

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE ZOOTECNIA



**“INCLUSIÓN DE HARINA DE ALGAS (*Chlorella vulgaris*) EN
DIETAS DE LECHONES Y SU EFECTO SOBRE EL
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y MORFOMETRÍA
INTESTINAL”**

Presentada por:

ANDREA PAOLA MALLEA ORTIZ

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

Lima - Perú

2020

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE ZOOTECNIA

**“INCLUSIÓN DE HARINA DE ALGAS (*Chlorella vulgaris*) EN
DIETAS DE LECHONES Y SU EFECTO SOBRE EL
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y MORFOMETRÍA
INTESTINAL”**

Presentada por:

ANDREA PAOLA MALLEA ORTIZ

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Carlos Vilchez Perales
Presidente

Ing. Víctor Vergara Rubín
Miembro

Ing. José Cadillo Castro
Miembro

Ing. Carmen Álvarez Sacio
Asesora

DEDICATORIA

A mí abuelito Teófilo Ortiz, quién me vio sustentar desde el cielo. No hay día ni momento en el que no me haga falta, lo piense o lo extrañe.

A mí mamá Ada Ortiz y mi abuelita Olinda Pretell, porque ellas son la razón por las que cada día busco crecer como profesional y persona. Porque ellas son la razón por la que estoy donde estoy. Porque todos mis logros son por y para ellas. Porque sin ellas no sería nada.

AGRADECIMIENTO

A la Ing. Carmen Álvarez Sacio, por ser mi inspiración día a día, su cariño infinito hacía mi persona, los conocimientos brindados e innumerables consejos dados. Por abrirme las puertas de la UEC y confiar en mí. Al Ing. Enrique Alvarado por el apoyo incondicional, palabras de aliento y motivación para la mejora continua.

Al Ing. Julio Concha Andia, por brindarme su valiosa amistad, enseñanzas, paciencia y todas las tardes en la UEC con él y los demás bolsitas: aprendiendo, riendo, trabajando y estudiando. Definitivamente, la mejor etapa de mi carrera universitaria.

A los trabajadores de la UEC: Joel, Carlos y Jaime. Por ayudarme durante la parte experimental de la presente investigación, así como durante todo mi tiempo en la UEC. Su amabilidad y disponibilidad para ayudar a los estudiantes es infinita.

A mi papá Cesar, por alentarme siempre en cada paso que doy y ser mi fan número uno.

A Juan Carlos, por su amor y apoyo incondicional, por entenderme y comprenderme ni cuando yo misma lo hago. Por hacer mi corazón brillar como nunca lo hizo.

A mis amigos, por su amistad brindada y todos los momentos inolvidables que vivimos juntos durante estos años. Ustedes son lo más bonito que la carrera me dio.

A los miembros del jurado, por los aportes brindados en esta investigación.

A mi hermosa alma mater la Universidad Nacional Agraria la Molina.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 El destete	3
2.1.1 Cambios morfológicos por efecto del destete	4
2.1.2 Cambios fisiológicos por efecto del destete	5
2.1.3 Sistema inmunológico	6
2.1.4 Inflamación asociada al destete	6
2.2 Ácidos grasos	7
2.2.1 Clasificación	8
2.2.2 Ácidos grasos esenciales	9
2.2.3 Biosíntesis de los ácidos grasos poliinsaturados	9
2.2.4 Efecto de los AG ω -3 en la respuesta inflamatoria	10
2.3 Fuentes de ácidos grasos Omega	11
2.3.1 Fuentes Tradicionales	11
2.3.2 Fuentes Alternativas	11
2.4 <i>Chlorella vulgaris</i>	13
2.4.1 Producción	13
2.5 Ácidos grasos omega 3 en la alimentación de cerdos	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1 Lugar experimental	18
3.2 Animales experimentales	18
3.3 Instalaciones y equipo	18
3.4 Producto evaluado	19
3.5 Tratamientos	20
3.6 Programa de alimentación	20
3.7 Análisis Químico Proximal	25
3.8 Programa Sanitario	26

3.9 Parámetros evaluados.....	26
3.9.1 Peso vivo inicial y final.....	26
3.9.2 Ganancia diaria de peso (GDP).....	26
3.9.3 Consumo diario de alimento (CDA).....	26
3.9.4 Conversión alimenticia (CA).....	26
3.9.5 Incidencia de disturbios gastroentéricos	27
3.9.6 Retribución económica del alimento (REA).....	27
3.10 Morfometría Intestinal	27
3.11 Análisis estadístico	28
3.11.1 Parámetros productivos	28
3.11.2 Morfometría Intestinal.....	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1 Peso vivo y Ganancia diaria de peso.....	30
4.2 Consumo de alimento	31
4.3 Conversión alimenticia	32
4.4 Disturbios gastroentéricos.....	32
4.5 Retribución económica	33
4.6 Morfometría de vellosidades intestinales.....	35
V. CONCLUSIONES	37
VI. RECOMENDACIONES	38
VII. BIBLIOGRAFÍA	39
VIII. ANEXOS	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación del contenido en porcentaje de EPA y DHA del total de lípidos en ejemplos de bacterias, hongos, peces, plantas transgénicas y micro algas.....	12
Tabla 2: Análisis Químico Proximal de la Harina de Algas (<i>Chlorella vulgaris</i>).	19
Tabla 3: Composición porcentual y contenido nutricional del alimento de la Fase I (7 – 28 días).....	21
Tabla 4: Composición porcentual y contenido nutricional del alimento de la Fase II (29 – 34 días).....	22
Tabla 5: Composición porcentual y contenido nutricional del alimento de la Fase III (35 – 53 días).....	23
Tabla 6: Composición porcentual y contenido nutricional del alimento de la Fase IV (54 – 70 días).....	24
Tabla 7: Análisis proximal porcentual de las dietas experimentales.....	25
Tabla 8: Efecto de la inclusión de 0.5% de harina de algas <i>Chlorella vulgaris</i> en dietas de lechones sobre su respuesta productiva hasta los 70 días.....	31
Tabla 9. Efecto de la inclusión de 0.5% de harina de algas <i>Chlorella vulgaris</i> sobre la incidencia de disturbios gastroentéricos durante la etapa de lactación y recría. ...	33
Tabla 10: Efecto de la inclusión de 0.5% de harina de algas <i>Chlorella vulgaris</i> sobre la retribución económica del alimento durante la etapa de recría.	34
Tabla 11: Efecto de la inclusión de 0.5% de harina de algas <i>Chlorella vulgaris</i> en dietas de lechones sobre su morfometría intestinal del duodeno.....	36

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Efecto de la inclusión de 0.5% de harina de algas <i>Chlorella vulgaris</i> en dietas de lechones sobre su respuesta productiva hasta los 70 días de edad.	49
Anexo 2: Registro de los pesos vivos (Kg/cerdo) de los tratamientos y sus respectivas repeticiones.	50
Anexo 3: Registro de la Ganancia diaria de peso (kg/lechón/día) de los tratamientos y sus respectivas repeticiones.	51
Anexo 4: Registro del Consumo diario de Alimento (kg/lechón/día) de los tratamientos y sus respectivas repeticiones.	52
Anexo 5: Registro de la Conversión alimenticia de los tratamientos y sus respectivas repeticiones.	53
Anexo 6: Registro de la Incidencia de Disturbios Gastroentéricos (%) de los tratamientos y sus respectivas repeticiones.	54
Anexo 7: Registro de la Altura de Vello, Profundidad de Cripta y Relación AV:CP por cada tratamiento y sus respectivas repeticiones.....	55
Anexo 8: Imagen histológica correspondiente a cerdos que recibieron la dieta sin inclusión de Harina de Algas.	56
Anexo 9: Imagen histológica correspondiente a cerdos que recibieron la dieta con inclusión de 5% de Harina de Algas.....	57
Anexo 10: Perfil nutricional de la Harina de Algas (<i>Chlorella vulgaris</i>)	58
Anexo 11: Análisis de varianza del peso al nacimiento de los dos tratamientos	59
Anexo 12: Análisis de varianza del peso al destete de los dos tratamientos.....	59
Anexo 13: Análisis de varianza del peso al final de la fase 1 de los dos tratamientos.....	59
Anexo 14: Análisis de varianza del peso al final de la fase 2 de los dos tratamientos.....	59
Anexo 15: Análisis de varianza del peso al final de la fase 3 de los dos tratamientos.....	59
Anexo 16: Análisis de varianza del peso al final de la fase 4 (70 días) de los dos tratamientos.....	60
Anexo 17: Análisis de varianza de la ganancia diaria de peso en la etapa de lactación de los dos tratamientos.....	60
Anexo 18: Análisis de varianza de la ganancia diaria de peso en la fase 1 de los dos tratamientos.....	60

Anexo 19: Análisis de varianza de la ganancia diaria de peso en la fase 2 de los dos tratamientos.....	60
Anexo 20: Análisis de varianza de la ganancia diaria de peso en la fase 3 de los dos tratamientos.....	60
Anexo 21: Análisis de varianza de la ganancia diaria de peso en la fase 4 de los dos tratamientos.....	61
Anexo 22: Análisis de varianza de la ganancia diaria de peso acumulada de los dos tratamientos.....	61
Anexo 23: Análisis de varianza del consumo de alimento durante la etapa de lactación de los dos tratamientos.....	61
Anexo 24: Análisis de varianza del consumo de alimento durante fase 1 de los dos tratamientos.....	61
Anexo 25: Análisis de varianza del consumo de alimento durante la fase 2 de los dos tratamientos.....	61
Anexo 26: Análisis de varianza del consumo de alimento durante la fase 3 de los dos tratamientos.....	62
Anexo 27: Análisis de varianza del consumo de alimento durante la fase 4 de los dos tratamientos.....	62
Anexo 28: Análisis de varianza del consumo de alimento acumulado de los dos tratamientos.....	62
Anexo 29: Análisis de varianza de la conversión alimenticia durante fase 1 de los dos tratamientos.....	62
Anexo 30: Análisis de varianza de la conversión alimenticia durante fase 2 de los dos tratamientos.....	62
Anexo 31: Análisis de varianza de la conversión alimenticia durante fase 3 de los dos tratamientos.....	63
Anexo 32: Análisis de varianza de la conversión alimenticia durante fase 4 de los dos tratamientos.....	63
Anexo 33: Análisis de varianza de la conversión alimenticia acumulada de los dos tratamientos.....	63
Anexo 34: Análisis de la varianza del porcentaje de disturbios gastroentéricos en la etapa de lactación de los dos tratamientos	63

Anexo 35: Análisis de la varianza del porcentaje de disturbios gastroentéricos en la fase 1 de los dos tratamientos	63
Anexo 36: Análisis de la varianza del porcentaje de disturbios gastroentéricos en la fase 2 de los dos tratamientos.	64
Anexo 37: Análisis de la varianza del porcentaje de disturbios gastroentéricos en la fase 3 de los dos tratamientos	64
Anexo 38: Análisis de la varianza de la altura de las vellosidades intestinales de los dos tratamientos.....	64
Anexo 39: Análisis de la varianza de la profundidad de cripta intestinal de los dos tratamientos.....	64
Anexo 40: Análisis de la varianza de la relación AV:PC de los dos tratamientos	64

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la inclusión de harina de algas (*Chlorella vulgaris*) en el alimento de cerdos en la etapa de lactación y recría, sobre el rendimiento productivo de los cerdos, medido a través de la ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, disturbios gastroentéricos, retribución económica del alimento y morfometría intestinal (altura de vellosidades, profundidad de cripta y relación AV:PC). La metodología fue experimental, se emplearon 110 lechones provenientes de un cruce materno L/Y, con un peso vivo al nacimiento promedio de 1.49 kg, los cuales fueron distribuidos al azar en dos tratamientos con cinco repeticiones. Los tratamientos fueron: T1, dieta sin inclusión de harina de algas; T2, Dieta con inclusión de 0.5 por ciento de harina de algas. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar. El peso vivo, ganancia diaria de peso, consumo diario de alimento, conversión alimenticia y disturbios gastroentéricos no mostraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos en todos los periodos de evaluación. Respecto a la morfometría intestinal, solo se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) en la altura de vellosidad, siendo el T1 quién presentó un mayor valor (600.26 vs. 520.05 μ m). Bajo las condiciones en las cuales se realizó el experimento con la inclusión de harina de algas en el alimento de lechones no se obtuvieron resultados favorables.

Palabras clave: lechón, harina de algas, ácidos grasos, omega 3, vellosidades intestinales.

ABSTRACT

The aim of the present study was the evaluation of the effect of the inclusion of algae meal (*Chlorella vulgaris*) in the feed of pigs in the lactation and nursery phase, on the performance of pigs, measured through daily weight gain, feed intake, food conversion, gastroenteric disorders, economic retribution and intestinal morphometry (villus height, crypt depth and AV: CP ratio). The methodology was experimental, 110 piglets from a maternal L / Y cross were used, with an average live weight at birth of 1.49 kg, which were randomly distributed in two treatments with five repetitions. The treatments were: T1, diet without inclusion of algae meal; T2, Diet including 0.5 percent algae meal. The data were subjected to an analysis of variance under a Completely Random Block Design. Live weight, daily weight gain, daily feed intake, feed conversion and gastroenteric disturbances did not show statistically significant differences ($P > 0.05$) between the treatments in all the evaluation periods. Regarding intestinal morphometry, only significant statistical differences ($P < 0.05$) were found in the height of villi, T1 who presented a higher value (600.26 vs. 520.05 μm). Under the conditions in which the experiment was carried out with the inclusion of algae meal in the piglet feed, favorable results were not obtained.

Key words: piglet, algae meal, fatty acids, omega 3, intestinal villi.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la producción intensiva de cerdos ha aumentado de manera significativa, buscando mejorar la eficiencia en diferentes aspectos como la reproducción, sanidad, manejo, genética y alimentación. Durante la vida productiva del cerdo, el periodo inmediato al destete es uno de los más desafiantes y críticos, debido a que en esta etapa los lechones son especialmente susceptibles ya que se afecta su comportamiento, condición, ambiente, nutrición e inmunidad (Liu, Ypharraguerre y Pettigrew, 2015); estos están expuestos a nuevos factores estresantes que pueden disminuir la ingesta de alimento, alterar la integridad intestinal, retardar el crecimiento y elevar el nivel de citoquinas inflamatorias en el torrente sanguíneo. Aunque un cierto grado de inflamación es beneficioso durante este periodo, una sobre producción de células inmune puede ser perjudicial, degradando el músculo y reduciendo la síntesis de proteína.

Entre los ingredientes que se emplean hoy en día para hacer frente a los inconvenientes del destete se encuentra la harina de algas, la cual se utiliza como una fuente natural de ácidos grasos poliinsaturados omega 3, que son conocidos por poseer propiedades antiinflamatorias debido a que pueden inhibir la liberación de citoquinas inflamatorias en sangre. Se conoce que una dieta con inclusión de estos ácidos grasos regula la intensidad y duración de la inflamación intestinal causada por el destete (Calder, 2002).

El pescado y los productos a base de este son la fuente primaria de ácido docosahexaenoico (DHA), el cuál es necesario para el desarrollo del cerebro y la vista, la salud cardiovascular y la respuesta inmune. Sin embargo, su elevado costo y problemas de contaminación con arsénico, plomo, policlorobifenilos, entre otros; exige que se busquen nuevas fuentes alternativas, como los vegetales. Esto ha generado que el uso de ácidos grasos omega 3 proveniente de pescado para la elaboración de alimentos balanceados disminuya en un 50 por ciento desde el 2005.

Los suplementos nutricionales a base de algas son una fuente alternativa de DHA y ácido eicosapentaenoico (EPA) entre otros ácidos grasos poliinsaturados omega 3, los cuales debidos

a sus propiedades antiinflamatorias pueden atenuar los problemas surgidos en la etapa de recría y así generar mejores rendimientos productivos.

Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la inclusión de 0.5 por ciento de harina de algas en el alimento de cerdos en la etapa de lactación y recría, sobre el rendimiento productivo de los cerdos, medido a través de la ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, disturbios gastroentéricos y retribución económica del alimento. Así como, determinar el efecto sobre la morfometría intestinal (altura de vellosidades, profundidad de cripta y relación AV:PC).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El destete

El destete es un periodo de numerosos e importantes cambios para los lechones, incluyendo separación de la madre, reubicación y combinación con otras camadas, introducción a un nuevo ambiente (ya que eventualmente se los traslada grandes distancias en caso se trate de una granja de múltiples sitios), el cambio radical de la dieta a base de leche materna por un alimento sólido, y varios otros cambios en el ambiente físico: temperatura, naturaleza del piso, calidad del aire, entre otros (Mormede y Hay, 2003).

Cuando el lechón es destetado, pasa de recibir una dieta líquida, altamente digestible y muy palatable proveniente de la madre a una dieta menos digestible y palatable; por lo tanto, el tracto gastrointestinal tiene que adaptarse a un nuevo tipo de alimento, lo que conduce a cambios en la motilidad del intestino, secreción y actividad de enzimas, y la composición de la flora bacteriana (Xu, Wang y Zhang, 2000).

Al momento del destete, los lechones poseen un menor grado de maduración de la función digestiva, pues su tracto gastrointestinal (TGI) aún no produce todas las enzimas necesarias para la digestión de alimentos sólidos (Reis de Souza, Mariscal, Escobar, Aguilera y Barrón, 2012). Además, las secreciones digestivas no son suficientes y el epitelio intestinal pasa por cambios morfológicos muy drásticos, por lo que la absorción de los nutrimentos se reduce (Lallès, Bosi, Smidt y Stokes, 2007) el lechón se desnubre y baja la tasa de crecimiento (Campbell, Crenshaw y Polo, 2013).

Reducir el consumo de alimento inmediatamente después del destete puede guiar a cambios morfológicos y funcionales adversos en el intestino (Dong y Pluske, 2007). McCracken, Spurlock, Roos, Zuckermann y Rex (1999) determinaron que el bajo consumo de alimento durante el destete puede contribuir a la inflamación intestinal y afectar adversamente la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas. Sin embargo, hay otros muchos factores que

pueden contribuir también a la atrofia intestinal, tales como la ausencia de consumo de leche, la presentación de la dieta, el estrés, la invasión por microorganismos o la introducción de compuestos alergénicos en la dieta postdestete (Allee y Touchette, 1999).

Se requiere alrededor de dos semanas para restaurar el nivel de la actividad de las enzimas de antes del destete; la longitud de este periodo depende de la fuente de proteína de la dieta y de la cantidad de ingesta de materia seca (Jayaraman y Nyachoti, 2017).

En relación con el sistema inmune, los lechones destetados son extremadamente inmunodeficientes y tanto su supervivencia como crecimiento recae sobre la inmunidad transferida a través de la leche de la marrana (Stokes, Bailey, Haverson, Harris y Jones, 2004).

2.1.1 Cambios morfológicos por efecto del destete

La atrofia de las vellosidades al momento del destete es causada ya sea por un incremento en la tasa de pérdida celular del ápice de la vellosidad o una reducción en la tasa de renovación celular en la cripta. Si el acortamiento de las vellosidades ocurre debido a un incremento de la pérdida celular, entonces eso es asociado con el incremento de la producción celular de la cripta, generando una mayor profundidad de las criptas (Por ejemplo: Reto microbiano, componentes antigénicos del alimento). Sin embargo, la atrofia de las vellosidades se puede deber también por una reducción en la tasa de renovación celular lo cual es resultado de una disminución de la división celular en las criptas (Pluske, Hampson y Williams, 1997).

Durante las primeras 24 horas post-destete, la altura de las vellosidades disminuyen en un 75 por ciento a comparación de los valores previos al destete (940 a 694 pm) debido a la pérdida de enterocitos maduros (Reis de Souza et al., 2012; Hampson (1986) citado por Pluske et al. (1997)). Esto se manifiesta en el cambio de la estructura de las vellosidades también sufre modificaciones: cambia de una forma de dedo a una de lengua u hoja (Barszcz y Skomiał, 2011); y después de 36 horas hay una reducción de entre 20 y 30 por ciento del peso total del intestino (McCracken et al., 1999).

La reducción de consumo de alimento al momento del destete es el principal factor contribuyente a la reducción abrupta de altura de las vellosidades (Spreeuwenberg, Verdonk, Gaskins y Verstege, 2001). Antes del destete, las vellosidades son muy largas (Cera, Mahan, Cross, Reinhart, y Whitmoyer, 1987) esto es debido a dos razones: en primer lugar, la descamación de células durante la lactancia es mínima y, en segundo lugar, las células de las criptas son capaces de reemplazar las células de las vellosidades a la misma velocidad a la que

se descaman (Gómez, Vergara y Argote, 2008). Más importante todavía es que la relación entre la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas sea máxima, por lo que el gasto energético para mantener una adecuada altura de las vellosidades es mínimo (Allee y Touchette, 1999).

Las vellosidades se acortan severamente en los dos primeros días y no empiezan a recuperarse hasta al menos 4 días después. La profundidad de las criptas no cambia en los primeros días, pero después se reducen para ayudar a crear más células que emigren hacia las vellosidades para facilitar la digestión y absorción (Allee y Touchette, 1999).

2.1.2 Cambios fisiológicos por efecto del destete

Cera et al. (1988) afirmaron que la actividad fisiológica del intestino parece estar directamente relacionada con la presencia del alimento en el tracto y no con la edad del animal.

La actividad enzimática del borde en cepillo de los enterocitos (compuesto por microvellosidades) ha sido usada como un indicador de maduración y capacidad digestiva del intestino delgado (Hampson y Kidder, 1986 citado por Jayaraman y Nyachoti, 2017). El bajo consumo de alimento sumado a los efectos del destete afecta negativamente a la actividad enzimática del borde en cepillo y la capacidad de absorción del intestino (Dong y Pluske, 2007). Además, la inadecuada ingesta de materia seca podría significar una pérdida de la función de barrera de las uniones estrechas del epitelio intestinal por falta de nutrientes (Jayaraman y Nyachoti, 2017).

La interacción de las enzimas pancreáticas, tripsina y quimotripsina, con los factores antitripsicos, disminuye sus actividades, pues éstos compiten por el punto de unión enzima-sustrato, afectando la digestión de las proteínas provenientes de la dieta (Lallés et al., 2004). A través de estudios moleculares se observó que inmediatamente después del destete, los niveles de ARN mensajero (ARNm) en el páncreas son bajos, por lo que hay una disminución en la síntesis de las enzimas pancreáticas en este periodo (Lallés et al., 2007). Sin embargo, pocos días después, los niveles pancreáticos de ARNm y la actividad enzimática fueron restaurados, con excepción de la actividad de la lipasa (Reis de Souza, Mariscal y Escobar, 2010).

Simultáneamente, la actividad de la lactasa disminuye, debido a la presencia de enterocitos inmaduros en las vellosidades acortadas, los cuales no pueden expresar su máxima capacidad de síntesis de enzimas (Hampson y Kidder, 1986 citado por Reis de Souza et al., 2012)

2.1.3 Sistema inmunológico

El lechón al momento del nacimiento se encuentra desprotegido de la estimulación antigénica externa, debido al tipo de placentación epiteliocorial de la cerda que no permite el paso de los anticuerpos maternos al feto. Los anticuerpos maternos que se encuentran en el suero no son capaces de atravesar la barrera placentaria, concentrándose al final de la gestación en las glándulas mamarias, para ser aportados en el calostro. Por lo tanto, el lechón, a diferencia de otras especies, en el momento del nacimiento es inmunológicamente inactivo, dependiendo, totalmente, de la transmisión de inmunidad pasiva de la cerda, a través de la ingestión y absorción de las inmunoglobulinas calostrales (Quiles y Hevia, 2011).

El lechón dispone de un complejo sistema inmune a nivel del epitelio intestinal, que supone una verdadera barrera de contención frente a aquellos patógenos introducidos por vía digestiva (Quiles y Hevia, 2011). El tejido linfoide asociado a intestino (GALT por sus siglas en inglés) es una de las partes del tejido linfoide asociado a mucosas (MALT). El 25 por ciento de la mucosa intestinal esta compuesta por tejido linfoide, esto hace que el intestino sea el órgano con mayor densidad de células inmunes del organismo, superando la cantidad total de células linfoides de los ganglios linfáticos, bazo y médula ósea en conjunto, por lo que sus funciones inmunes son tan importantes como las digestivas (Vega, 1994). El intestino se organiza en una serie de folículos linfoides a los que se denomina placas de Peyer (fundamentalmente compuestas por células B), más una serie de linfocitos presentes en la lámina propia y el epitelio intestinal (linfocitos intraepiteliales). Otro componente importante de la inmunidad intestinal son las células M, cuya función principal es la de capturar, mediante endocitosis, proteínas y péptidos antigénicos que el sistema inmunitario se encargará de reconocer como provenientes de patógenos o de los alimentos (Mateu, 2005).

2.1.4 Inflamación asociada al destete

La inflamación intestinal asociada al destete ha sido descrita para numerosas especies ya que activa el sistema inmune de la mucosa, atrofia las vellosidades y causa hiperplasia de las criptas (Cummins, Thompson y Mayrhofer, 1991). La magnitud de la reacción intestinal parece estar relacionada al consumo de alimento del lechón (Pluske, Williams y Aherne, 1996).

Otra consecuencia asociada al destete es el deterioro de la función de la barrera intestinal. La membrana epitelial del lumen del intestino sirve como primera línea de defensa del cuerpo, protegiendo al lechón contra varios microorganismos peligrosos, toxinas o antígenos que residen dentro del lumen del intestino delgado (Spreeuwenberg et al., 2001). Cuando la barrera

intestinal es resquebrajada, la permeabilidad aumenta y permite que toxinas, bacterias o antígenos asociados al alimento atraviesen el epitelio generando inflamación, mala absorción y diarrea (Campbell et al., 2013)

Una de las respuestas inmunológicas que ocurren en el destete es la alteración de citoquinas proinflamatorias, las cuales tienen influencia en la integridad intestinal y función epitelial, así como en la permeabilidad y transporte de nutrientes (McKay et al., 1999 citado por Campbell et al., 2013). Las citoquinas juegan un papel central en la respuesta de las células inmunitarias, pero también participan en el mantenimiento de la integridad de los tejidos. Se evaluó la expresión génica de las citoquinas proinflamatorias como IL-1 β , IL-6, y TNF- α durante el destete, llegándose a la conclusión que este está asociado a la regulación de citoquinas proinflamatorias (Pié, Lallés, Blazy, Laffitte, Seve, y Oswald, 2004).

Cuando el sistema inmunológico está activado, el crecimiento, consumo de alimento, eficiencia alimenticia y deposición de tejido magro es reducido. Por lo tanto, la reducción del estrés postdestete y consecuentes cambios en el intestino y activación de la inflamación del sistema inmune es fundamental para mejorar el rendimiento desde el destete hasta el acabado (Williams, Stahly y Zimmerman, 1997).

En este periodo, los desafíos inmunológicos pueden conducir a la producción de citoquinas por macrófagos, que provocan una reducción del consumo de alimentos por parte del lechón (Abreu, Donzele y Saraiva, 2010)

Más aún, el bajo consumo de alimento y el estrés en los lechones podría conducir a una reducción de la mucosa intestinal por un incremento en el transporte paracelular; debido a ello, los antígenos lumenales pueden entrar a la lámina propia de la mucosa, resultando en inflamación (Spreeuwenberg et al., 2001).

2.2 Ácidos grasos

Desde el punto de vista químico, los ácidos grasos (AG) son cadenas rectas de hidrocarburos que terminan en un grupo carboxilo en un extremo y en un grupo metilo en el otro (Castro, 2002) y forman parte de los fosfolípidos y glucolípidos, moléculas que constituyen la bicapa lipídica de todas las membranas celulares. Los AG poseen por regla general un número par de hasta 24 átomos carbono y estructuras no ramificadas, aunque en menor proporción números impares de carbonos y cadenas carbonadas más largas también se pueden encontrar (FAO, 2008; Castro, Tocher y Monroig, 2016).

2.2.1 Clasificación

Los ácidos grasos de la dieta más comunes han sido subdivididos en dos grupos según el grado de insaturación (FAO, 2008):

a. Ácidos grasos saturados

Los ácidos grasos saturados (SFA) no poseen dobles enlaces; presentan la fórmula general R-COOH. Se clasifican además en cuatro subgrupos según la longitud de su cadena:

- Ácidos grasos de cadena corta: de 3 a 7 átomos de carbono
- Ácidos grasos de cadena mediana: de 8 a 13 átomos de carbono
- Ácidos grasos de cadena larga: de 14 a 20 átomos de carbono
- Ácidos grasos de cadena muy larga: de 21 o más átomos de carbono

Entre los ácidos grasos saturados más comunes en grasas y aceites de la dieta podemos encontrar el ácido Butírico (C4:0), Caproico (C6:0), Caprílico (C8:0), Cáprico (C10:0), Láurico (C12:0), Mirístico (C14:0), Palmítico (C16:0), Esteárico (C18:0), Araquídico (C20:0), Behénico (C22:0) y Lignocérico (C24:0).

Las grasas de origen animal son generalmente ricas en ácidos grasos saturados.

b. Ácidos grasos insaturados (AGI)

Poseen uno o más dobles enlaces en su cadena (monoinsaturados o poliinsaturados, respectivamente). Estos ácidos se clasifican en tres subgrupos según la longitud de su cadena:

- Ácidos grasos insaturados de cadena corta: con 19 o menos átomos de carbono.
- Ácidos grasos insaturados de cadena larga: de 20 a 24 átomos de carbono.
- Ácidos grasos insaturados de cadena muy larga: con 25 o más átomos de carbono.

Dependiendo del grado de insaturación que posean, estos ácidos se pueden clasificar como ácidos grasos monoinsaturados (MUFAs) y ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs).

Dentro de los primeros, el ácido oleico (18:1) es el MUFA más común y está presente en cantidades considerables en fuentes de animales y vegetales.

Los PUFA pueden dividirse en 12 familias diferentes: pueden comprender dobles enlaces situados en la posición n-1 y n-12 (Gunstone, 1999) y se clasifican de acuerdo a la posición del primer doble enlace en la cadena, denominado *omega*, contando a partir del extremo metilo. Según esto, existen tres familias con mayor importancia nutricional de AG poliinsaturados: n-

9 (primer doble enlace en el carbono 9), n-6 (primero doble enlace en el carbono 6) y n-3 (primer doble enlace en el carbono 3) (Castro, 2002).

PUFAs son componentes estructurales de la célula y las membranas de los organelos (mayormente como fosfolípidos). Son cruciales para regular la estructura, fluidez y permeabilidad de la membrana (Ward y Singh, 2005). Además, los AGI forman parte del cerebro y los sistemas nervioso, inmune y hormonal (Guevara, 2015). También son los precursores de varios metabolitos que regulan las funciones vitales biológicas (Yap y Chen, 2001).

2.2.2 Ácidos grasos esenciales

Entre los PUFA, se consideran ácidos grasos esenciales a los que no pueden ser sintetizado por el organismo, y deben obtenerse de la dieta (Woo Kim, Mateo, Yin, y Wu, 2007); la esencialidad está dada porque los mamíferos carecen de las enzimas necesarias para insertar dobles enlaces en los átomos de carbono más allá del carbono 9 (Ronayne, 2000).

El ácido α -linolenico (ALA 18:3 n-3) y el ácido linoleico (LA 18:2 n-6) son los precursores de la familia de ácidos grasos omega 3 y 6 respectivamente. ALA se puede convertir en EPA (20:5 n-3) y en DHA (22:6 n-3), mientras que LA se puede convertir en AA (20:4 n-6) (Woo kim et al., 2007; FAO, 2008; Yap y Chen, 2001).

Los ácidos grasos omega-9 no son esenciales, los mamíferos podemos introducir una instauración a un ácido graso saturado en esa posición (ej. Ácido oleico) (Guevara, 2015).

2.2.3 Biosíntesis de los ácidos grasos poliinsaturados

La síntesis de ácidos grasos Omega 3 ocurre en dos etapas. La primera etapa es de *novo* en la cual se sintetiza un ácido graso de cadena corta a partir de acetato. Las enzimas Acetyl-CoA carboxilasa (ACC) y ácido graso sintetasa (AGS) son las que catalizan la síntesis en secuencia. En la mayoría de los casos, se obtiene el ácido oleico (C18:1, ω -9) (Wen, 2001). Hay dos posibles mecanismos in la biosíntesis del ácido oleico, el aeróbico o anaeróbico, siendo este último el principal en la mayoría de los organismos (Moore, 1993).

En la segunda etapa, el ácido oleico sintetizado, es desaturado adicionalmente para formar el ácido linoleico (LA, C18:2 ω -6), el cual es nuevamente desaturado para formar el ácido α -Linoleico (ALA, 18:3 ω -6). Luego, los ácidos grasos ω -9, ω -6 y ω -3 son formados por sus precursores a través de una serie de reacciones de desaturación y elongación (Wen, 2001).

2.2.4 Efecto de los AG ω -3 en la respuesta inflamatoria

Las rutas metabólicas de los AGPI omega 6 y 3 están vinculadas debido a que ambos son metabolizados por las mismas enzimas (ω -6 y ω -5 desaturasa y elongasa) y por lo tanto compiten por el mismo conjunto de enzimas (Quiles y Hevia, 2011)

Los ácidos grasos poliinsaturados suprimen la producción de eicosanoides derivados de ácido Araquidónico (AA). El AA es liberado de la membrana de los fosfolípidos a través de la acción de la enzima A2 fosfolipasa, la cual es activada a través de un estímulo inflamatorio. El AA liberado sirve como sustrato para las enzimas ciclooxigenasa (COX), lipoxigenasa (LOX) o citocromo P450. Las ciclooxigenasas conducen a la formación de prostaglandinas de la serie 2 (PG₂) y tromboxanos, mientras que las lipoxigenasas conducen a la formación leucotrienos de la serie 4 (LT₄). Las enzimas del citocromo P450 catalizan la formación de ácidos hidroxieicosatetraenoico y epoxieicosatrienoico (Tilley et al., 2001 citado por Li, 2014; Calder, 2012; Das, 2006).

El ácido eicosapentaenoico es también un sustrato para las enzimas COX, LOX y citocromo P450 que producen eicosanoides, pero los mediadores producidos tienen diferentes estructuras y funciones de los sintetizados a a partir de AA. En lugar de servir como sustrato para la biosíntesis de PG₂ y LT₄, EPA se convierte en PGE₃ y LTB₅ que son mucho menos biológicamente activos que los producidos a partir del ácido araquidónico (Li, 2014). Las PG de la serie 2 regulan la producción de citoquinas proinflamatorias, mientras que las PG de la serie 3 se transforman en eicosanoides antiinflamatorios (Bagga, Wang, Farias-Eisner, Glaspy y Reddy, 2003). Está bien documentado que el incremento de EPA y DHA en las membranas celulares conlleva a una disminución de producción de eicosanoides derivados de AA (Calder, 2007).

Por otro lado, nuevas familias de mediadores lipídicos derivados de los AGPI omega 3 han sido descubiertos entre ellos las resolvinas derivadas de EPA y DHA, y protectinas derivadas de DHA; varios modelos animales han demostrado que estos mediadores lipídicos tienen propiedades antiinflamatorias y aceleran la resolución de la inflamación (Calder, 2012). Además, los AGPI omega 3 inducen a la formación de endocannabinoides, que son eicosanoides complejos con propiedades antiinflamatorias en cultivos celulares (Calder, 2012; Li, 2014)

2.3 Fuentes de ácidos grasos Omega

2.3.1 Fuentes Tradicionales

El aceite de linaza, aceite de canola y aceite de soya son las fuentes más ricas en ácido α -Linoleico, ya que contienen el 50.8, 9.33 y 7.0 por ciento del total de ácidos grasos como ALA. También se le puede encontrar en algunos vegetales de hojas verdes; sin embargo, estos tienen un bajo contenido en grasa por lo que el contenido neto de ALA de estas fuentes es muy bajo (Connor, 1999).

El pescado y el aceite de pescado son las fuentes más ricas en DHA y EPA, con contenidos que varían entre el 30 y 50 por ciento tanto para peces de agua salada o dulce (Kinsella, 1990 citado por Whelan y Rust, 2006). El DHA es ácido graso poliinsaturado omega 3 que se encuentra en mayor cantidad en el pescado, sus niveles son generalmente de 2 a 5 veces mayor al contenido de EPA (Whelan y Rust, 2006). Sin embargo, utilizar el pescado como fuente de omega 3 tiene ciertas limitaciones debido a que tiene un precio y calidad que no se mantiene constante, además tiene problemas de contaminación con metales pesados y toxinas, como mercurio y bifenilos policlorados respectivamente. Estos inconvenientes no se pueden evitar totalmente ya que se encuentran en el agua de mar (Belarbi, Molina y Chisti, 2000).

2.3.2 Fuentes Alternativas

2.3.2.1 Bacterias

Numerosas bacterias (Tabla 01) provenientes de aguas profundas que pueden sintetizar ya sea DHA o EPA han sido aisladas (Wen, 2001), las cuales pueden introducir dobles enlaces en las moléculas de ácidos grasos mediante vías anaeróbicas (Yongmanitchai y Ward, 1989). Un total de seis nuevas bacterias marinas con la habilidad de producir EPA fueron aisladas del intestino de animales marinos en Japón (Satomi, Oikawa y Yano, 2003).

2.3.2.2 Hongos

La producción de ácidos grasos a partir de hongos presenta rendimientos inferiores a los que se obtienen en otros procesos más eficientes, basados en microalgas por ejemplo. Esto se debe a la baja velocidad de crecimiento de los hongos y en algunos casos, a la necesidad de producir algún tipo de estrés en el microorganismo para inducir la síntesis del metabolito deseado (Hinzpeter, Shene y Masson, 2006).

2.3.2.3 Algas

Los peces, a pesar de ser la fuente principal de ácidos grasos omega 3 (Tabla 01), no los sintetizan en cantidades significativas; sino que lo adquieren a través de su dieta al comer el zooplacton que se ha alimentado de las algas (Ackman, 1964).

Las microalgas son los productores iniciales de EPA y DHA en la cadena alimenticia marina y pueden crecer rápidamente bajo una variedad de condiciones de cultivo con un alto potencial de producción de ácidos grasos de cadena larga omega 3 (Li, 2009 citado por Adarme-Vega et al., 2012). Los aceites producidos por las microalgas contienen una alta proporción de DHA y EPA, y son más estables a la degradación oxidativa que aquellos obtenidos de otras fuentes (Barclay et al., 1998 citado por Hinzpeter et al., 2006).

Algunas macro algas, especialmente la roja y marrón, también contienen una cantidad relativamente alta de EPA (14 a 50 por ciento del total de ácidos grasos). Sin embargo, debido a su gran tamaño, es casi imposible lograr un cultivo de macro algas bajo condiciones controladas (Wen, 2001).

Tabla 1: Comparación del contenido en porcentaje de EPA y DHA del total de lípidos en ejemplos de bacterias, hongos, peces, plantas transgénicas y micro algas.

Organismo	% de producción de EPA y/o DHA
Bacteria	
Shewanella putrefaciens	40.0 EPA
Pneumatophorus japonicus	36.3 EPA
Fungi	
Thraustochytrium aureum	62.9 EPA+DHA
Mortierella	20.0 EPA
Peces	
Merluccius productus	34.99 EPA+DHA
Theragra chalcogramma	41.35 EPA+DHA
Hypomesus pretiosus	33.61 EPA+DHA
Sardinops sagax	44.08 EPA+DHA
Plantas (transgénicas)	
Soya	20.0 EPA
Brassica carinata	25.0 EPA
Nicotiana benthamiana	26.0 EPA

Continuación...

Micro algas	
Nannochloropsis sp.	26.7 EPA+DHA
Pinguicoccus pyrenoidosus	22.03 EPA+DHA
Thraustochytrium sp.	45.1 EPA+DHA
Chlorella minutissima	39.9 EPA
Pavlova viridis	36.0 EPA+DHA
Pavlova lutheri	41.5 EPA+DHA
Isocrysis galbana	≈28.0 EPA+DHA

FUENTE: Adarme-Vega et al., 2012

2.4 *Chlorella vulgaris*

Chlorella vulgaris es una célula unicelular de agua dulce que contiene una gran cantidad de clorofila como cualquier otra planta, con un contenido de proteína de 600 g/kg en materia seca y 18 aminoácidos, así como vitaminas y minerales. Más aún, contiene otros componentes importantes de la dieta como los ácidos grasos poliinsaturados, glicoproteínas y carotenoides (Janczyk, Langhammer, Renne, Guiard y Souffrant, 2006). La composición nutricional promedio es de 51-58 por ciento de proteína, 14-22 por ciento de lípidos y 12-17 por ciento de carbohidratos (Wolkers et al., 2011 citado por Koyande et al., 2019; Becker, 1994). Aunque Rodríguez et al. (2014) reporta una composición lipídica promedio de 27,8 por ciento.

2.4.1 Producción

Existen dos formas principales de cultivar *Chlorella vulgaris*: en sistemas abiertos tipo carrusel o en sistemas cerrados, denominados fotobiorreactores. Los primeros son baratos y fáciles de operar, pero presentan desventajas como una evaporación excesiva y facilidad de contaminación (Rodríguez et al., 2014).

Los factores que afectan el crecimiento de la *Chlorella vulgaris* incluyen dos categorías: factores nutricionales (químicos) y factores ambientales (físicos). Los factores nutricionales incluyen la composición y cantidad de las especies químicas en el medio de cultivo, siendo las más importantes la fuente de carbono, nitrógeno, fósforo, silicio, metales como hierro, cobre, zinc, vitaminas, etc. El tipo y la concentración de la fuente de carbono y la fuente de nitrógeno son muy efectivas, por lo que se consideran más importantes y se han realizado muchos estudios en esta área. Por supuesto, hay otro parámetro que anteriormente no se consideraba, pero es considerablemente efectivo, es decir, la concentración de la relación fuente de carbono y

nitrógeno (C / N) que tiene muchos efectos sobre el metabolismo de las microalgas. El segundo, son los factores físicos, incluidos el pH del ambiente de cultivo, la temperatura, la intensidad de la luz y la intensidad de la aireación del sistema (Daliry, Hallajisani, Mohammadi, Nouri y Golzary, 2017).

2.5 Ácidos grasos omega 3 en la alimentación de cerdos

2.4.5.1 Efecto en el rendimiento productivo

Samuel, James y Timmons (2014) evaluaron la inclusión de harina de algas como fuente de ácidos grasos omega 3 en lechones destetados, para se utilizaron 270 lechones de 21 días de edad y la etapa de evaluación se dividió en tres fases: (1) del día 21 al día 28 de edad, (2) del 29 a los 42 días de edad y (3) del 43 a los 63 días de edad. Los niveles de inclusión fueron de 0, 0.5 y 1 por ciento de harina de algas y solo se suministró durante la fase 1. Sólo se encontró diferencia estadística significativa a favor del tratamiento de 0.5 por ciento de Harina de algas en la ganancia diaria de peso y conversión alimenticia en la fase 2; sin embargo, no hubo diferencia significativa para la ganancia diaria de peso acumulada o conversión alimenticia acumulada.

Lee, Whenham y Bedford (2019) evaluaron la respuesta productiva de lechones destetados suplementados con ácidos grasos omega 3 provenientes de algas y aceite de pescado frente a una dieta control. Emplearon 72 lechones que fueron alimentados con las dietas experimentales durante 3 semanas (fase1 y 2) seguido de una dieta basal común para ambos tratamientos (fase 3) durante otras 3 semanas. Los resultados demuestran que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos en ninguna de las fases para peso vivo final, ganancia diaria de peso, y conversión alimenticia. Con respecto al consumo de alimento, no se hallaron diferencias estadísticas significativas en el consumo de alimento acumulado pero sí por fases: en la fase 1, la dieta con inclusión de aceite de pescado tuvo mejor respuesta; en la fase 2, fue la dieta control la que presento mejores resultados; en la fase 3, la dieta control y la suplementada con algas obtuvieron mejores valores.

Los efectos de la inclusión de la microalga *Aurantiochytrium limacinum* (AURA) en la dieta de gorrinos en la etapa de crecimiento fueron evaluados por Moran, Morlacchini, Keegan, Delles y Fusconi, (2018a). Se utilizaron 144 cerdos de 24.1 kg en promedio, los cuales fueron asignados a tres tratamientos con diferentes niveles de inclusión de AURA: 0, 0.25 o 0.50 por ciento en dietas isocalóricas e isoenergéticas. Los cerdos se pesaron en el día 0, 28, 56, 84 y

112. Los resultados demuestran que al final del experimento no hubo diferencia estadística significativa en el peso vivo de los animales, consumo de alimento, ganancia diaria de peso o conversión alimenticia. En otro ensayo realizado por Moran, Morlacchini, Keegan, y Fusconi (2018b), se evaluó el efecto de la inclusión de AURA en 0 y 1 por ciento en dietas de cerdos de acabado. Para ello, se utilizaron 144 gorrinos de 117.1 kg, los cuales fueron pesados en el día 0 y 28. No se observaron diferencias significativas en el peso final, ganancia diaria de peso, consumo de alimento o conversión alimenticia entre los tratamientos.

Li, Brendemuhl, Jeong y Badinga (2014) evaluaron la inclusión de 3 por ciento de AGPI en dietas de lechones destetados de 27 días de edad y con un peso promedio de 8.1kg., durante 28 días post destete. Al final del periodo de evaluación no se encontraron diferencias estadísticas significativas en la ganancia diaria de peso, consumo de alimento o conversión alimenticia. En el caso de las hembras después de 4 semanas post destete, las que fueron alimentadas con inclusión de ácidos grasos omega 3 presentaron pesos menores frente a la dieta control, por lo que los autores del ensayo asumieron que podría deberse a un cambio en la composición de los tejidos, pero la razón no fue documentada.

Sardi, Martelli, Lambertini, Parisini y Mordenti (2006) estudiaron el efecto de suplementar dietas de gorrinos de acabado con harina de algas (HA) derivada de *Schizochytrium sp.* como fuente de DHA. Se utilizaron 60 animales con un peso inicial de 118 kg a los cuales se les dio 4 dietas: dieta control; 0.25 por ciento de HA desde el inicio hasta el final de la etapa experimental (8 semanas); 0.5 por ciento durante las últimas 4 semanas y 0.25 por ciento durante las últimas 4 semanas. Los animales se pesaron el día 0, 28 y 56. De acuerdo con los resultados, no se halló diferencia estadística significativa entre los tratamientos para peso vivo final, ganancia diaria de peso, consumo de alimento o conversión alimenticia.

Eastwood, Kish, Beaulieu y Leterme (2009) evaluaron la semilla de linaza como fuente de ácidos grasos omega 3, 200 cerdos de 32.4 kg fueron alimentados con 4 dietas: 0, 5, 10 y 15 por ciento de inclusión de harina de linaza, no encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos para consumo diario de alimento, ganancia diaria de peso o conversión alimenticia.

Marriott, Garrett, Sims y Abril (2002) estudiaron el efecto de una dieta suplementada con DHA proveniente de la fermentación de la microalga *Schizochytrium sp.* durante 42 días divididos en dos etapas: de 0 a 21 días y de 22 a 42 días. Los niveles de inclusión fueron de 0, 0.125 y 0.250 kg/cerdo y el peso inicial de los mismos fue de 65 kg en promedio. Al finalizar el periodo de

evaluación no se hallaron diferencias significativas para peso vivo o ganancia diaria de peso. Asimismo, tampoco se encontró diferencia significativa en el consumo de alimento o conversión de alimenticia entre los tratamientos durante todas las etapas evaluadas.

Fontanillas, Barroeta, Baucells y Codony (1997) estudiaron los efectos de los ácidos grasos omega 3 en la dieta de 30 cerdos macho castrados de 26 kg de peso inicial en promedio, suministrándoles el 4 por ciento (de su peso vivo) de aceite de linaza; luego de 82 días en experimento no se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos para peso vivo, ganancia diaria de peso, consumo de alimento o conversión alimenticia.

2.4.5.2 Efecto en la morfología intestinal

Huber, Hooda, Fisher-Heffernan, Karrow y De Lange (2018) evaluaron la suplementación con ácidos grasos omega 3 en dietas con bajo nivel de proteína con el objetivo de disminuir la proporción omega6:omega3 en el alimento de lechones destetados. Para ello se utilizó 240 cerdos de 21 días de edad con un peso promedio de 5.25 kg. Los tratamientos fueron: (1) Control positivo: Dieta alta en proteína y 5 por ciento de aceite de maíz; (2) Control negativo: Dieta baja en proteína (BP) y 5 por ciento de aceite de maíz; (3) BP y 1.25 por ciento de aceite de pescado, (4) BP y 2.5 por ciento de aceite de pescado y (5) BP y 5 por ciento de aceite de pescado. Los animales fueron alimentados con las dietas experimentales en dos fases de 7 y 14 días respectivamente, y seguida por una tercera fase de 21 días en la que todos los animales comieron un alimento en común. Los resultados demuestran que el tamaño de las vellosidades intestinales se redujo en los tratamientos que incluía aceite de maíz y hasta 2.5 por ciento de aceite de pescado, pero aumentó para el tratamiento que incluía 5 por ciento. La profundidad de cripta disminuyó al incrementar en nivel de suplementación de aceite de pescado.

Shin et al. (2017) evaluaron el efecto de la reducción de la relación de ácidos grasos omega 3: omega 6 en la integridad intestinal de lechones recién destetados bajo pobres condiciones sanitarias. Se utilizaron 108 lechones machos de 21 días de edad con un peso inicial promedio de 7.1 kg. Las dietas experimentales fueron 3 con tres niveles distintos de relación de AGPI omega 6: omega 3 (19.4:1, 10.6:1 y 3.9:1) formuladas utilizando aceite de cúrcuma, vegetal y pescado como fuente de AG omega 3. Los animales fueron alimentados con dichas dietas durante 14 días. Los resultados demuestran que no hubo diferencia significativa en el día 14 entre los tratamientos para el tamaño de vellosidad ni profundidad de cripta, sin embargo,

numéricamente la altura de la vellosidad disminuyó y la profundidad de cripta aumentó conforme era mayor la inclusión de omega 3.

Liu et al. (2012) evaluó la inclusión de aceite de pescado para mejorar la integridad intestinal de lechones frente a un desafío sanitario. Se utilizaron 24 lechones destetados con peso inicial de 9 kg, Las dietas experimentales fueron dos: una con 5 por ciento de aceite de maíz y otra con 5 por ciento de aceite de pescado. Los animales fueron alimentados por 21 días. Al final de la parte experimental fueron beneficiados y los resultados indican que la altura de la vellosidad fue significativamente mejor en los animales que recibieron la dieta con aceite de pescado. Con respecto a la profundidad de cripta, no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar experimental

La etapa experimental de la presente investigación se realizó en las instalaciones del área de maternidad y recría de la Unidad Experimental en Cerdos (UEC), del Programa de Investigación y Proyección Social de Cerdos, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina entre los meses de junio a noviembre del año 2017.

3.2 Animales experimentales

Se utilizaron 110 lechones recién nacidos provenientes del cruce Yorkshire/Landrace con un peso promedio de 1.4 kg; los cuales fueron homogenizados y distribuidos al azar en dos (2) tratamientos con cinco (5) repeticiones cada uno, considerando una repetición cada semana de ingreso de los animales, lográndose así 10 unidades experimentales (camadas).

3.3 Instalaciones y equipo

Se utilizaron cinco salas del área de maternidad, cada una con tres jaulas de parición. Cada jaula tiene un área total de 4.32 m², y está equipada con un comedero para la marrana y bebedero tipo chupón para la cerda y para los lechones. Además, cada sala contó con 2 campanas de calefacción.

Para la recría se utilizaron cuatro salas, las cuales cuentan con seis jaulas elevadas cada una, cuyas dimensiones son 1.2x2.4 metros. Cada jaula contó con un comedero lineal de siete bocas,

un bebedero tipo chupón y piso emparrillado con slats de plástico. Para estimular el consumo de alimento se utilizó un comedero circular de 6 bocas durante los primeros 4 días post-destete.

El pesaje del alimento se hizo con una balanza digital de 50 kg de capacidad con 50g de aproximación, y el de los lechones con una balanza de 50 kg de capacidad con 100g de aproximación.

Para el manejo de la temperatura ambiental en los lechones destetados se creó un microclima a base de cortinas de malla arpillera para cada sala donde se encontraban las unidades experimentales. Dichas cortinas fueron removiéndose a medida que aumentaba la edad del lechón, asegurando de esta manera una correcta ventilación.

Para medir temperatura y humedad relativa del ambiente se utilizaron termómetros-higrómetros digitales, habiéndose registrado en promedio 20.14 °C de temperatura y 79.49 por ciento de humedad relativa del ambiente.

3.4 Producto evaluado

Se evaluó la inclusión de la harina de algas (*Chlorella vulgaris*), la cual se podría usar como una fuente alternativa de ácidos grasos omega 3, de alta calidad. El producto en estudio contiene 28 por ciento de DHA del total de los ácidos grasos. Las algas heterótrofas de la especie *Chlorella vulgaris* son cultivadas en fermentadores de acero en un sistema cerrado y controlado, lo cual permite reducir riesgos de contaminación por metales pesados y dioxinas.

El análisis químico proximal de este producto se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2: Análisis Químico Proximal de la Harina de Algas (*Chlorella vulgaris*).

Nutriente	Contenido
Energía, (Mcal/kg)	6000
Humedad, %	3.70
Grasa Cruda, %	50
Fibra Cruda, %	0.9
ELN, %	22.51
Proteína, %	19.22
Ceniza, %	3.67

3.5 Tratamientos

Los tratamientos consistieron en la inclusión o no de la harina de algas desde el día siete (7) hasta el día setenta (70). Todas las dietas fueron isoproteicas e isocalóricas. Los tratamientos se detallan a continuación:

T1: Alimento sin inclusión de harina de algas.

T2: Alimento con 0.5 por ciento de inclusión de harina de algas.

3.6 Programa de alimentación

El programa de alimentación empleado tenía 4 fases, las cuales se detallan a continuación:

a) Etapa de lactación:

Fase I: Día 7 al 21

b) Etapa de recría:

Fase I: Día 21 al 28

Fase II: Día 29 al 34

Fase III: Día 35 al 53

Fase IV: Día 54 al 70

El alimento fue suministrado en forma de harina en tres a cuatro raciones al día. Tanto el alimento como el agua fueron de libre acceso durante toda la investigación.

En las Tablas 3, 4, 5 y 6 se detalla la composición porcentual y contenido nutricional calculado del alimento para cada una de las fases.

Tabla 3: Composición porcentual y contenido nutricional del alimento de la Fase I (7 – 28 días)

INSUMO	T1 (0% Harina de algas)	T2 0.5% Harina de algas)
Cereales extruidos ¹	39.23	38.87
Suero de leche ²	29.09	29.09
Torta de Soya	18.00	18.00
Plasma porcino	4.00	4.00
Complejo proteico ³	2.65	2.70
Fosfato dicálcico ⁴	1.92	1.92
Harina de pescado	1.00	1.00
Caseína	1.00	1.00
Harina de Algas ⁵	-	0.50
Sal	0.45	0.45
Carbonato de calcio	0.39	0.40
Óxido de zinc	0.30	0.30
DL-metionina	0.23	0.23
L-Lisina	0.21	0.21
Antibiótico ⁶	0.20	0.20
Ácido butírico ⁷	0.20	0.30
Acidificante	0.15	0.15
Treonina	0.15	0.15
Fungicida	0.10	0.10
Levadura ⁸	0.10	0.10
Premezcla de vitaminas y minerales	0.10	0.10
Colina	0.10	0.10
Complejo enzimático ⁹	0.10	0.10
Sulfato de cobre	0.05	0.05
Secuestrante	0.05	0.05
Antioxidante	0.02	0.02
Triptófano	0.01	0.01
TOTAL	100.00	100.00
Contenido nutricional calculado		
EM cerdos, Kcal/Kg	3481	3481
Proteína Cruda, %	22.52	22.52
Lisina Total, %	1.72	1.72
Metionina Total, %	0.68	0.68
Treonina Total, %	1.09	1.09
Triptófano Total, %	0.31	0.31
Calcio, %	0.85	0.85
Fosforo Disponible, %	0.55	0.55

¹Star Energy, ²Star Lacto Premium, ³Star Pro, ⁴Phosbic, ⁵All-G-Rich, ⁶Star Col (Amoxicilina, Norfloxacin y Colistina Sulfato, ⁷Dibutimix, ⁸Actigen, ⁹Vegpro.

Tabla 4: Composición porcentual y contenido nutricional del alimento de la Fase II (29 – 34 días)

INSUMO	T1	T2
Cereales extruidos ¹	34.57	34.04
Maíz	20.00	20.00
Suero de leche ²	13.64	13.64
Torta de Soya	18.00	18.00
Plasma porcino	2.00	2.00
Complejo proteico ³	3.12	3.14
Fosfato dicálcico ⁴	1.20	1.20
Harina de pescado	4.00	4.00
Harina de Algas ⁵	-	0.50
Sal	0.45	0.45
Carbonato de calcio	0.60	0.60
Óxido de zinc	0.20	0.20
DL-metionina	0.27	0.28
L-Lisina	0.50	0.50
Antibiótico ⁶	0.06	0.06
Ácido butírico ⁷	0.15	0.15
Acidificante	0.10	0.10
Treonina	0.26	0.26
Fungicida	0.10	0.10
Antibiótico ⁸	0.20	0.20
Levadura ⁹	0.10	0.10
Premezcla de vitaminas y minerales	0.10	0.10
Colina	0.10	0.10
Complejo enzimático ¹⁰	0.10	0.10
Sulfato de cobre	0.05	0.05
Secuestrante	0.05	0.05
Antioxidante	0.02	0.02
Triptófano	0.05	0.05
Saborizante ¹¹	0.01	0.01
TOTAL	100.00	100.00
Contenido nutricional calculado		
EM cerdos, Kcal/Kg	3430	3430
Proteína Cruda, %	22.47	22.47
Lisina Total, %	1.71	1.71
Metionina Total, %	0.67	0.67
Treonina Total, %	1.10	1.10
Triptófano Total, %	0.31	0.31
Calcio, %	0.85	0.86
Fosforo Disponible, %	0.45	0.45

¹Star Energy, ²Star Lacto Premium, ³Star Pro, ⁴Phosbic, ⁵All-G-Rich, ⁶Star Tiamucol (Tiamulina y Colisitina), ⁷Dibutimix, ⁸Doxiplus (Doxiciclina, Sulfadimetoxina y Trimetoprim), ⁹Actigen, ¹⁰Vegpro, ¹¹Star Rich.

Tabla 5: Composición porcentual y contenido nutricional del alimento de la Fase III (35 – 53 días)

INSUMO	T1 (0% Harina de algas)	T2 (0.5% Harina de algas)
Maíz	55.03	56.94
Torta de Soya	23.00	23.00
Complejo proteico ¹	5.50	5.50
Suero de leche ²	8.74	8.74
Complejo enzimatico ³	0.10	0.10
Aceite de Soya	2.20	-
Harina de Algas ⁴	-	0.50
Premezcla de vitaminas y minerales	0.10	0.10
Colina	0.05	0.05
Antibiotico ⁵	0.10	0.10
Bicarbonato de sodio	0.70	0.70
Carbonato de calcio	1.00	1.00
Fosfato dicalcico	1.90	1.90
Sal	0.50	0.30
DL-metionina	0.23	0.23
Lisina	0.52	0.51
Antioxidante ⁶	0.10	0.10
Treonina	0.13	0.13
Sulfato de cobre	0.05	0.05
Óxido de zinc	0.05	0.05
TOTAL	100.00	100.00
Contenido nutricional calculado		
EM cerdos, Kcal/Kg	3351	3351
Proteína Cruda, %	21.8	21.8
Lisina Total, %	1.50	1.50
Metionina Total, %	0.57	0.57
Treonina Total, %	0.89	0.89
Triptófano Total, %	0.25	0.25
Calcio, %	0.91	0.91
Fosforo Disponible, %	0.45	0.45

¹Star Pro, ²Star Lacto Premium, ³Vegpro, ⁴All-G-Rich, ⁵Starsure (Amoxicilina y Norfloxacin), ⁶Alquerfeed.

Tabla 6: Composición porcentual y contenido nutricional del alimento de la Fase IV (54 – 70 días)

INSUMO	T1 (0% Harina de algas)	T2 (0.5% Harina de algas)
Maíz	67.35	67.43
Torta de Soya	22.5	22.30
Complejo proteico ¹	5.15	5.25
Complejo enzimático ²	0.10	0.10
Aceite de Soya	0.50	-
Harina de Algas ³	-	0.50
Premezcla de vitaminas y minerales	0.10	0.10
Colina	0.05	0.05
Antibiótico ⁴	0.10	0.10
Bicarbonato de sodio	0.70	0.70
Carbonato de calcio	1.30	1.30
Fosfato dicalcico	1.13	1.15
Sal	0.17	0.17
DL-metionina	0.14	0.14
Lisina	0.46	0.46
Antioxidante	0.10	0.10
Micosecuestante ⁵	0.02	0.02
Treonina	0.04	0.04
Sulfato de cobre	0.05	0.05
Óxido de zinc	0.05	0.05
TOTAL	100.00	100.00
Contenido nutricional calculado		
EM cerdos, Kcal/Kg	3321	3321
Proteína Cruda, %	21.00	21.00
Lisina Total, %	1.37	1.37
Metionina Total, %	0.47	0.47
Treonina Total, %	0.82	0.82
Triptófano Total, %	0.24	0.24
Calcio, %	0.86	0.86
Fosforo Disponible, %	0.34	0.34

¹Star Pro, ²Vegpro, ³All-G-Rich, ⁴Starsure (Amoxicilina y Norfloxacina), ⁵Milbond.

3.7 Análisis Químico Proximal

Se realizó el Análisis Químico Proximal de cada uno de los alimentos suministradas para determinar el contenido nutricional (Tabla 7). Dichos análisis se realizaron en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) de la UNALM.

Tabla 7: Análisis proximal porcentual de las dietas experimentales

FASES	NUTRIENTES (%)	TRATAMIENTOS	
		1 (0% Harina de algas)	2 (0.5% Harina de algas)
Fase I 7-28 días de edad	Humedad	7.56	7.27
	Proteína	23.11	21.32
	Grasa	1.44	1.72
	Ceniza	7.55	8.43
	Fibra Cruda	2.26	1.39
	ELN	58.08	59.87
Fase II 29-34 días de edad	Humedad	8.77	9.09
	Proteína	19.62	21.02
	Grasa	1.87	2.35
	Ceniza	6.47	6.11
	Fibra Cruda	2.52	1.43
	ELN	60.75	60.00
Fase III 35-53 días de edad	Humedad	10.48	10.67
	Proteína	20.52	19.63
	Grasa	3.98	4.34
	Ceniza	6.65	5.89
	Fibra Cruda	2.52	1.88
	ELN	55.85	57.59
Fase IV 54-70 días de edad	Humedad	11.71	12.31
	Proteína	20.67	19.53
	Grasa	3.08	2.34
	Ceniza	5.29	7.39
	Fibra Cruda	2.84	2.80
	ELN	56.41	55.63

3.8 Programa Sanitario

Todos los lechones evaluados fueron vacunados a los 7 días de edad contra *Mycoplasma hyopneumoniae* y contra el virus del Cólera Porcino Clásico a partir de los 45 días de edad con la vacuna comercial RespiSure One® y VACFAR-CP®, respectivamente.

El tratamiento de los disturbios gastroentéricos se hizo con antibióticos inyectables (Emicina y Enrofloxacina) y de suministro en el alimento (Bismu-far).

3.9 Parámetros evaluados

3.9.1 Peso vivo inicial y final

Se registró el peso inicial a las 24 horas de nacido y el peso final obtenido a los 70 días de edad de cada una de las repeticiones de los tratamientos evaluados.

3.9.2 Ganancia diaria de peso (GDP)

La ganancia diaria de peso fue estimada con la diferencia entre el peso final y el peso inicial de cada fase, dividido entre el número de días que comprendió cada fase.

3.9.3 Consumo diario de alimento (CDA)

El consumo diario de alimento se obtuvo por diferencia entre la cantidad del alimento suministrado y el residuo en el comedero al final de la semana. También se descontó el desperdicio diario de alimento debajo de las jaulas.

$$\text{CDA (g)} = \frac{\text{Peso de alimento suministrado} - \text{Residuo registrado}}{(\text{N}^\circ \text{ animales})(7\text{días})}$$

3.9.4 Conversión alimenticia (CA)

La conversión alimenticia se obtuvo dividiendo el consumo de alimento entre la ganancia de peso de la etapa evaluada.

$$\text{C.A} = \frac{\text{Consumo de alimento por fase}}{\text{Ganancia de peso por fase}}$$

De igual forma se calculó la conversión alimenticia total en la etapa de recría:

$$C.A = \frac{\text{Consumo de alimento total en la etapa de recría}}{\text{Ganancia de peso total en la etapa de recría}}$$

3.9.5 Incidencia de disturbios gastroentéricos

Se llevó el control de las incidencias de disturbios gastroentéricos en los lechones de cada tratamiento, anotando la fecha de inicio y duración de estos; para luego ser expresado en porcentaje respecto al total de animales por tratamiento.

3.9.6 Retribución económica del alimento (REA)

La retribución económica generada tras la prueba experimental de acuerdo a cada tratamiento está representada por la diferencia entre el ingreso bruto total, los costos del alimento balanceado, el producto utilizado y la cantidad de alimento consumido con dicho producto. Los valores monetarios están considerados en soles (S/.)

3.10 Morfometría Intestinal

Al final del período experimental se sometió a ayuno de 12 horas a todos los animales, para luego tomar al azar 4 animales por cada tratamiento, dentro de los que tenían un tamaño promedio y se encontraban en perfectas condiciones sanitarias.

Fueron sacrificados, desangrados, escaldados, depilados manualmente y eviscerados; se procedió con la separación del tracto digestivo y la localización del asa duodenal, para extraer la muestra. Se tomó un segmento de duodeno proximal de aproximadamente 4 cm de longitud por animal, sin realizar el corte longitudinal para mantener las vellosidades intactas, inmediatamente después fue sumergido en una solución de formol 10%, contenida en cada frasco adecuadamente identificado.

Las 8 muestras totales fueron remitidas al laboratorio de patología animal de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, para realizar la medición de altura de vellosidad y profundidad de cripta.

3.11 Análisis estadístico

3.11.1 Parámetros productivos

Se empleó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con dos tratamientos y cinco repeticiones, tomando como bloque cada semana de ingreso de los animales. El análisis de varianza de los datos obtenidos se realizó utilizando el software libre R.

El modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ijk} = u + T_i + B_j + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : Respuesta observada del lechón sometido al i -ésimo tratamiento

u : media experimental

T_i : efecto del i -ésimo nivel de sustitución

B_j : efecto del j -ésimo bloque

e_{ijk} : error experimental.

Se realizó el análisis de variancia para las características de peso inicial y final, consumo de alimento por fase y total, ganancia de peso por fase y total, conversión alimenticia por fase y total, disturbios gastroentéricos. Para la prueba de normalidad de errores, se empleó la prueba de Shapiro-Wilk, para la homogeneidad de varianzas la prueba de Levene.

3.11.2 Morfometría Intestinal

Se empleó el Diseño Completamente al Azar (DCA), con dos tratamientos y cuatro repeticiones. Cada animal muestreado se consideró una unidad experimental. El análisis de varianza de los datos obtenidos se realizó utilizando el software libre R.

El modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ijk} = u + T_i + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : Respuesta observada del lechón sometido al i -ésimo tratamiento

u : media experimental

T_i : efecto del i -ésimo nivel de sustitución

e_{ijk} : error experimental.

Se realizó el análisis de variancia para las características de altura de vellosidad (AV), profundidad de cripta (PC) y relación AV:PC. Para la prueba de normalidad de errores, se empleó la prueba de Shapiro-Wilk, para la homogeneidad de varianzas la prueba de Levene. La comparación de medias se hizo a través de la prueba de Tukey.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Peso vivo y Ganancia diaria de peso

Los resultados obtenidos al incluir harina de algas como fuente alternativa de ácidos grasos omega 3 desde la lactación hasta el final de la etapa de recria sobre el peso vivo, se presentan en la Tabla 8 y en los Anexos 1,2 y 3. No presentaron diferencia estadística significativa ($P>0.05$) entre tratamientos en ninguna de las fases ni durante todo el periodo de evaluación.

Dichos resultados concuerdan con Li et al. (2014), quienes no encontraron diferencia significativa en el peso vivo final al evaluar una dieta enriquecida con ácidos grasos poliinsaturados omega 3 por 28 días post-destete, y con lo encontrado por Lee et al. (2019) en un estudio donde evaluaron dos fuentes de ácidos grasos omega 3 (microalgas y aceite de pescado) en lechones destetados hasta el día 42 post destete, quienes tampoco hallaron diferencias significativas en el peso al final de cada fase y el peso final acumulado.

También concuerda con los resultados obtenidos al evaluar la inclusión de harina de alga *Aurantiochytrium limacinum* (AURA) como fuente de DHA en dietas de cerdos de 26 kg durante 121 días, y al resultado de Marriot et al. (2002) al evaluar la inclusión de harina de algas derivada de *Schizochytrium* sp. durante 38 días.

Respecto a la ganancia diaria de peso (GDP) no se observa diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) en ningún periodo de medición ni entre tratamientos lo que coincide con lo encontrado por Moran et al. (2018b) durante la evaluación de la inclusión de 1 por ciento de harina de alga *Aurantiochytrium limacinum* (AURA) como fuente directa de DHA en la etapa final de cerdos de acabado durante 28 días tampoco encontró diferencias significativas en la GDP. De igual manera, Eastwood et al. (2009) no hallaron diferencia significativa en la ganancia diaria de peso al usar harina de linaza, como fuente de ácidos grasos omega 3, en ninguna de las tres etapas en las que se incluyó.

Tabla 8: Efecto de la inclusión de 0.5% de harina de algas *Chlorella vulgaris* en dietas de lechones sobre su respuesta productiva hasta los 70 días.

Variables	Tratamiento		Probabilidad Pr(>F)
	1 (0% Harina de algas)	2 (0.5% Harina de algas)	
Peso inicial (Nac), kg	1.50	1.49	0.806
Peso final (70d), kg	26.95	26.86	0.518
GDP, g/d	421	411	0.301
CDA, g/d	686	704	0.308
C.A	1.68	1.77	0.115

También concuerda con el resultado obtenido por Sardi et al. (2006) se evaluó la inclusión de 0.25 por ciento y 5 por ciento de harina de algas derivada de *Schizochytrium* sp. en el alimento de cerdos de acabado de 118 kg, y con lo reportado por Fontanillas et al. (1997) al evaluar una dieta rica en ácidos grasos poliinsaturados omega 3 desde los 80 días de edad hasta el beneficio a los 90 kg de peso vivo.

Los resultados no coinciden con lo reportado por Samuel y Timmons (2013) quienes al incluir hasta 1 por ciento de Harina de algas obtuvieron mejoras significativas para la ganancia diaria de peso en lechones destetados hasta los 21 días postdestete.

4.2 Consumo de alimento

Los resultados del efecto de la inclusión de 0.5 por ciento de harina de alga *Chlorella vulgaris* sobre el consumo diario de alimentos obtenidos al final de la recría en el presente trabajo se presenta en la Tabla 8 y en el Anexo 4.

No se encontró diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) en el consumo diario de alimento entre tratamientos en ningún periodo de evaluación ni en toda la etapa de recría. Este resultado coincide con lo encontrado por Eastwood et al. (2009) quienes no hallaron diferencia estadística significativa en el consumo diario de alimento al incluir harina de linaza en el pienso de cerdos de 32 a 115 kg; y con lo reportado por Fontanillas et al. (1997) no encontró diferencia estadística significativa para el consumo diario de alimento en una dieta rica en ácidos grasos poliinsaturados omega 3 desde los 80 días de edad hasta el beneficio a los 90 kg de peso vivo.

Del mismo modo coincide con Moran et al. (2018a) quienes reportaron que la inclusión de harina de alga *Aurantiochytrium limacinum* (AURA) como fuente de DHA en dietas de cerdos de 26 kg durante 121 días, no tuvo diferencia significativa en el consumo de alimento de los animales; y en lo reportado por Lee et al. (2019) quienes evaluaron dos fuentes de ácidos grasos omega 3 (microalgas y aceite de pescado) en lechones destetados hasta el día 42 post destete, tampoco hallaron diferencias significativas en el consumo de alimento durante cada fase y el consumo acumulado. Por lo tanto, se asume que la palatabilidad no se ve afectada por la inclusión de harina de algas en la dieta de lechones.

Los resultados no coinciden en lo reportado por Samuel y Timmons (2013) quienes al incluir hasta 1 por ciento de Harina de algas obtuvieron mejoras significativas en el consumo diario de alimento de lechones destetados hasta los 21 días postdestete.

4.3 Conversión alimenticia

Los resultados obtenidos para la conversión alimenticia del presente estudio se muestran en la Tabla 8 y en el Anexo 4. No se encontró diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) en la conversión alimenticia entre tratamientos en ningún periodo de evaluación ni en toda la etapa de recría.

Esto concuerda con lo reportado por Li et al. (2014), quienes no encontraron diferencia significativa en la conversión alimenticia al evaluar una dieta enriquecida con ácidos grasos poliinsaturados omega 3 por 28 días post-destete, al igual que Moran et al. (2018b) quienes reportaron que la inclusión de harina de alga *Aurantiochytrium limacinum* (AURA) como fuente de DHA en dietas de cerdos de acabado durante 28 días no mejoró significativamente la conversión alimenticia, asimismo Marriot et al. (2002) y Sardi et al. (2006) realizaron una prueba donde evaluaron la inclusión de harina de algas derivada de *Schizochytrium* sp. sin encontrar diferencias significativas en la conversión alimenticia de los cerdos.

De igual manera en una investigación realizada por Liu et al. (2003) tampoco se encontraron diferencias significativas en la conversión alimenticia a los 27 días postdestete de lechones alimentados con aceite de pescado como fuente de ácidos grasos omega 3.

4.4 Disturbios gastroentéricos

Los resultados obtenidos para el índice de disturbios gastroentéricos del presente estudio se muestran en la Tabla 9 y en el Anexo 5. No se encontró diferencias estadísticas significativas

($P > 0.05$) para incidencia de disturbios gastroentéricos entre tratamientos en ningún periodo de evaluación. Esto no concuerda con lo encontrado con Shin et al. (2017) quienes obtuvieron diferencias significativas al suplementar con ácidos grasos omega 3 dietas de lechones destetados, observando que hubo menos incidencias de disturbios GE en los lechones que recibieron la dieta enriquecida con AGPI al compararlo con la dieta control (8% y 22.5%, respectivamente).

4.5 Retribución económica

La retribución económica del alimento (REA) de las dietas empleadas en la evaluación, se muestran en la Tabla 11. Para su determinación, los costos de alimentación y el costo por kilogramo ganado fueron obtenidos a partir del precio de los ingredientes durante el mes de Diciembre del 2019 y el precio de venta establecido por la UEC, respectivamente. El beneficio por animal para cada uno de los tratamientos evaluados se obtuvo a partir de la diferencia del ingreso bruto por cerdo menos el costo total por cerdo. El alimento con inclusión de harina de algas obtuvo una relación económica menor que el control siendo esta 98.97 por ciento.

Tabla 9. Efecto de la inclusión de 0.5% de harina de algas *Chlorella vulgaris* sobre la incidencia de disturbios gastroentéricos durante la etapa de lactación y recría.

Variables	Tratamiento		
	1 (0% de Harina de algas)	2 (0.5% de Harina de algas)	Probabilidad Pr(>F)
Lactación	10.30	12.52	0.374
Fase 1 (21 – 28 días)	11.11	13.32	0.374
Fase 2 (29 – 34 días)	6.66	6.66	0.952
Fase 3 (35 – 53 días)	46.01	51.64	0.3321
Fase 4 (54 – 70 días)	0.00	0.00	

Tabla 10: Efecto de la inclusión de 0.5% de harina de algas *Chlorella vulgaris* sobre la retribución económica del alimento durante la etapa de recría.

Rubro	Tratamiento	
	T1 (0% de Harina de algas)	T2 (0.5% de Harina de algas)
Ingresos (I)		
Ganancia de peso total (kg.)	25.45	25.36
Precio/Kg PV (S/.)	18	18
Ingreso Bruto Animal (S/.)	458.17	456.55
Egresos (E)		
Consumo de alimento (Kg/Lechón)		
Fase I	1.13	1.141
Fase II	1.86	1.926
Fase III	14.47	14.81
Fase IV	16.17	16.65
Costo/Kg alimento		
Fase I	4.23	4.25
Fase II	2.89	2.92
Fase III	1.47	1.48
Fase IV	1.76	1.8
Costo de alimento (S/./Lechón)		
Fase I	4.78	4.85
Fase II	5.38	5.62
Fase III	21.27	21.92
Fase IV	28.46	29.97
Costo total de alimento por lechón (S/.)	59.89	62.36
Ingreso - Egreso	398.27	394.19
Relación Económica (%)	100	98.97

4.6 Morfometría de vellosidades intestinales

Los resultados morfológicos obtenidos a partir de la lectura histológica (altura de vellosidad, profundidad de cripta y la relación vellosidad:cripta) de la porción proximal del duodeno de lechones de 70 días de edad para los lechones de ambos tratamientos se muestran en la Tabla 11 y en los Anexos 6, 7 y 8.

Según los resultados de las medidas estudiadas del duodeno, se encontró diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos, observándose que los lechones que recibieron el alimento sin inclusión de harina de algas (T1) tuvieron una mayor altura de vellosidad que los que fueron suplementados con dicho insumo. En el caso de la profundidad de cripta y la relación AV:PC no se encontró diferencia estadística significativa. Esto concuerda con lo encontrado por Huber et al. (2018) quienes al suplementar dietas de lechones destetados con aceite de pescado como fuente de ácidos grasos ω -3 observaron mayor altura de vellosidad intestinal en lechones que recibieron dietas sin adición de aceite de pescado, pero no coincide con lo reportado por Shin et al. (2017) quienes no encontraron diferencias significativas en altura de vellosidad y en lo reportado por Liu et al. (2012) quienes observaron mayor altura de vellosidad en el yeyuno e íleon de lechones que fueron alimentados con dietas suplementadas con aceite de pescado.

Respecto a profundidad de cripta no se encontró diferencia estadística significativa entre tratamientos, pero se observan menores valores en los lechones que recibieron harina de algas, lo cual concuerda con lo encontrado con Huber et al. (2018) quienes, al suplementar dietas con aceite de pescado, obtuvieron valores inferiores con respecto a la dieta control y por Liu et al. (2012) quienes observaron criptas menos profundas en el íleon de lechones alimentados con dietas ricas en ácidos grasos ω -3. Estos resultados no coinciden con lo reportado por Shin et al. (2017) quienes al evaluar dietas de lechones destetados hasta los 14 días hallaron valores superiores para las dietas suplementadas con ácidos grasos ω -3.

Tabla 11: Efecto de la inclusión de 0.5% de harina de algas *Chlorella vulgaris* en dietas de lechones sobre su morfometría intestinal del duodeno.

Variables	Tratamientos*		Probabilidad Pr(>F)
	1 (0% de Harina de algas)	2 (0.5% de Harina de algas)	
Altura de Vellosidad, μm	600.26	520.05	0.0004
Profundidad de Cripta, μm	546.47	529.29	0.271
Relación AV:PC	1.15	1.05	0.0694

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones experimentales en que se llevó a cabo el presente estudio se concluye:

1. La inclusión de 0.5 por ciento de harina de algas *Chlorella vulgaris* no tuvo influencia significativa ($P>0.05$) sobre el peso vivo, ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, disturbios gastroentéricos, profundidad de cripta ni relación AV:PC durante las etapas evaluadas.
2. La morfometría intestinal a nivel de duodeno de lechones de 70 días de edad, presento diferencia estadística significativa ($P<0.05$) para la altura de vellosidad.
3. La retribución económica del alimento fue menor en un 1.03 por ciento para el alimento que contenía harina de algas *Chlorella vulgaris*.

VI. RECOMENDACIONES

En base a los resultados y conclusiones establecidas en esta investigación se recomienda:

1. Realizar investigaciones en las que se evalúe los niveles séricos de citoquinas proinflamatorias en cerdos alimentados con dietas que incluyan harina de algas.
2. Realizar estudios donde la harina de algas sea incluida hasta las etapas de crecimiento y acabado.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, T., Donzele, J. & Saraiva, A. (2010). Glutamina, nucleotídeos e plasma suíno em rações para leitões desmamados. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(3):520-525.
- Ackman, R. (1964). Structural homogeneity in unsaturated fatty acids of marine lipids. A review. *J. Fish. Res. Board Can.* 21, 247-254.
- Adamakis, I., Lazaridis, P., Terzopoulou, E., Torofias, S., Valari, M., Kalaitzi, P., Rousonikolos, V., Gkoutzikostas, D., Zouboulis, A., Zalidis, G. & Triantafyllidis, K. (2018). Cultivation, characterization, and properties of *Chlorella vulgaris* microalgae with different lipid contents and effect on fast pyrolysis oil composition. *Environ Sci Pollut Res.*
- Adarme-Vega C., Lim D., Timmins M., Vernen F., Li Y. & Schenk P. (2012). Microalgal biofactories: a promising approach towards sustainable omega-3 fatty acid production. *Microb Cell Fact.* 11(1):96.
- Alle, G. & Touchette, K. (1999). Efectos de la nutrición sobre la salud intestinal y el crecimiento de lechones. Avances en nutrición y alimentación animal. XV curso de especialización FEDNA.
- Bagga, D., Wang, L., Farias-Eisner, R., Glaspy, J. & Reddy, S. (2003). Differential effects of prostaglandin derived from omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids on Cox-2 expression and IL-6 secretion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(4):1751-1756.
- Barszcz, M. & Skomial, J. (2011). The development of the small intestine of piglets - chosen aspects. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 20(1):3–15.
- Becker, E. (1994). Microalgae: biotechnology and microbiology (Vol. 10). Baddiley, J. et al. (Ed.) Cambridge Univ. Press, Cambridge, New York.

- Belarbi, E., Molina, E. & Chisti, Y. (2000). A process for high yield and scaleable recovery of high purity eicosapentaenoic acid esters from microalgae and fish oil. *Enzyme Microb. Technol.* 26, 516–529.
- Bryhnia, E.A.; Kjosb, N. A.; Ofstadc, R. & Hun, M. (2002). Polyunsaturated fat and fish oil in diets for growing-finishing pigs: effects on fatty acid composition and meat, fat, and sausage quality. *Meat Science* 62, 1–8.
- Calder, P. C. (2002). Dietary modification of inflammation with lipids. *Proceedings of the Nutrition Society*, 61(3):345-358.
- Calder, P. C. (2007). Immunomodulation by omega-3 fatty acids. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids* 77 (2007):327–335.
- Calder, P. C. (2012). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and inflammatory processes: nutrition or pharmacology?. *British Journal of Clinical Pharmacology*. 75(3): 645–662.
- Campbell, J., Crenshaw, J. & Polo, J. (2013). The biological stress of early weaned piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 4(1):1-4.
- Castro, L., Tocher, D. & Monroig, O. (2016). Long-chain polyunsaturated fatty acid biosynthesis in chordates. Insights into the evolution of Fads and Elovl gene repertoire. *Progress in Lipid Research* 62, 25-40.
- Castro, M. I. (2002). Ácidos grasos omega 3: beneficios y fuentes. *Interciencia*, 27(3):128-136.
- Cera, K., Mahan, D., Cross, R., Reinhart, G., y Whitmoyer, R. (1987). Effect of age, weaning and postweaning diet on small intestinal growth and jejunal morphology in young swine. *J. Anim. Sci.*, 66, 574-584.
- Connor, W. E. (1999). α -Linolenic acid in health and disease. *Am J Clin Nutr.* 69(5):827-828.
- Cummins, A., Thompson, F. & Mayrhofer, G. (1991). Mucosal immune activation and maturation of the small intestine at weaning in the hypothyroid (nude) rat. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 12, 361–368.

- Daliry, S., Hallajisani, A., Mohammadi, J., Nouri, M. & Golzary, A. (2017). Investigation of optimal condition for *Chlorella vulgaris* microalgae growth. *Global J. Environ. Sci. Manage.*, 3(2).
- Das, N. (2006). Essential fatty acids: Biochemistry, physiology and pathology. *Biotechnol J*, 1, 420-439.
- Dong, G. & Pluske, J. (2007). The Low Feed Intake in Newly-weaned Pigs: Problems and Possible Solutions. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 20 (3):440 – 452.
- Eastwood, L., Kish, P., Beaulieu, A. & Leterme, P. (2009). Nutritional value of flaxseed meal for swine and its effects on the fatty acid profile of the carcass. *J Anim Sci*, 87, 3607-3619.
- FAO (Food and Agriculture Organization, IT). (2008). Grasas y ácidos grasos en nutrición humana. Consulta de expertos. 91. Estudio FAO. Alimentación y Nutrición. 10 - 14 Noviembre de 2008. Ginebra. Publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Fundación Iberoamericana de Nutrición (FINUT) Granada, España, 2012.
- Fontanillas, R., Barroeta, A., Baucells, M. & Codony, R. (1997). Effect of Feeding Highly Cis-Monounsaturated, Trans, or n-3 Fats on Lipid Composition of Muscle and Adipose Tissue of Pigs. *J. Agric. Food Chem.* 45, 3070-3075.
- Gómez, A., Vergara, D. & Argote, F. (2008). Efecto de la dieta y edad del destete sobre la fisiología digestiva del lechón. *Facultad de ciencias agropecuarias* 6 (1):32-41.
- Guevara, J. (2009). Enriquecimiento de la carne de cuy con ácidos grasos omega- 3 mediante la suplementación de las dietas con aceite de pescado y semillas de sacha inchi. Tesis PhD. Universidad Nacional Agraria La Molina. 77p.
- Guevara, J. (2015). Contenido de minerales y ácidos grasos omega-3 en huevos de gallinas ponedoras, alimentadas con harina de algas (*Ulva* spp.). Tesis Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria La Molina. 209p.
- Hinzpeter, I., Shene, C. & Masson, L. (2006). Alternativas biotecnológicas para la producción de ácidos grasos poliinsaturados omega-3. *Grasas y aceites.* 57(3):336-342

- Huber, L., Hooda, S., Fisher-Heffernan, R., Karrow, N. & De Lange, N. (2018). Effect of reducing the ratio of omega-6-to-omega-3 fatty acids in diets of low protein quality on nursery pig growth performance and immune response. Department of Animal Biosciences, University of Guelph, Guelph.
- Janczyk, P., Langhammer, M., Renne, U., Guiard, V. & Souffrant, W. B. (2006). Effect of feed supplementation with *Chlorella vulgaris* powder on mice reproduction. *Archiva Zootechnica* 9, 122–134.
- Jayaraman, B. & Nyachoti, C. (2017). Husbandry practices and gut health outcomes in weaned piglets: A review, *Animal Nutrition Journal* doi: 10.1016/j.aninu.2017.06.002.
- Khozin-Goldberg, I. (2016). Lipid Metabolism in Microalgae. The Physiology of Microalgae, *Developments in Applied Phycology* 6, DOI 10.1007/978-3-319-24945-2_18.
- Kjos, N., Skrede, A. & Overland, M. (1999). Effects of dietary fish silage and fish fat on growth performance and sensory quality of growing-finishing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 79, 139–147.
- Kouba, M., Enser, M., Whittington, F., Nute, G. & Wood, J. (2003). Effect of a high-linolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pig. *J. Anim. Sci.* 2003. 81, 1967–1979.
- Koyande, A., Chew, K., Rambabu, K., Tao, Y., Chu, D-T. & Show, P. L. (2019). Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. *Food Science and Human Wellness* 8, 16–24
- Lallès, J. P., Bosi, P., Smidt, H. & Stokes, C. R. (2007). Nutritional management of gut health in pigs around weaning. *Proceedings of the Nutrition Society*, 66(2):260–268.
- Lallès, J. P., Boudry, G., Favier, C., Le Floc'H, N., Luron, I., Montagne, L., Oswald, I., Pié, S., Piel, C. & Sève, B. (2004). Gut function and dysfunction in young pigs: physiology. *Anim Res*, 53, 301–316.

- Lee, S., Whenham, N. & Bedford, M. (2019). Review on docosahexaenoic acid in poultry and swine nutrition: Consequence of enriched animal products on performance and health characteristics. *Animal Nutrition* 5, 11-21.
- Leskanich, C., Matthews, K., Warkup, C., Noble, R. & Hazzledine, M. (1997). The Effect of Dietary Oil Containing (n-3) Fatty Acids on the Fatty Acid, Physicochemical, and Organoleptic Characteristics of Pig Meat and Fat. *J. Anim. Sci.* 75, 673–683.
- Li, Q., Brendemuhl, J., Jeong, K. & Badinga, L. (2014). Effects of dietary omega-3 polyunsaturated fatty acids on growth and immune response of weanling pigs. *Journal of Animal Science and Technology*, 56(1):7.
- Li, Q. (2014). Effect of supplementing an omega-3 fatty acid-containing product to pig diets on growth and immune responses of weanling pigs (Master Thesis). University of Florida, Florida.
- Liu, Y., Chen, F., Odle, J., Lin, X., Jacobi, S., Zhu, H., Wu, Z. & Hou, Y. (2012). Fish Oil Enhances Intestinal Integrity and Inhibits TLR4 and NOD2 Signaling Pathways in Weaned Pigs after LPS Challenge. *J. Nutr.* 142:2017–2024.
- Liu, Y., Ipharraguerre, I. & Pettigrew, J. (2015). DIGESTIVE PHYSIOLOGY OF THE PIG SYMPOSIUM: Potential applications of knowledge of gut chemosensing in pig production. *J. Anim. Sci.* 91:1982–1990.
- Marriott, N., Garrett, J., Sims, M. & Abril, J. (2002). Performance characteristics and fatty acid composition of pigs fed a diet with docosahexaenoic acid. *Journal of Muscle Foods* 13 (2002):265-277.
- Mata, T., Martins, A. & Caetano, N. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14:217–232.
- Mateu, E. (2005). Inmunidad digestiva del lechón lactante y destetado. Recuperado de https://www.3tres3.com/diarreas/inmunidad-digestiva-del-lechon-lactante-y-destetado_1305.

- McCracken, B., Spurlock, M., Roos, M., Zuckermann, F. & Rex Gaskins, H. R. (1999). Weaning Anorexia May Contribute to Local Inflammation in the Piglet Small Intestine. *J.Anim.Nut*, 129:613–619.
- Missotten, J., De Smet, S., Raes, K. & Doran, O. (2009). Effect of supplementation of the maternal diet with fishoil or linseed oil on fatty acid composition and expression of D5- and D6- desaturase in tissues of piglets. *Animal*, 3:1196–1204. <https://doi.org/10.1017/S1751731109004455>.
- Moran, C. A., Morlacchini, M., Keegan, J. D., Delles, R. & Fusconi, G. (2018). Effects of a DHA- rich unextracted microalgae as a dietary supplement on performance, carcass traits and meat fatty acid profile in growing- finishing pigs. *J Anim Physiol Anim Nutr*. 102:1026–1038.
- Moran, C. A., Morlacchini, M., Keegan, J. D. & Fusconi, G. (2018). Dietary supplementation of finishing pigs with the docosahexaenoic acid-rich microalgae, *Aurantiochytrium limacinum*: effects on performance, carcass characteristics and tissue fatty acid profile. *Asian-Australas J Anim Sci*, 31(5):712-720.
- Mormede, P. & Hay, M. (2003). Behavioural changes and adaptations associated with weaning. En J. R. Pluske; J. Le Dividich; M. W. A. Verstegen (Ed.), *Weaning the Pig: Concepts and Consequences*, 53-58.
- Ohlrogge, J. & Browse, J. (1995). Lipid Biosynthesis. *The Plant Cell*, Special Review Issue on Plant Biochemistry, 7(7): 957-970.
- Pié, S., Lallés, J.P., Blazy, F., Laffitte, J., Seve, B & Oswald, I. P. (2004). Weaning Is Associated with an Upregulation of Expression of Inflammatory Cytokines in the Intestine of Piglets. *J.Anim.Nut*. 134:641–647.
- Piñeiro-Corrales, G., Lago Rivero, N. & Culebras-Fernández, J. (2013). Papel de los ácidos grasos omega-3 en la prevención de enfermedades cardiovasculares. *Nutr Hosp*. 28(1):1-5.
- Pluske, J. R., Williams, I. H. & Aherne, F. X. (1996). Villous height and crypt depth in piglets in response to increases in the intake of cow's milk after weaning. *J.Anim.Sci*. 62:145–158.

- Pluske, J. R., Hampson, D.J. & Williams, I. H. (1997). Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. *Livestock Production Science*, 51:215-236.
- Quiles, A. & Hevia, M. L. (2011). Papel de los ácidos grasos Omega 3 en la alimentación del cerdo. *Cría y Salud*, 36:56-62.
- Reis de Souza, T. C., Mariscal, G., Escobar, K., Aguilera, A. & Barrón, A. M. (2012). Cambios nutrimentales en el lechón y desarrollo morfofisiológico de su aparato digestivo. *Vet. Méx.*, 43(2):155-173.
- Reis de Souza, T., Mariscal Landín, G. & Escobar K. (2010). Algunos factores fisiológicos y nutricionales que afectan la incidencia de diarreas posdestete en lechones. *Vet. Méx.*, 41 (4).
- Rhodes, C. J. (2009). Oil from algae; salvation from peak oil? *Science Progress*. 92 (1): 39-90.
- Rodríguez Ramos, P., Sánchez Miranda, Y., Zumalacárregui de Cárdenas, L., Pérez Onesc, O., Hernández Milánd, A., Echeveste de Miguele, P. & Lombardie, A. (2015). Obtención de biomasa de microalga *Chlorella vulgaris* en un banco de prueba de fotobiorreactores de columna de burbujeo. *AFINIDAD LXXIII*, 574, Abril - Junio 2016.
- Samuel, R. B., James, B. W. & Timmons, R. A. (2015), December 02, Docosahexaenoic acid (DHA) algal supplement for newly weaned pigs. Conference: 2014 Midwest ASAS.
- Sardi, L., Martelli, G., Lambertini, L., Parisini, P. & Mordenti, A. (2006). Effects of a dietary supplement of DHA-rich marine algae on Italian heavy pig production parameters. *Livestock science* 103:95-103.
- Satomi, M., Oikawa, H. & Yano, Y. (2003). *Shewanella marinintestina* sp. nov., *Shewanella schlegeliana* sp. nov. and *Shewanella sairae* sp. nov., novel eicosapentaenoic-acid-producing marine bacteria isolated from sea-animal intestines. *Int J Syst Evol Microbiol*. 53:491–499.
- Shin, T., Yib, Y., Kim, J., Pluske, J., Cho, H., Wickramasuriya, S., Kim, E., Lee, S. & Heo, J. (2017). Reducing the dietary omega-6 to omega-3 polyunsaturated fatty acid

ratio attenuated inflammatory indices and sustained epithelial tight junction integrity in weaner pigs housed in a poor sanitation condition. *Animal Feed Science and Technology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.04.022>.

- Simopoulos, A. (2002). Omega-3 Fatty Acids in Inflammation and Autoimmune Diseases, *Journal of the American College of Nutrition*, 21(6):495-505.
- Sprecher, H., Luthria, D.L., Mohammed, B. S. & Baykousheva, S. P. (1995). Reevaluation of the pathways for the biosynthesis of polyunsaturated fatty acids. *J Lipid Res.* 36:2471-2477.
- Spreuwenberg, M., Verdonk, J., Gaskins & H., Verstege, M. (2001). Small Intestine Epithelial Barrier Function Is Compromised in Pigs with Low Feed Intake at Weaning. *J. Nutr.* 131:1520–1527.
- Stokes, C., Bailey, M., Haverson, K., Harris, C. & Jones, P. (2004). Postnatal development of intestinal immune system in piglets: implications for the process of weaning. *Animal Research, EDP Sciences*, 53 (4):325-334.
- Szymczyk, B., Pisulewski, B., Szczurek, W. & Hanczakowski, P. (2000). Effects of conjugated linoleic acid on growth performance, feed conversion efficiency, and subsequent carcass quality in broiler chickens. *British Journal of Nutrition*. 85:465-473.
- Tai, C. & Ding, S. (2010). “N-3 polyunsaturated fatty acids regulate lipid metabolism through several inflammation mediators: mechanisms and implications for obesity prevention”. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 21(5):357–363.
- Vega, M. A. (1994). Sistema immune intestinal porcino. *Ciencia veterinaria*. 6:145-172.
- Vossen, E., Raes, K., Van Mullem, D. & De Smet, S. (2016). Production of docosahexaenoic acid (DHA) enriched loin and dry cured ham from pigs fed algae: nutritional and sensory quality. *European Journal of Lipid Science and Technology*. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600144>
- Wang, Y. & Huang, F. (2015). N-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Inflammation in Obesity: Local Effect and Systemic Benefit (Review). *BioMed Research International*; Volume 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/581469>.

- Ward, O. & Singh, A. (2005). Omega-3/6 fatty acids: Alternative sources of production. *Process Biochemistry*, 40:3627-3652.
- Wen, Z. (2001). A high yield and productivity strategy for eicosapentaenoic acid production by the diatom *Nitzschia laevis* in heterotrophic culture. Tesis PhD. University of Hong Kong. 220p.
- Whelan, J. & Rust, C. (2006). Innovative dietary sources of n-3 fatty acids. *Annu. Rev. Nutr.* 26:75–103.
- Williams N. H., Stahly T.S. & Zimmerman D. R. (1997). Effect of chronic immune system activation on rate, efficiency, and composition of growth and lysine needs of pigs fed from 6 to 27 kg. *J. Anim. Sci.* 75:2463–2471.
- Woo Kim, S., Mateo, R., Yin, Y. & Wu, G. (2007). Functional Amino Acids and Fatty Acids for Enhancing Production Performance of Sows and Piglets. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 20(2):295 – 306.
- Xu, R. J., Wang, F., Zhang, S. H. (2000). Postnatal adaptation of the gastrointestinal tract in neonatal pigs: a possible role of milk-borne growth factors. *Livestock Production Science*, 66:95–107.
- Yap, C. E. & Chen, F. (2001). Polyunsaturated fatty acids: biological significance, biosynthesis, and production by microalgae and microalgae-like organisms. *Algae and their Biotechnological Potential*, 1- 32.
- Yongmanitchai, W., Ward, O. P. (1989). Omega-3 fatty acids: alternative sources of production. *Process Biochem*, 24:117-125.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Efecto de la inclusión de 0.5% de harina de algas *Chlorella vulgaris* en dietas de lechones sobre su respuesta productiva hasta los 70 días de edad.

Variables	Tratamiento		Probabilidad Pr(>F)
	1 (0% Harina de algas)	2 (0.5% Harina de algas)	
Peso Inicial, kg	1.49 ^a	1.50 ^a	0.805
Peso a los 21d, kg	6.30 ^a	6.49 ^a	0.309
Peso a los 28d, kg	7.10 ^a	7.15 ^a	0.544
Peso a los 34d, kg	8.36 ^a	8.37 ^a	0.901
Peso a los 53d, kg	17.5 ^a	17.91 ^a	0.682
Peso Final (70d), kg	26.95 ^a	26.86 ^a	0.518
GDP, g/d			
Lactación	242 ^a	252 ^a	0.156
Fase 1 (21 – 28 días)	111 ^a	98 ^a	0.193
Fase 2 (29 – 34 días)	210 ^a	200 ^a	0.372
Fase 3 (35 – 53 días)	478 ^a	466 ^a	0.403
Fase 4 (54 – 70 días)	552 ^a	560 ^a	0.699
Acumulado (21-70d)	421 ^a	411 ^a	0.301
CDA, g/d			
Lactación	73 ^a	88 ^a	0.064
Fase 1 (21 – 28 días)	161 ^a	163 ^a	0.866
Fase 2 (29 – 34 días)	310 ^a	321 ^a	0.271
Fase 3 (35 – 53 días)	689 ^a	705 ^a	0.412
Fase 4 (54 – 70 días)	1078 ^a	1111 ^a	0.527
Acumulado (21-70d)	686 ^a	704 ^a	0.308
C.A			
Fase 1 (21 – 28 días)	1.47 ^a	1.73 ^a	0.257
Fase 2 (29 – 34 días)	1.52 ^a	1.62 ^a	0.598
Fase 3 (35 – 53 días)	1.45 ^a	1.51 ^a	0.151
Fase 4 (54 – 70 días)	1.96 ^a	1.99 ^a	0.557
Acumulado (21-70d)	1.68 ^a	1.77 ^a	0.115

a,b letras iguales en una misma fila indican que no existen diferencias significativas entre los tratamientos ($\alpha=0.05$) a la prueba de Tukey.

Anexo 2: Registro de los pesos vivos (Kg/cerdo) de los tratamientos y sus respectivas repeticiones.

Tratamiento	Repetición	Peso Vivo				
		21 días	28 días	34 días	53 días	70 días
1	1	6.8	7.44	8.67	20.38	29.71
	2	6.6	7.29	8.87	18.83	28.36
	3	6	6.91	8.21	17.82	26.8
	4	6.3	7.09	8.01	16.23	24.42
	5	5.8	6.76	8.02	14.24	25.48
	Promedio	6.30	7.10	8.36	17.5	26.95
	CV, %	15.02	14.12	12.43	15.95	14.32
2	1	6.2	6.99	8.2	18.71	29.37
	2	6.7	6.83	7.95	16.78	26.34
	3	6.7	8.38	9.69	19.88	29.11
	4	6.4	7.11	8.47	17.36	25.58
	5	6.48	6.46	7.53	16.82	23.87
	Promedio	6.49	7.15	8.37	17.91	26.86
	CV, %	15.84	14.63	14.61	15.42	14.56

*T1: Dieta sin inclusión de harina de algas; T2: Dieta con inclusión de 5 kg de harina de algas por tonelada métrica.

Anexo 3: Registro de la Ganancia diaria de peso (kg/lechón/día) de los tratamientos y sus respectivas repeticiones.

Tratamiento	Repetición	Ganancia diaria de peso					
		Lactación	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Acumulado
1	1	0.30	0.10	0.21	0.58	0.58	0.47
	2	0.25	0.09	0.26	0.50	0.60	0.44
	3	0.23	0.13	0.22	0.48	0.56	0.42
	4	0.25	0.10	0.15	0.41	0.51	0.37
	5	0.23	0.14	0.21	0.42	0.51	0.40
	Promedio	0.24	0.11	0.21	0.48	0.55	0.42
	CV, %	16.01	5.7	44.28	22.12	14.60	15.98
2	1	0.24	0.12	0.20	0.53	0.67	0.47
	2	0.25	0.06	0.18	0.43	0.60	0.40
	3	0.30	0.10	0.22	0.51	0.58	0.44
	4	0.24	0.12	0.23	0.44	0.51	0.39
	5	0.23	0.09	0.17	0.42	0.44	0.35
	Promedio	0.25	0.10	0.20	0.47	0.56	0.41
	CV, %	17.88	4.68	31.65	20.70	21.48	15.93

*T1: Dieta sin inclusión de harina de algas; T2: Dieta con inclusión de 5 kg de harina de algas por tonelada métrica.

Anexo 4: Registro del Consumo diario de Alimento (kg/lechón/día) de los tratamientos y sus respectivas repeticiones.

Tratamiento	Repetición	Consumo diario de alimento					
		Lactación	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Acumulado
1	1	0.072	0.175	0.300	0.747	1.180	0.753
	2	0.045	0.129	0.312	0.724	1.039	0.691
	3	0.104	0.166	0.322	0.765	1.180	0.760
	4	0.061	0.156	0.302	0.608	0.910	0.624
	5	0.081	0.179	0.312	0.601	1.080	0.708
	Promedio	0.073	0.161	0.310	0.689	1.078	0.686
	CV, %	30.43	12.39	2.86	11.39	10.43	7.73
2	1	0.089	0.184	0.331	0.776	1.283	0.803
	2	0.052	0.135	0.306	0.673	1.135	0.726
	3	0.108	0.164	0.331	0.806	1.200	0.787
	4	0.098	0.175	0.337	0.653	1.006	0.662
	5	0.094	0.157	0.302	0.617	0.931	0.660
	Promedio	0.09	0.16	0.321	0.705	1.111	0.704
	CV, %	24.26	10.90	5.01	11.59	12.84	9.23

*T1: Dieta sin inclusión de harina de algas; T2: Dieta con inclusión de 5 kg de harina de algas por tonelada métrica.

Anexo 5: Registro de la Conversión alimenticia de los tratamientos y sus respectivas repeticiones.

Tratamiento	Repeticón	Conversión Alimenticia				
		Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Acumulada
1	1.00	1.80	1.43	1.29	2.03	1.61
	2.00	1.43	1.20	1.45	1.73	1.56
	3.00	1.28	1.46	1.59	2.11	1.79
	4.00	1.56	2.01	1.48	1.78	1.69
	5.00	1.28	1.49	1.43	2.12	1.76
	Promedio	1.47	1.52	1.45	1.96	1.68
	CV, %	14.83	29.93	7.59	9.39	5.87
2	1.00	1.54	1.66	1.46	1.91	1.70
	2.00	2.25	1.70	1.57	1.89	1.81
	3.00	1.64	1.50	1.58	2.07	1.80
	4.00	1.46	1.47	1.48	1.97	1.69
	5.00	1.74	1.78	1.47	2.12	1.86
	Promedio	1.73	1.62	1.51	1.99	1.77
	CV, %	18.05	13.17	3.68	4.8	4.22

*T1: Dieta sin inclusión de harina de algas; T2: Dieta con inclusión de 5 kg de harina de algas por tonelada métrica.

Anexo 6: Registro de la Incidencia de Disturbios Gastroentéricos (%) de los tratamientos y sus respectivas repeticiones.

Tratamiento	Repetición	Incidencia de Disturbios gastroentéricos				
		Lactación	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
1	1	18.2	0.0	0.0	54.5	0.0
	2	0.0	0.0	0.0	27.3	0.0
	3	0.0	0.0	0.0	40.0	0.0
	4	33.3	55.6	33.3	66.7	0.0
	5	0.0	0.0	0.0	41.6	0.0
	Promedio	10.3	11.1	6.7	46.0	0.0
2	1	18.2	0.0	0.0	72.7	0.0
	2	0.0	0.0	0.0	40.0	0.0
	3	0.0	0.0	0.0	40.0	0.0
	4	44.4	66.6	33.3	55.5	0.0
	5	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0
	Promedio	12.5	13.3	6.7	51.6	0.0

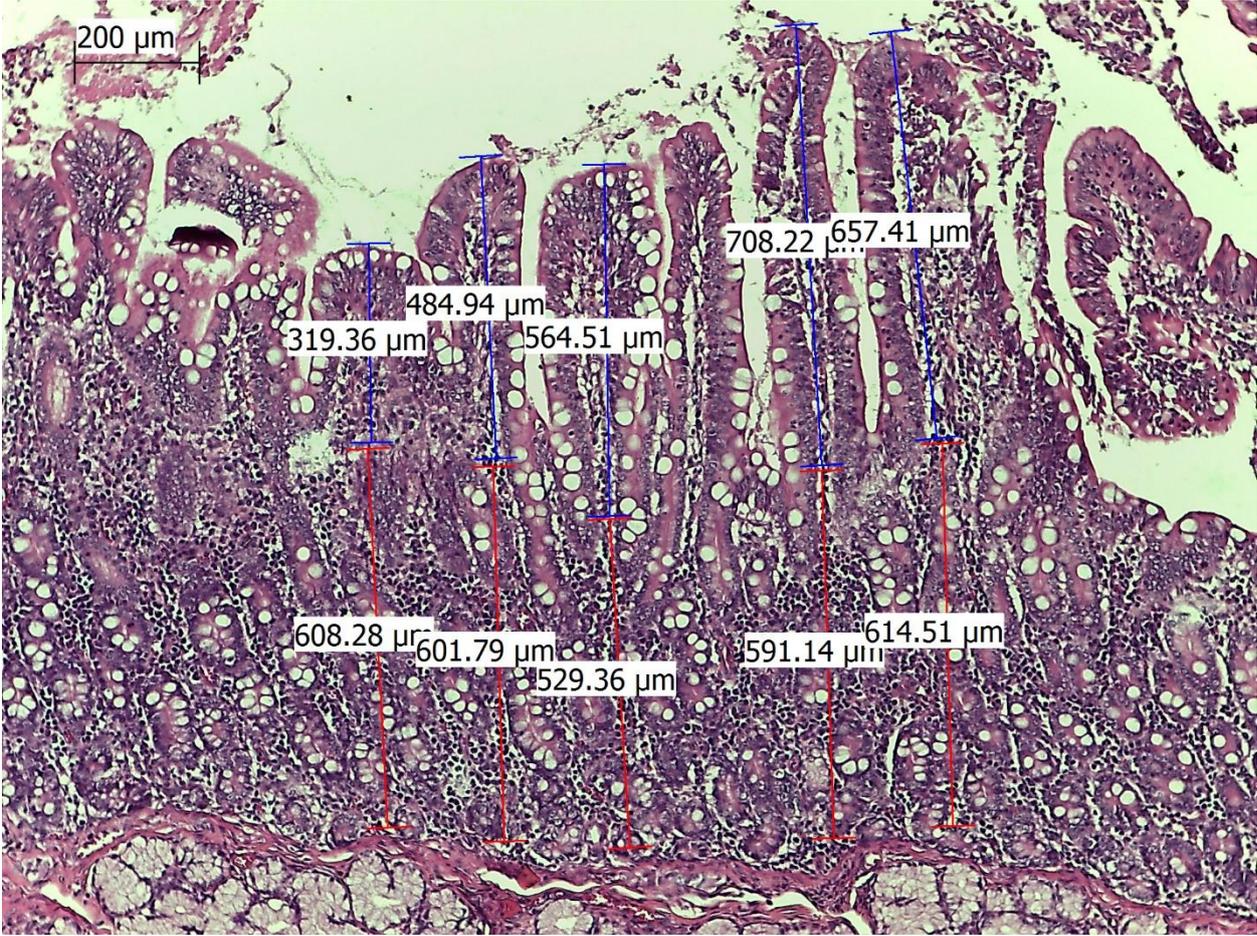
*T1: Dieta sin inclusión de harina de algas; T2: Dieta con inclusión de 5 kg de harina de algas por tonelada métrica.

Anexo 7: Registro de la Altura de Vellosidad, Profundidad de Cripta y Relación AV:CP por cada tratamiento y sus respectivas repeticiones.

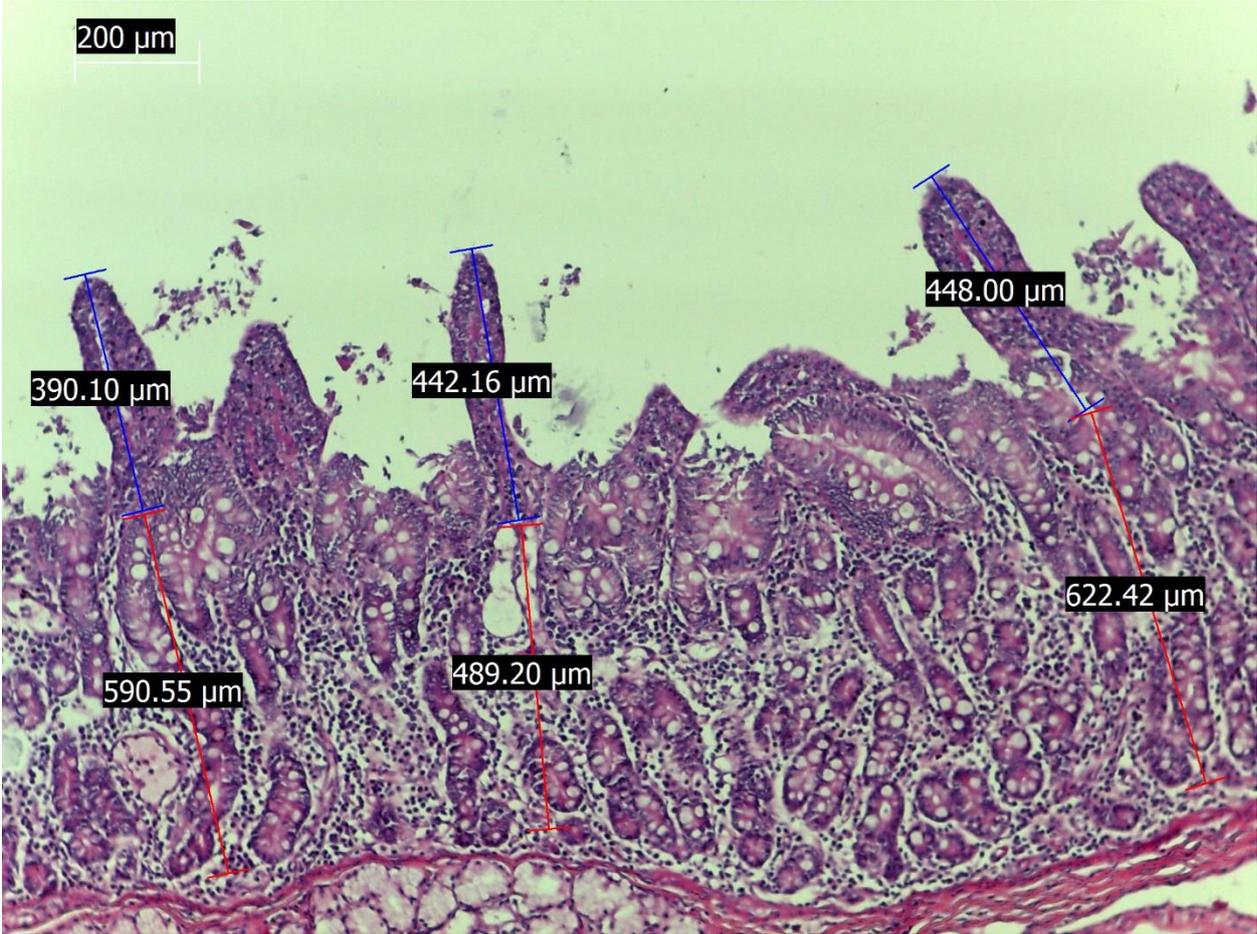
Tratamiento	Repetición	Altura de Vellosidad	Profundidad de Cripta	Relación AV:CP
1	R1	622.18	509.18	1.30
	R2	554.99	570.93	0.99
	R3	445.00	541.36	0.83
	R4	780.36	561.47	1.48
	Promedio	600.26	546.47	1.15
2	R1	538.46	613.90	0.90
	R2	548.59	479.90	1.18
	R3	448.23	520.73	0.87
	R4	537.12	509.30	1.14
	Promedio	520.05	529.29	1.03

*T1: Dieta sin inclusión de harina de algas; T2: Dieta con inclusión de 5 kg de harina de algas por tonelada métrica.

Anexo 8: Imagen histológica correspondiente a cerdos que recibieron la dieta sin inclusión de Harina de Algas.



Anexo 9: Imagen histológica correspondiente a cerdos que recibieron la dieta con inclusión de 5% de Harina de Algas.



Anexo 10: Perfil nutricional de la Harina de Algas (Chlorella vulgaris)

ALLTECH SP1
Typical Nutrient Analysis

Nutritional Profile

The following nutritional values represent the mean of several batches and though not constituting a part of the product guaranteed analysis, are consistent within normal limits (+/- 10%).

Nutritional profile (As received basis)

Moisture, %	3.70
Energy	
Crude fat, %	50
Crude fiber, %	0.9
Carbohydrates, Calculated, %	24.88
Protein, combustion, %	19.22
Major minerals	
Total ash, %	3.67
Sodium, %	0.10
Phosphorus, %	0.47
Sulfur, %	0.74
Potassium, %	0.55
Calcium, %	0.34
Trace minerals, ppm	
Iron	13
Copper	2
Zinc	36
Selenium	0.13
Glyceride Profile, %	
Diglycerides	4.69
Glycerol	< 1.0
Monoglycerides	3.81
Triglycerides	85.80
Fatty Acid Profile	
Fatty Acid	% of Fat content
Caproic Acid	<0.10%
Heptanoic Acid	<0.10%
Caprylic Acid	<0.10%
Nonanoic Acid	<0.10%
Capric Acid	<0.10%
Undecanoic Acid	<0.10%
Lauric Acid	<0.10%
Tridecanoic Acid	<0.10%

Fatty acid profile, continued	
Fatty Acid	% of Fat content
Myristic Acid	3.86%
Myristoleic Acid	1.60%
Pentadecanoic Acid	<0.10%
Palmitic Acid	54.69%
Palmitoleic Acid	<0.10%
Margaric Acid	0.63%
Margaroleic Acid	<0.10%
Stearic Acid	1.80%
Vaccenic Acid	<0.10%
Oleic Acid	<0.10%
Elaidic Acid	<0.10%
Linoleic Acid	<0.10%
Linolelaidic Acid	<0.10%
Alpha-Linolenic Acid	<0.10%
Gamma-Linolenic Acid	<0.10%
Nonadecanoic Acid	<0.10%
Arachidic Acid	0.28%
Eicosenoic Acid	<0.10%
Eicosadienoic Acid	<0.10%
Eicosatrienoic Acid	<0.10%
Homo-gamma-Linolenic Acid	<0.10%
Arachidonic Acid	<0.10%
Eicosapentaenoic Acid	0.28%
Heneicosanoic Acid	<0.10%
Behenic Acid	<0.10%
Erucic Acid	0.53%
Docosadienoic Acid	0.43%
Docosapentaenoic Acid	<0.10%
Docosahexaenoic Acid	27.20%
Tricosanoic Acid	<0.10%
Lignoceric Acid	<0.10%
Nervonic Acid	<0.10%
Unknown	0.71%

Alltech Inc.

3031 Catnip Hill Pike Nicholasville, KY 40356 (859) 885-9613 Fax: (859) 885-6736

Anexo 11: Análisis de varianza del peso al nacimiento de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.04	0.0035	0.061	0.80564	n.s.
Bloques	4	1.27	0.3176	5.506	0.0047	
Error Experimental	100	5.768	0.0577			

Anexo 12: Análisis de varianza del peso al destete de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.9	0.896	1.042	0.3099	n.s.
Bloques	4	15.6	3.899	4.532	0.0021	
Error Experimental	99	85.18	0.86			

Anexo 13: Análisis de varianza del peso al final de la fase 1 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.36	0.3594	0.37	0.5444	n.s.
Bloques	4	12.61	3.1518	3.244	0.0152	
Error Experimental	99	96.19	0.9716			

Anexo 14: Análisis de varianza del peso al final de la fase 2 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.02	0.018	0.016	0.90115	n.s.
Bloques	4	17.92	4.48	3.857	0.00591	
Error Experimental	99	115	1.162			

Anexo 15: Análisis de varianza del peso al final de la fase 3 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	1.2	1.204	0.169	0.68231	n.s.
Bloques	4	108.7	27.172	3.807	0.00659	
Error Experimental	91	649.5	7.138			

Anexo 16: Análisis de varianza del peso al final de la fase 4 (70 días) de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	5	5.03	0.442	0.518	n.s.
Bloques	4	336.4	84.1	7.057	0.00005	
Error Experimental	91	1084.5	11.92			

Anexo 17: Análisis de varianza de la ganancia diaria de peso en la etapa de lactación de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.00341	0.00341	2.043	0.156	n.s.
Bloques	4	0.01785	0.004463	2.673	0.0362	
Error Experimental	101	0.16862	0.1669			

Anexo 18: Análisis de varianza de la ganancia diaria de peso en la fase 1 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.0045	0.004496	1.716	0.1932	n.s.
Bloques	4	0.02177	0.005443	2.077	0.0893	
Error Experimental	101	0.26467	0.00262			

Anexo 19: Análisis de varianza de la ganancia diaria de peso en la fase 2 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.0052	0.00519	0.805	0.372	n.s.
Bloques	4	0.0185	0.004624	0.717	0.582	
Error Experimental	101	0.6513	0.006449			

Anexo 20: Análisis de varianza de la ganancia diaria de peso en la fase 3 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.0059	0.00594	0.705	0.403196	n.s.
Bloques	4	0.1912	0.04779	5.667	0.000392	
Error Experimental	93	0.7829	0.00842			

Anexo 21: Análisis de varianza de la ganancia diaria de peso en la fase 4 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.0011	0.0011	0.15	0.699	n.s.
Bloques	4	0.291	0.7276	9.818	0.00001	
Error Experimental	93	0.6893	0.00741			

Anexo 22: Análisis de varianza de la ganancia diaria de peso acumulada de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.0038	0.003803	1.083	0.301	n.s.
Bloques	4	0.0991	0.024774	7.058	0.00005	
Error Experimental	93	0.3264	0.00351			

Anexo 23: Análisis de varianza del consumo de alimento durante la etapa de lactación de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.000608	0.0006084	7.209	0.0649	n.s.
Bloques	4	0.003448	0.0008621	10.214	0.0224	
Error Experimental	4	0.000338	0.0000844			

Anexo 24: Análisis de varianza del consumo de alimento durante fase 1 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.000003	0.000004	0.032	0.8669	n.s.
Bloques	4	0.002393	0.000598	5.302	0.0675	
Error Experimental	4	0.000451	0.000112			

Anexo 25: Análisis de varianza del consumo de alimento durante la fase 2 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.000003	0.000348	1.632	0.271	n.s.
Bloques	4	0.000503	0.000125	0.589	0.689	
Error Experimental	4	0.000853	0.000213			

Anexo 26: Análisis de varianza del consumo de alimento durante la fase 3 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.00064	0.00064	0.836	0.4123	n.s.
Bloques	4	0.04832	0.012081	15.781	0.102	
Error Experimental	4	0.00306	0.000765			

Anexo 27: Análisis de varianza del consumo de alimento durante la fase 4 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.00276	0.002756	0.478	0.5274	n.s.
Bloques	4	0.109	0.027249	4.726	0.0809	
Error Experimental	4	0.02307	0.005766			

Anexo 28: Análisis de varianza del consumo de alimento acumulado de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.001025	0.001025	1.357	0.3088	n.s.
Bloques	4	0.026989	0.006747	8.936	0.0283	
Error Experimental	4	0.00302	0.000755			

Anexo 29: Análisis de varianza de la conversión alimenticia durante fase 1 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.1657	0.16571	1.743	0.257	n.s.
Bloques	4	0.1983	0.04958	0.521	0.728	
Error Experimental	4	0.3803	0.09508			

Anexo 30: Análisis de varianza de la conversión alimenticia durante fase 2 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.026	0.02601	0.327	0.598	n.s.
Bloques	4	0.1099	0.02748	0.346	0.836	
Error Experimental	4	0.3179	0.07949			

Anexo 31: Análisis de varianza de la conversión alimenticia durante fase 3 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.01019	0.010191	3.134	0.151	n.s.
Bloques	4	0.04777	0.011944	3.672	0.118	
Error Experimental	4	0.01301	0.003252			

Anexo 32: Análisis de varianza de la conversión alimenticia durante fase 4 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.00356	0.00356	0.409	0.557	n.s.
Bloques	4	0.13776	0.03444	3.955	0.106	
Error Experimental	4	0.03483	0.00871			

Anexo 33: Análisis de varianza de la conversión alimenticia acumulada de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.02025	0.02025	4.03	0.115	n.s.
Bloques	4	0.03966	0.009915	1.973	0.263	
Error Experimental	4	0.0201	0.005025			

Anexo 34: Análisis de la varianza del porcentaje de disturbios gastroentéricos en la etapa de lactación de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.0013	0.0013	1	0.373901	n.s.
Bloques	4	0.7965	0.1991	152.8	0.000126	
Error Experimental	4	0.0052	0.0013			

Anexo 35: Análisis de la varianza del porcentaje de disturbios gastroentéricos en la fase 1 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.0013	0.0013	1	0.374	n.s.
Bloques	4	1.2897	0.3224	249.9	0.000475	
Error Experimental	4	0.0052	0.0013			

Anexo 36: Análisis de la varianza del porcentaje de disturbios gastroentéricos en la fase 2 de los dos tratamientos.

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0	0	0.00004	0.952	n.s.
Bloques	4	0.606	0.1515	0.00001	0.00002	
Error Experimental	4	0	0			

Anexo 37: Análisis de la varianza del porcentaje de disturbios gastroentéricos en la fase 3 de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.00872	0.00872	1.216	0.3321	n.s.
Bloques	4	0.14401	0.036	5.019	0.0736	
Error Experimental	4	0.02869	0.00717			

Anexo 38: Análisis de la varianza de la altura de las vellosidades intestinales de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	242570	242570	13.07	0.000409	***
Error Experimental	149	2761284	18552			

Anexo 39: Análisis de la varianza de la profundidad de cripta intestinal de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	11120	11120	1.219	0.271	n.s
Error Experimental	149	1359459	9124			

Anexo 40: Análisis de la varianza de la relación AV:PC de los dos tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significancia
Tratamientos	1	0.565	0.5655	3.609	0.0694	n.s
Error Experimental	149	23.348	0.1567			