley Federal de Sanidad Animal. *D Ofical la Fed*. 2012;41.
17. Diario Oficial de la Federación. Reglamento de la Ley Federal de Sanidad Animal. *Dirario Of la Fed*. 2012;1–66.
18. Gonzalez JM, Johnson SE, et al. Effect of ractopamine-HCl supplementation for 28 days on carcass characteristics, muscle fiber morphometrics, and whole muscle yields of six distinct muscles of the loin and round. *Meat Sci*. 2010;85(3):379–84.
19. Mitchell AD. Effect or ractopamine on growth and body composition of pigs during compensatory growth. *Animal*. 2009;3(1):173–80.
20. Gunawan AM, et al. Ractopamine induces differential gene expression in porcine skeletal muscles. *J Anim Sci*. 2007;85(9):2115–24.
21. Carr SN, Hamilton DN, et al. The effect of ractopamine hydrochloride (Paylean®) on lean carcass yields and pork quality characteristics of heavy pigs fed normal and amino acid fortified diets. *Meat Sci* [Internet]. 2009;81(3):533–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.10.007>
22. Herradora MA. Efecto de la adición de ractopamina (Fenetanolamina) a dietas elaboradas con aceite vegetal o grasa animal, sobre el comportamiento productivo y calidad de la canal en cerdos de finalización.

Universidad Nacional Autónoma de México; 1995.

23. Rikard-Bell CV., Pluske JR, et al. Dietary ractopamine promotes growth, feed efficiency and carcass responses over a wide range of available lysine levels in finisher boars and gilts. *Anim Prod Sci.* 2013;53(1):8–17.
24. Amaral NDO, Fialho ET, Cantarelli VDS. Ractopamine hydrochloride in formulated rations for barrows or gilts from Cloridrato de ractopamina in diets formulated for castrated male pigs or for females from 94 to 130 kg. *Rev Bras Zootec.* 2009;35:98.
25. Watkins LE, et al. The effect of various levels of ractopamine hydrochloride on the performance and carcass characteristics of finishing swine. *Anim Sci.* 1990;11(Nov):3588–95.
26. Kutzler LW, et al. Comparison of varying doses and durations of ractopamine hydrochloride on late-finishing pig carcass characteristics and meat quality. *J Anim Sci.* 2011;89(7):2176–88.
27. Crome PK, et al. Effect of Ractopamine on Growth Performance, Carcass Composition, and Cutting Yields of Pigs Slaughtered at 107 and 125 Kilograms. *J Anim Sci.* 1996;74(4):709–16.
28. Williams NH, et al. The impact of ractopamine, energy intake, and dietary fat on finisher pig growth performance and carcass merit. *J Anim Sci.* 1994;72(12):3152–62.
29. See MT, Armstrong TA, Weldon WC. Effect of a ractopamine feeding program on growth performance and carcass composition in finishing pigs. *J Anim Sci.* 2004;82(8):2474–80.
30. Stites CR, McKeith FK, et al. The effect of ractopamine hydrochloride on the carcass cutting yields of finishing swine. *J Anim Sci.* 1991;69(8):3094–101.
31. Collins C, Henman D, et al. MAINTAINING THE RESPONSE TO RACTOPAMINE THROUGH INTERMITTENT FEEDING. 2010.
32. Sainz RD, Kim YS, Dunshea FR, Campbell RG. Effects of Ractopamine in Pig Muscles: Histology, Calpains and P-Adrenergic Receptors. *J Agric Resour.* 1993;44:1441–8.
33. Mimbs KJ, Pringle TD, Azain MJ, Meers SA, Armstrong TA. Effects of ractopamine on performance and composition of pigs phenotypically sorted into fat and lean groups. *J Anim Sci.* 2005;83(6):1361–9.
34. Uttaro BE, Ball RO, Dick P, Rae W, Vessie G, Jeremiah LE. Effect of ractopamine and sex on growth, carcass characteristics, processing yield,

- and meat quality characteristics of crossbred swine. *J Anim Sci* [Internet]. 1993;71(9):2439–49. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8104922>
35. Li N, Preckel PV., Foster KA, Schinckel AP. Analysis of economically optimal nutrition and marketing strategies for Paylean® usage in hog production. *J Agric Resour Econ*. 2003;28(2):272–86.
  36. Schinckel AP, Richert BT, Herr CT. Variation in the response of multiple genetic populations of pigs to ractopamine. *J Anim Sci*. 2002;80(2):85–9.
  37. Garbossa CAP, Sousa RV de, Cantarelli V de S, Pimenta ME de SG, Zangeronimo MG, Silveira H, et al. Ractopamine levels on performance, carcass characteristics and quality of pig meat. *Rev Bras Zootec* [Internet]. mayo de 2013;42(5):325–33. Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-35982013000500004&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982013000500004&lng=en&tlng=en)
  38. Almeida VV, Nuñez AJ, Miyada VS. Ractopamine as a metabolic modifier feed additive for finishing pigs: A review. *Brazilian Arch Biol Technol*. 2012;55(3):445–56.
  39. Apple JK, Rincker PJ, McKeith FK, et al. Meta-Analysis of the Ractopamine Response in Finishing Swine. *Prof Anim Sci* [Internet]. 2007;23(3):179–96. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1080744615309645>
  40. Gerlemann, GD, Allee GL, Rincker PJ, et al. Impact of ractopamine hydrochloride on growth, efficiency, and carcass traits of finishing pigs in a three-phase marketing strategy. *J Anim Sci*. 2014;92(3):1200-07.
  41. Puls CL, Ellis M, McKeith FK, Gaines AM, Schroeder AL. Effects of ractopamine on growth performance and carcass characteristics of immunologically and physically castrated barrows and gilts. *J Anim Sci*. 2014;92(3):4725–32.
  42. Apple JK, Maxwell C V, Brown DC, et al. Effects of dietary lysine and energy density on performance and carcass characteristics of finishing pigs fed ractopamine The online version of this article , along with updated information and services , is located on the World Wide Web at : Effects of d. *Society*. 2004;(July):3277–87.
  43. Almeida EC, Fialho ET, Rodrigues PB, et al. Ractopamine and lysine levels on performance and carcass characteristics of finishing pigs. *Rev Bras Zootec*. 2010;39(9):1961–8.
  44. Xiao RJ, Xu ZR, Chen HL. Effects of ractopamine at different dietary protein

- levels on growth performance and carcass characteristics in finishing pigs. *Anim Feed Sci Technol*. 1999;79(1–2):119–27.
45. Sainz R, Kim Y, Dunshea F, Campbell R. Effects of ractopamine in pig muscles: histology, calpains and  $\beta$ -adrenergic receptors. *Aust J Agric Res*. 2004;44(7):1441.
  46. Moore KL, Dunshea FR, Mullan BP, Hennessy DP, D'Souza DN. Ractopamine supplementation increases lean deposition in entire and immunocastrated male pigs. *Anim Prod Sci*. 2009;49(12):1113–9.
  47. Mersmann J. Harry. Overview of the Effects of  $\beta$ -Adrenergic Receptor Agonists on Animal Growth Including Mechanism of Action. *J Anim Sci* [Internet]. 1998;76:160–72. Disponible en: <https://pubag.nal.usda.gov/pubag/downloadPDF.xhtml?id=12899&content=PDF>
  48. Liu CY, Boyer JL, Mills SE. Acute effects of beta-adrenergic agonists on porcine adipocyte metabolism in vitro. *J Anim Sci*. 1989;67(11):2930–6.
  49. Liu, C.Y. Mills SE. Decreased Insulin Binding To Porcine Adipocytes. *Anim Sci*. 1990;68(nutrition):1603–8.
  50. Peterla TA, Scanes CG. Effect of beta-adrenergic agonists on lipolysis and lipogenesis by porcine adipose tissue in vitro. *J Anim Sci*. 1990;68:1024–9.
  51. Dunshea F, King R. Temporal response of plasma metabolites to ractopamine treatment in the growing pig. *Aust J Agric Res* [Internet]. 1994;45(8):1683. Disponible en: <http://www.publish.csiro.au/?paper=AR9941683>
  52. Kutzler LW. Effects of ractopamine and muscle fiber number on swine growth performance, carcass traits, and meat quality. *animal science*. 2010.
  53. Lynch GS, Ryall JG. Role of  $\beta$ -Adrenoceptor Signaling in Skeletal Muscle: Implications for Muscle Wasting and Disease. *Physiol Rev*. 2008;88(2):729–67.
  54. Puchal MF, Mascarell CJ, Baucells MD. Finalizadores: Betagonistas. *Jornadas sobre residuos en Anim vivos y en Aliment Orig Anim* [Internet]. 1992;(1es). Disponible en: <https://ddd.uab.cat/record/167022>
  55. Strosberg AD. Structure, function and regulation of adrenergic receptors. *Protein Sci*. 1993;2:1198–209.
  56. Mills SE. Biological basis of the ractopamine response. *J Anim Sci*.
-

2017;80(E-suppl\_2):E28–32.

57. Mcneel RL, Mersmann HJ. Receptor Subtype Transcripts in Porcine Adipose Tissue '. Anim Sci. 1999;77:611–21.
58. Liang W, Mills SE. Quantitative analysis of beta-adrenergic receptor subtypes in pig tissues. J Anim Sci [Internet]. el 1 de abril de 2002;80(4):963–70. Disponible en: <https://academic.oup.com/jas/article/80/4/963/4789395>
59. Ferguson SS. Evolving concepts in G protein-coupled receptor endocytosis: the role in receptor desensitization and signaling. Pharmacol Rev [Internet]. marzo de 2001;53(1):1–24. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11171937>
60. Johnson M. The  $\beta$ -Adrenoceptor. AM J Respir Crit Care Med. 1998;158(8):146–53.