

GUÍA PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS ANIMALES • 5ª EDICIÓN, 2015



GUÍA DE ALIMENTACIÓN DE LA PASTA DE CANOLA



INFORMACIÓN



RUMIANTES



CERDOS



AVES



PECES Y
CRUSTACEOS

PASTA DE CANOLA: UNA INTRODUCCIÓN BÁSICA

Esta guía técnica para el uso de la pasta de canola en los alimentos balanceados para animales es la última de una serie de publicaciones sobre la pasta de canola, producidas por el Consejo de Canola de Canadá. Esta guía se actualiza periódicamente para incorporar información reciente sobre pasta de canola y los avances en tecnología de los alimentos. Desde la edición anterior en 2009, se han realizado más investigaciones en todo el mundo sobre la alimentación de pasta de canola, especialmente en Canadá, los Estados Unidos de América y Asia. Nueva información y los cambios en esta última versión de la guía incluyen:

- Información sobre la degradación de la proteína de la pasta de canola en el rumen y su efecto en la producción de leche
- Actualización de del perfil de nutrientes de la pasta de canola obtenidos mediante una recopilación de muestras de pastas de procesadores a través de Canadá, durante un periodo de cuatro años
- Actualización de valores del contenido de energía y los niveles de inclusión de pasta de canola en dietas de cerdos y aves de corral
- Información adicional sobre los niveles de inclusión de pasta de canola en dietas de peces y crustáceos

Un ejemplar de esta publicación se puede encontrar en la página web del Consejo Canadiense de la Canola www.canolacouncil.org, así como en Canolamazing.com.

TABLA DE CONTENIDO

Pasta de canola : Una introducción básica	2
Factores importantes en el procesamiento de pasta de canola	4
Composición nutricional de la pasta de canola	8
Valor de la pasta de canola en dietas para rumiantes	14
Valor de la pasta de canola en dietas para cerdos	25
Valor de la pasta de canola en dietas para aves	35
Valor de la pasta de canola en dietas para peces y crustáceos	42
Referencias	48
Reconocimientos	57



INFORMACIÓN



RUMIANTES



CERDOS



AVES



PECES Y CRUSTACEOS

PASTA DE CANOLA: UNA INTRODUCCIÓN BÁSICA

La canola es uno de los cultivos más importantes de Canadá. Cada verano, alrededor de 20 millones de acres (8 millones de hectáreas) de las mejores tierras agrícolas del oeste canadienses se convierten en un manto de color amarillo brillante cuando la canola llega a su floración. Estos vastos campos producen millones de toneladas de pequeñas semillas redondas, que contienen aproximadamente 44% de aceite, el cual se extrae para su uso como uno de los aceites de cocina más saludable del mundo. Después de que el aceite se extrae de la semilla, los cotiledones y la cáscara se procesan en un co-producto alimenticio alto en proteína que es un excelente complemento en los alimentos del ganado.

La canola es la semilla de la colza (*Brassica napus* y *Brassica campestris/rapa*), que ha sido modificada genéticamente por medio de técnicas tradicionales de cruzamiento para tener niveles bajos de ácido erúxico (< 2%) en el aceite y de glucosinolatos (< 30 µmol/g) en la pasta. Los glucosinolatos se redujeron debido a su impacto negativo en su palatabilidad y efectos tóxicos en especies de animales.

El término “canola” (Canadian oil) fue acuñado para diferenciarlo de la colza. Algunos países, especialmente en Europa, utilizan el término “doble cero” de colza (bajo en ácido erúxico, bajo en glucosinolatos) para identificar la “calidad” de canola, del aceite y la pasta.

Producción y mercados

La producción de canola en Canadá ha aumentado constantemente y actualmente se producen unos 15 millones de toneladas de semilla por año. El Consejo Canadiense de la Canola está dirigido a un aumento de 26 millones de toneladas para el año 2025, en respuesta a la demanda mundial. El plan se centra en el aumento de los rendimientos de una manera sostenible, mientras se promueve el entendimiento del valor de la canola por parte del consumidor logrando abrir relaciones comerciales.

Aproximadamente la mitad de la producción de semilla de canola en Canadá se exporta y la otra mitad se procesa en Canadá (Cuadro 1). La mayoría de los países que importan semillas de canola lo hacen principalmente por el aceite, que es el componente más valioso. La semilla es procesada y la consiguiente pasta de canola es utilizada por la industria de la alimentación animal en estos países. La pasta de canola es ampliamente disponible y comercializada. Por lo general se vende a granel como pasta o en gránulo. La pasta de canola canadiense se comercializa bajo las reglas descritas en el Cuadro 2.

La pasta de canola y de colza, son comúnmente utilizadas en la alimentación animal en todo el mundo. Juntas representan la segunda fuente proteica más comercializada después de la pasta de soya. Los principales productores de pasta de canola y colza son Australia, Canadá, China, la Unión Europea y la India.

El uso de pasta de canola varía considerablemente de un mercado a otro. La pasta de canola vendida directamente a los Estados Unidos se destina principalmente a los estados de mayor producción de ganado lechero. La semilla de canola que se exporta a otros países para su procesamiento, se utiliza de una manera mucho más amplia, incluyendo la alimentación de cerdos, aves y peces. Asimismo, la pasta que es utilizada por la industria canadiense de alimentos se destina principalmente a los alimentos de la ganadería lechera, cerdos y aves.

Cuadro 1. Producción en Canadá, exportaciones y utilización nacional de semilla y pasta de canola (000's) toneladas métricas¹

PRODUCCIÓN, PROCESAMIENTO Y MERCADOS	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14
Producción de semilla de canola	12,789	14,608	13,868	17,960
Exportación de semilla de canola (Total)	7,206	8,696	7,095	9,125
Estados Unidos	467	580	400	1,027
Japón	2,312	2,315	2,318	2,128
China	916	2,525	2,670	4,026
Pakistán	845	622	0	169
México	1,422	1,505	1,391	1,375
Emiratos Arabes Unidos	833	687	233	274
Otros	411	462	83	126
Procesamiento doméstico	6,310	6,997	6,715	6,979
Producción de pasta de canola	3,568	3,967	3,998	4,034
Utilización de pasta de canola en Canadá	570	660	592	608
Exportación de pasta de canola (Total)	2,998	3,307	3,406	3,426
Estados Unidos	1,875	2,815	3,060	3,277
Otros	1,124	492	346	150

¹Statistics Canada

Cuadro 2. Reglas de comercio (establecidas por la Asociación Canadiense de Procesadores de Semillas Oleaginosas)¹

CARACTERÍSTICAS (COMO ALIMENTO)	CANADA Y E.U.	EXPORTACIÓN
Proteína, % mínimo	36	—
Grasa (aceite), % mínimo típico	2	—
Proteína + grasa, % mínimo	—	37
Humedad, % máximo	12	12
Fibra cruda, % máximo	12	12
Glucosinolatos, µmol/g máximo	30	30
Arena y/o sílica, % máximo	—	1

¹COPA, 2013



FACTORES IMPORTANTES EN EL PROCESAMIENTO DE PASTA DE CANOLA

La semilla de canola se procesa tradicionalmente utilizando prensado y extracción por solvente para separar el aceite de la pasta. Este proceso, llamado prensado y extracción por solvente, normalmente incluye:

- Limpieza de semilla
- Pre acondicionamiento y descamado de la semilla
- Cocción de la semilla
- Prensado de la semilla para remover mecánicamente una porción del aceite
- Extracción por solventes de la torta prensada para extraer el resto del aceite
- Desolventación y secado de la pasta

La calidad de la pasta es afectada por diversas variables durante el proceso, especialmente la temperatura.

En la siguiente sección se describe el proceso de extracción por prensado y solvente, con un resumen de prensado solamente con expulsora al final de esta sección.

Limpieza de la semilla

La semilla de canola en Canadá es clasificada de acuerdo a normas estrictas establecidas por la Comisión de Granos Canadiense (Canadian Grain Commission). Entre estas normas están las especificaciones para el contenido máximo de humedad, daño de la semilla y el nivel de clorofila. La semilla que llega a la planta de procesamiento contiene impurezas, que son removidas en las operaciones de limpieza antes de su procesamiento.

Pre acondicionamiento y descamado de la semilla

En muchas plantas de procesamiento en climas fríos, la semilla se calienta previamente con secadores de granos hasta llevarla a 35°C para prevenir rotura que pueden ocurrir cuando la semilla fría del almacén entra

a la unidad de descamado (Unger, 1990). La semilla limpia primero se descama en rodillos ajustados a una separación estrecha para romper físicamente la cáscara de la semilla. El objetivo, por lo tanto, es romper el mayor número posible de paredes celulares sin dañar la calidad del aceite. El grosor de la hojuela es importante, con un óptimo de 0.3-0.38 mm. Las hojuelas de menos de 0.2 mm son muy frágiles en tanto que las hojuelas de más de 0.4 mm tienen un menor rendimiento de aceite.

Cocción de semillas

Las hojuelas se cuecen/acondicionan pasándolas por una serie de rodillos calentados por vapor. La cocción sirve para romper térmicamente las células de aceite que hayan sobrevivido la descamación, reducir la viscosidad del aceite y con ello promover la coalescencia de gotas de aceite; aumentar la velocidad de difusión de la torta de aceite preparada; y desnaturalizar las enzimas hidrolíticas. La cocción también ajusta la humedad de la hojuela, lo que es importante para el éxito de las operaciones subsiguientes al pre-prensado.

Al principio de la cocción, la temperatura aumenta rápidamente a 80-90°C, lo cual sirve para desactivar a la enzima mirosinasa presente en la semilla. Esta enzima puede hidrolizar la pequeña cantidad de glucosinolatos en la canola y producir productos derivados indeseables que afectan la calidad de la pasta.

El ciclo de cocción usualmente dura entre 15 y 20 minutos, y las temperaturas varían normalmente entre 80°C y 105°C, con un óptimo de 88°C. En algunos países, la cocción a temperaturas de hasta 120°C ha sido tradicionalmente utilizada en el procesamiento de colza de alto contenido de glucosinolatos para volatilizar algunos de los compuestos de azufre que pueden provocar olores en el aceite. Sin embargo, estas altas temperaturas pueden afectar de forma negativa la calidad de proteína en la pasta.



Prensado

La semilla de canola cocida se prensa en una serie de prensas de tornillo o expulsoras. Estas unidades consisten de un eje con un tornillo en rotación dentro de un barril cilíndrico que contiene barras de acero planas, colocadas hacia el borde alrededor de la periferia y separadas para permitir que el aceite fluya entre las barras mientras que se detiene la torta dentro del barril. La rotación del tornillo presiona la torta contra un obturador ajustable que constriñe parcialmente la descarga de la torta a un extremo del barril. Esta acción remueve parte del aceite mientras que evita un exceso de presión y temperatura. El objetivo del prensado es remover todo el aceite que se pueda, por lo general de 50-60% del contenido de aceite en la semilla, al tiempo que maximiza la salida de las expulsoras y produce una torta ideal para la extracción de aceite con solvente.

Extracción por solvente

Como el prensado por sí solo no remueve todo el aceite de la semilla de la canola, se utiliza una extracción por solvente para extraer el resto del aceite. La torta de las expulsoras, que contiene 18-20% de aceite, en ocasiones se quiebra en piezas uniformes antes de la extracción por solvente en la que se utiliza hexano que es específico para uso en la industria del aceite vegetal. Se han producido varios diseños mecánicos de extractores de solvente para mover la torta y la miscela (solvente más aceite) en direcciones opuestas a fin de provocar una extracción de contracorriente. Para la canola se usan comúnmente extractores de canasta y lazo continuo. Los principios son los mismos: La torta se deposita en el extractor que luego se inunda con solvente o miscela. Una serie de bombas rocían la miscela sobre la torta y en cada etapa se utiliza miscela sucesivamente más delgada, por lo que contiene un índice mayor de solvente en relación al aceite. El solvente se filtra por gravedad a través de la torta, difundiendo y saturando la torta. La pasta saturada de hexano que sale del extractor de solvente, luego de otro lavado con solvente fresco, contiene menos de 1% de aceite.

Desolventado y secado

Se remueve el solvente de la torta con un desolventizador-secador. En una serie de compartimentos o calderos se pasa rápidamente la torta evaporando el solvente de la pasta calentándola en varias zarandas con vapor. La separación final del solvente se realiza inyectando vapor a través de la pasta, proceso conocido como tostado. Durante el proceso de desolventización-tostado se calienta la pasta a 95-115°C y la humedad aumenta a 12-18%. El tiempo total que se pasa en el desolventizador-secador es aproximadamente 30 minutos. La pasta luego se enfría y se seca con aire hasta llevarla a una humedad de aproximadamente 12%. Luego se muele a una consistencia uniforme usando un molino de martillo y de ahí se hacen pellets o se envía directamente al almacén como pasta.

Efectos del procesamiento en la calidad de la pasta

La calidad de la pasta puede tanto aumentar como disminuir alterando las condiciones de procesamiento en la planta. Se necesitan temperaturas mínimas de procesamiento, a fin de desactivar la enzima mirosinasa, que, si no es destruida descompone los glucosinolatos en sus metabolitos tóxicos (aglucones) en el tracto digestivo del animal. El procesamiento de la canola también puede causar degradación térmica de 30-70% de glucosinolatos en la pasta (Daun y Adolphe, 1997). Sin embargo, si las temperaturas son muy altas por mucho tiempo, la calidad de la proteína de la pasta puede disminuir. En Canadá, la mayoría de las plantas procesadoras tienen condiciones de procesamiento muy parecidas y la calidad de la pasta de canola no varía mucho. En los casos en que pueda existir una variación considerable en temperaturas de procesamiento, es importante para los usuarios de pasta de canola medir de rutina la calidad de la proteína de la pasta o auditar y aprobar a los proveedores.

Algunos de los subproductos del procesamiento de la canola en ocasiones se incorporan a la pasta de canola. En el caso de las gomas y grasas de jabón, estos componentes ricos en grasa aumentan el contenido de



energía de la pasta. En el caso de añadidos de cribaduras y materia extraña, puede disminuir la calidad de la pasta. Un buen programa de control de calidad de los ingredientes podrá detectar estas diferencias en las prácticas de procesamiento.

Temperatura

La desactivación de la enzima mirosinasa se logra sobre todo durante la etapa de cocción de la semilla de canola. Las primeras investigaciones de Youngs y Wetter (1969) respecto a los pasos para minimizar la hidrólisis de glucosinolatos por la mirosinasa se ha vuelto práctica usual de los procesadores en todo el mundo. El contenido de humedad de la semilla durante el procesamiento debe ser de 6-10%. Con humedad de más del 10% habrá una hidrólisis rápida de glucosinolatos y con humedad de menos del 6% la enzima mirosinasa se desactiva lentamente por el calor. Además, durante la cocción de la semilla, debe elevarse la temperatura lo más rápido posible a 80-90°C. La hidrólisis de glucosinolatos por mirosinasa continuará a medida que aumenta la temperatura hasta que se desactive la enzima, de modo que menor calor favorece la hidrólisis de glucosinolatos.

El exceso de calor durante el procesamiento puede resultar en una menor digestibilidad de algunos de los aminoácidos, en particular lisina. Los procesadores deben ejercer un estricto control del proceso para cerciorarse de que el daño a los aminoácidos se reduzca al mínimo, no sobrecalentando la pasta en el desolventizador-tostador. Al examinar la calidad de la pasta en varias etapas de procesamiento en varias plantas procesadoras canadienses Newkirk et al., 2003, vio que la pasta de canola es un producto uniforme, de alta calidad hasta que entra en la fase del desolventizador-tostador. En esta etapa se redujeron de manera significativa la digestibilidad de proteína cruda y lisina, así como el contenido de lisina. Esta investigación de Newkirk, et al., señala que las temperaturas comúnmente utilizadas en la etapa desolventizador-tostador de 107°C causan daño a la proteína. Procesar con una temperatura máxima de 100°C en el desolventizador-tostador aumenta significativamente la digestibilidad

de lisina a niveles parecidos a los que se encuentran en la pasta de soya. También, el tostado tradicional hace que el color de la pasta se oscurezca. Esta es una desventaja para algunos fabricantes de alimentos que prefieren ingredientes de colores más claros por la preferencia de los clientes.

Aditivos

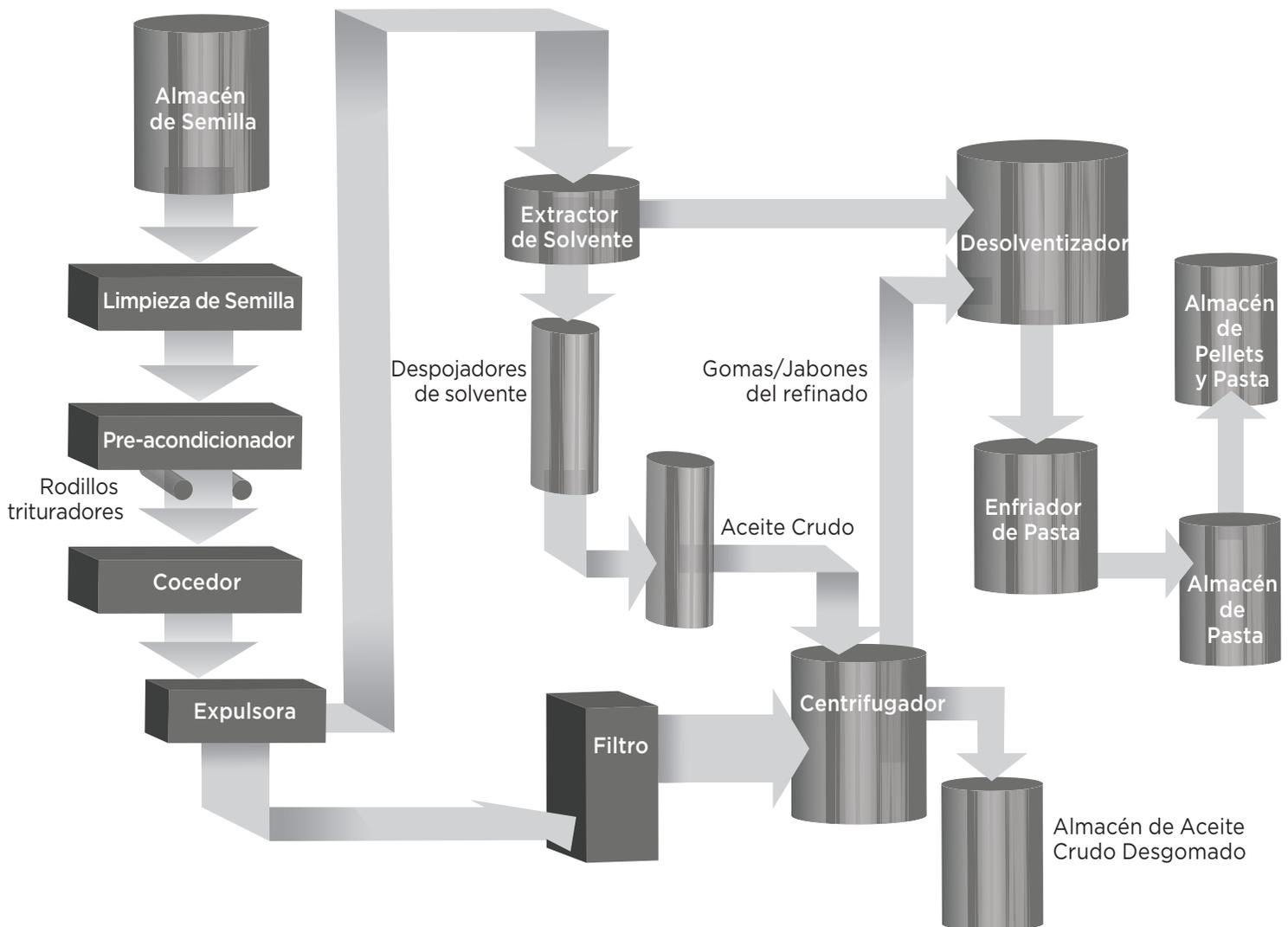
El aceite crudo de canola contiene una porción de material de fosfolípidos que se remueve durante el procesamiento del aceite. Este material se conoce comúnmente como “gomas”. En Canadá se vuelve a añadir a la pasta en el desolventizador-tostador a un nivel de 1-2%. En las plantas procesadoras que además refinan aceite, también se pueden añadir los ácidos grasos acidulados a la pasta a un nivel de 1-2%. Estos añadidos sirven para reducir el polvo de la pasta y, lo que es más importante, aumentan su valor de energía. En algunos países las gommas y grasas de jabón se utilizan para otros fines y no se añaden a la pasta. Esa es la razón principal por la que la pasta de canola canadiense tiene niveles más elevados de grasa que la pasta de otros países.

Torta de canola de expulsora

Una proporción de semilla de canola canadiense, se procesa únicamente por un proceso llamado de expulsora, también llamado de doble prensado. Se prensa dos veces la semilla en lugar de extraer el aceite con solvente. El proceso es similar al proceso tradicional de extracción con solvente. Sin embargo, excluye la extracción del solvente, desolventización, y las etapas de secado y enfriamiento. La pasta que resulta de este proceso tiene un mayor contenido de aceite que puede ser de 8 a 11% y por lo tanto tiene mayor contenido de energía metabolizable, digestible y neta que la pasta que se ha sometido al tradicional proceso extracción por solvente. La pasta no se somete al proceso de desolventización/tostado, pero aun es sometida a los posibles efectos del calor durante la fricción generada durante el proceso de prensado. Las temperaturas de la pasta pueden llegar hasta 160°C pero debido al bajo contenido de humedad y la corta

duración, la calidad de la proteína por lo general es conservada. Sin embargo, en casos extremos o si la pasta no se enfría rápidamente después de la extracción, puede afectar la calidad de la proteína.

Figura 1. Proceso esquemático de la extracción de pre-prensado con solvente





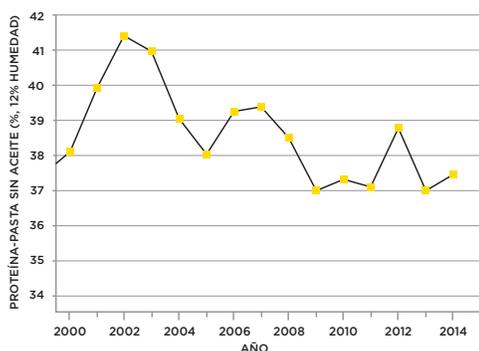
COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA PASTA DE CANOLA

La pasta de canola canadiense extraídas por solvente es derivada de una mezcla de *Brassica napus*, *Brassica rapa* y *Brassica juncea*. La mayoría (> 95%) de la semilla producida en Canadá es *Brassica napus*. Al igual que con cualquier cultivo, existe cierta variabilidad en la composición nutritiva de pasta de canola debido a la variación en las condiciones ambientales durante el crecimiento de la cosecha, en menor medida, por la variedad y procesamiento de la semilla y la pasta. La composición de nutrientes básicos de la pasta de canola es ilustrado en el Cuadro 1. Estos resultados están basados en una encuesta de 12 procesadoras de pasta, realizado durante un período de tres a cuatro años. Algunos resultados parciales han sido publicados (Broderick, et al., 2013; Adewole, et al., 2014).

Proteína y aminoácidos

Esta publicación utiliza un valor predeterminado de 36% de proteína cruda en base a 12% de humedad en las tablas de composición de nutrientes que siguen a continuación. Mientras que la garantía mínima de proteína cruda para pasta de canola canadiense es de 36% (12% de humedad), el contenido de proteínas puede oscilar entre 36 y 39%. El mínimo permite una

Figura 1. Contenido de proteína de pasta de canola 2000-2014 (basado en 12% de humedad)^{1,2}



¹Valor dado sobre base sin aceite, calculado de la semilla.

²Barthet, Comisión Canadiense de Granos. 2014

variación anual en la composición de la semilla, debido a las condiciones de cultivo.

La influencia de las condiciones meteorológicas y del suelo sobre el contenido de proteína de la pasta de canola canadiense desde 2000 a 2014 se muestra en la Figura 1. Como indica el gráfico, el contenido de proteína de la pasta de canola varía del 37 al 42%, cuando se calcula libre de aceite y 12% de humedad.

El perfil de aminoácidos de la pasta de canola es adecuado para la alimentación de animales (Cuadro 2).

Cuadro 1. Composición química típica de pasta de canola (basado en 12% de humedad)¹

COMPONENTE	PROMEDIO
Humedad (%)	12.0
Proteína cruda (N x 6.25,%)	36.7
Proteína de escape ruminal (%)	43.5
Extracto etéreo (%)	3.3
Ácido linoléico (%)	0.67
Ácido linolénico (%)	0.32
Ceniza (%)	6.7
Calcio (%)	0.65
Fósforo (%)	0.99
Fibra cruda (%)	11.2
Fibra detergente ácida (%)	16.2
Fibra detergente neutra (%)	25.4
Fibra total de la dieta (%)	32.4
Sinapina (%)	1.0
Ácido fítico (%)	2.3
Glucosinolatos (µmol/g)	4.2

¹Resultados basados en una encuesta de tres años (Slomski, 2015).

²Resultados basados en una encuesta de cuatro años (Broderick, 2015).



Al igual que muchas fuentes de proteína vegetal, la pasta de canola es limitante en lisina, pero se caracteriza por tener altos niveles de metionina y cistina. El contenido de aminoácidos varía con el contenido de proteína, y se puede calcular multiplicando el contenido de proteína cruda de la pasta por la proporción de aminoácidos como porcentaje de la proteína (como se muestra en el Cuadro 2).

Extracto etéreo

El contenido de extracto etéreo de la pasta de canola canadiense tiende a ser relativamente alto al 3.3% (Cuadro 1) comparado con el 1-2% en pasta de canola y colza producidos en la mayoría de los demás países. En Canadá, es práctica general incluir gomas del aceite en la pasta de canola en un 1-2%. Las gomas se obtienen durante el refinado del aceite de canola y consisten principalmente de glicolípidos, fosfolípidos y cantidades variables de triglicéridos, esteroides, ácidos grasos, vitaminas liposolubles, etc. La inclusión de las gomas de aceite en la pasta de canola aumenta el valor de la energía de pasta de canola. La inclusión de hasta 6% de las gomas en la pasta se ha demostrado que no tienen efectos perjudiciales sobre el valor nutritivo de la pasta de canola para pollos de engorda o gallinas ponedoras (Summers, et al., 1978). En estudios con ganado de carne (Mathison, 1978), ganado de leche (Grieve, 1978) y cerdos (McCuaig y Bell, 1981), la inclusión de las gomas en la pasta de canola a niveles superiores a los que añaden los procesadores canadienses no tuvo efectos adversos en el valor nutritivo de los alimentos para estas especies de animales. Del mismo modo, pasta de canola producida en Canadá por las refinerías de aceites puede contener también 1-2% de los ácidos grasos libres derivados del refinado de aceite de canola. Además de la energía proporcionada por las gomas y los ácidos grasos libres, estos componentes ayudan a reducir el polvo de la pasta.

El Cuadro 3 proporciona el análisis básico de ácidos grasos de el aceite de canola. Como se muestra en el

Cuadro 2. Composición de aminoácidos de la pasta de canola (basado en 36% de proteína)¹

AMINOÁCIDO	PROMEDIO %	PROPORCIÓN COMO % DE PC
Alanina	1.57	4.36
Arginina	2.38	6.62
Aspartato + asparagina	2.61	7.25
Cistina	0.82	2.29
Glutamato + glutamina	6.53	18.14
Glicina	1.77	4.92
Histidina	1.22	3.39
Isoleucina	1.25	3.47
Leucina	2.22	6.19
Lisina	2.13	5.92
Metionina	0.70	1.94
Metionina + cistina	1.53	4.25
Fenilalanina	1.46	4.06
Prolina	2.15	5.97
Serina	1.44	4.00
Treonina	1.54	4.27
Triptófano	0.48	1.33 ²
Tirosina	0.90	2.50
Valina	1.78	4.97

¹Slominski, 2015

²Degussa, AMINOdat® 3.0 <http://feed-additives.evonik.com> (Evonik Industries GmbH)

cuadro, este aceite contiene una pequeña cantidad de ácidos grasos saturados y altos niveles de ácido oleico. La pasta de canola proporciona una proporción de 2:1 de ácidos grasos omega 6 y ácidos grasos omega 3.

El aceite de canola en ocasiones es utilizado en las dietas para enriquecer los ácidos grasos de la leche,



carne o huevo (Gallardo, et al., 2012; Gül, et al., 2012; Chelikani, et al., 2004).

Carbohidratos y fibra

La matriz de carbohidratos de la pasta de canola es bastante compleja (Cuadro 4). El contenido de fibra es mayor que para otras proteínas vegetales, ya que la cascara no se puede quitar fácilmente de la semilla. Gran parte de la fibra está en forma de fibra detergente ácida (FDA), con la fibra detergente neutra (FDN) aproximadamente 10% más alta que FDA. El componente no — fibra es rico en azúcar, que se presenta principalmente como sucrosa (Cuadro 4).

Minerales

La mayoría de las referencias sobre el contenido mineral de la pasta de canola usan valores derivados por Bell y Keith (1991) que fueron reconfirmados en un estudio de Nell et al. (1999). Los datos muestran que la pasta de canola es una buena fuente de minerales (Cuadro 5) comparada con otras pastas de semillas oleaginosas.

La pasta de canola es una fuente especialmente buena de selenio y fósforo. Similar a otras fuentes vegetales, una parte del fósforo total está en forma de fitato.

Vitaminas

La información del contenido de vitaminas de la pasta de canola es limitada, pero al parecer la pasta es rica en colina, biotina, ácido fólico, niacina, riboflavina y tiamina (Cuadro 6). Como es recomendado para la mayoría de las fuentes naturales de vitaminas en los forrajes, los usuarios no deben depender enteramente en estos valores y deben utilizar pre-mezclas con suplementos de vitaminas.

Factores anti-nutricionales

La pasta de colza, el predecesor de la pasta de canola, es reconocida como un ingrediente que es necesario limitar en dietas para ganado y peces debido a ciertos factores anti-nutricionales, principalmente los glucosinolatos. Estos factores se han reducido en la

Cuadro 3. Composición de ácidos grasos de aceite del canola¹

ÁCIDO GRASO	% DE ÁCIDO GRASOS TOTALES
Saturados totales	6.0
C22:1 Ácido erúcico	0.2
Mono saturados totales	61.9
C18:2 Ácido linoléico (Omega 6)	20.1
C18:3 Ácido linolénico (Omega 3)	9.6
Poliinsaturados totales	29.7

¹Przybylski, et al., 2005

Cuadro 4. Componentes de carbohidratos y fibra de la pasta de canola (basado en 12% de humedad)¹

COMPONENTE	%
Fracción no fibrosa	
Fructosa + glucosa	0.6
Sucrosa	5.2
Oligosacáridos	2.3
Almidón	5.1
Fracción de fibra de la dieta	
Fibra cruda (FC)	11.2
Fibra detergente ácida (FDA)	16.2
Fibra detergente neutra (FDN)	25.4
Fibra total de la dieta (FTD)	32.4
Polisacáridos no almidonados (PNA)	18.9
Celulosa	7.9
Polisacáridos no-celulósicos	11.0
Glicoproteínas (proteína cruda insoluble)	4.6
Lignina y polifenoles	8.9
Lignina	5.8

¹Slominski, 2015; Broderick, 2015



pasta de canola a niveles que no representan amenaza para el rendimiento y la alimentación para la mayoría de las especies.

Los glucosinolatos son un grupo de metabolitos secundarios comunes a todas las plantas crucíferas. Si bien no son tóxicos por sí mismos, productos de degradación de los glucosinolatos pueden afectar adversamente el rendimiento del animal. El contenido bajo de glucosinolatos de la canola, en comparación con los cultivares de colza, constituye la mayor mejora en la calidad de la pasta lograda por los genetistas de plantas. Los glucosinolatos de canola se componen de dos tipos principales, glucosinolatos indolyl (o indol) y alifáticos. Los glucosinolatos alifáticos constituyen aproximadamente 85% de los glucosinolatos presentes en la pasta de canola, mientras que los glucosinolatos indolyl representan el otro 15% (Slominski, 2015). El contenido medio total de glucosinolatos de la pasta de canola canadiense, basado en tres años de datos, es apenas de 4.2 $\mu\text{mol/g}$ (Slominski, 2015). En comparación, la pasta tradicional de colza contiene 120-150 $\mu\text{mol/g}$ de glucosinolatos totales. La razón de que los glucosinolatos se expresan en base molecular ($\mu\text{mol/g}$) en lugar de en base de peso (mg/kg) es que los glucosinolatos tienen pesos moleculares diferentes, dependiendo del tamaño de su cadena lateral alifática. Dado que el efecto negativo sobre el animal está a nivel molecular, la estimación más exacta de este efecto debe ser medido expresando la concentración de glucosinolatos en base molecular.

El nivel de glucosinolatos en la semilla de canola canadiense ha seguido disminuyendo a través de los años debido a la presión de selección por los fitogenetistas de canola. El nivel de glucosinolatos en la semilla de canola canadiense antes de su procesamiento ha tenido un promedio de alrededor de 10 $\mu\text{mol/g}$ en los últimos ocho años.

El contenido de glucosinolatos es entonces concentrado en la pasta; después de eso, se reduce aún más durante el procesamiento a valores promedio de 4.2 $\mu\text{mol/g}$.

Los taninos están presentes en la pasta de canola en un rango de 1.5 a 3.0%, y las variedades de color café oscuro tienen niveles más altos que las variedades de

Cuadro 5. Contenido mineral de la pasta de canola (basado en 12% de humedad)^{1,2,3}

MINERAL	PROMEDIO
Calcio (%)	0.65
Fósforo (%)	0.99
Fitato (%)	0.64
No-Fitato (%)	0.35
Sodio (%)	0.07
Cloro (%)	0.10
Potasio (%)	1.13
Sulfuro (%)	0.63
Magnesio (%)	0.54
Cobre (%)	4.7
Hierro (%)	162
Manganeso (%)	58
Molibdeno (%)	1.4
Zinc (%)	47
Selenio (%)	1.1 ²

¹Slominski, et al., 2015

²Sauvant, et al., 2002

³Dairy One (www.dairyone.com)

Cuadro 6. Contenido de vitaminas de la pasta de canola (basado en 12% de humedad)¹

VITAMINA	MG/KG
Biotina	0.96
Colina	6,500
Ácido Fólico	0.8
Niacina	156
Ácido Pantoténico	9.3
Piridoxina	7.0
Riboflavina	5.7
Tiamina	5.1
Vitamina E	13

¹Valores reportados por NRC, 2012.



semilla amarilla. Los taninos en la pasta de canola son principalmente insolubles y asociados con la cáscara, y no parecen tener los mismos efectos negativos sobre la palatabilidad y la digestibilidad de la proteína que estos tienen en otras plantas (Khajali y Slominski, 2012).

La pasta de canola contiene aproximadamente 1% sinapina, un éster de colina de ácido sinápico. Sinapina es digno de mencionar, ya que se ha demostrado que algunas gallinas ponedoras de huevo marrón tienen una deficiencia genética que afecta como metabolizan la sinapina. (Khajali y Slominski, 2012). Los programas de mejoramiento han resultado en que la mayoría de las especies de de ponedora de huevo marrón ya no se vean afectadas por esta deficiencia genética. (Ver “Pasta de Canola en las Dietas de Aves de Corral” Capítulo 6). La investigación llevada a cabo por Qiao y Classen (Qiao y Classen, 2003) demuestran que mientras sinapina puede tener un sabor amargo, en los niveles que se encuentra en la pasta de canola, no afectó el consumo de alimento o tasa de crecimiento.

Composición nutricional de la torta de canola de expulsora

Varios términos se utilizan indistintamente para diferenciar la pasta extraída con solvente frente a la pasta procesada con expulsora. Términos comúnmente utilizados para describir la pasta incluyen pasta de expulsor o expeler, pasta de doble prensado o torta prensada.

Actualmente en Canadá, un pequeño porcentaje de semilla se procesa usando el método de prensado. Pequeñas plantas de procesamiento de oleaginosas, así como las asociadas con plantas de biodiesel utiliza el procesamiento de doble prensado en lugar de extracción con solvente. Dado que el aceite se extrae simplemente por medios mecánicos, la pasta resultante contiene una cantidad de aceite mayor que la de pasta extraída con solvente. Debido a las diferencias en las técnicas de procesamiento de las plantas de biodiesel más pequeñas, la pasta de canola de prensado puede ser más variable que la pasta de

canola extraída con solvente. Instalaciones de producción de mayor tamaño, por el contrario, tienden a producir pasta que es más consistente. El perfil nutricional de la pasta es similar a la de la pasta de canola, excepto que contiene 8-11% de grasa por lo que contiene valores mayores de energía. La composición nutricional de la pasta de prensado se proporciona en el Cuadro 7. El contenido de grasa puede variar ampliamente, por lo que es importante que se analice la torta de la expulsora para saber cual es el valor de la grasa y se pueda ajustar la energía según convenga. Altos niveles de grasa también diluirán otros nutrientes en la pasta resultante, en comparación con la pasta de canola extraída con solvente.

Composición nutricional de la semilla de canola

Los valores de los principales nutrientes de la semilla de canola se muestran en el Cuadro 8. Estos valores se obtuvieron de publicaciones recientes (Assadi, et al., 2011; Leterme, et al., 2008). La mayoría de los valores de los nutrientes para la semilla de canola se pueden calcular a partir de los valores de los nutrientes en la pasta y el aceite de canola, sabiendo que aproximadamente el 56% de la semilla es pasta y el 44% es aceite. La excepción es el contenido de energía, debido a que el valor de la energía de la semilla de canola no se puede calcular de manera confiable a partir de la suma de los valores de energía de el aceite de canola y la pasta. Para cerdos y aves, la semilla tiene menos energía que la suma de sus componentes de aceite y pasta. Esto se debe a que la semilla entera de canola no se digiere al mismo grado que el aceite y la pasta de canola. Para aumentar la digestibilidad de su energía, con frecuencia se usa un tratamiento de calor y la reducción del tamaño de la partícula de la semilla de canola por micronización, extrusión o expansión.

Cuadro 7. Composición química típica de pasta de canola prensada (basado en 12% de humedad)^{1,2}

COMPONENTE	PROMEDIO
Humedad (%)	5.0
Proteína cruda (N x 6.25:%)	34.8
Proteína de escape ruminal (%)	48.5
Extracto etéreo (%)	9.5
Ácido linoléico (%)	1.9
Ácido linolénico (%)	0.9
Ceniza (%)	6.2
Fibra cruda (%)	11.8
FDA (%)	16.7
FDN (%)	23.8
Calcio (%)	0.59
Fósforo (%)	0.89
Glucosinolatos (µmol/g)	9.5

¹Slominski, 2015

²Broderick, 2015

Cuadro 8. Composición química reportada en semilla de canola (basado en 12% de humedad)

COMPONENTE	FEEDIPEDIA, 2015	NRC, 2001	ASSADI, ET AL., 2011	MONTOYA AND LETERME, ET AL., 2008
Humedad (%)	6.8	10.1	5.0	5.7
Proteína cruda (N x 6.25:%)	18.4	18.0	20.0	20.7
Extracto etéreo (%)	40.5	35.6	43.8	38.6
Ácido linoléico (%)	8.3	7.3	8.5	7.9
Ácido linolénico (%)	4.1	3.4	4.2	3.9
Ceniza (%)	3.8	4.0	3.7	4.1
Fibra cruda (%)	8.9	—	—	—
FDA (%)	12.7	9.7	—	10.6
FDN (%)	17.9	15.7	16.6	12.9
Calcio (%)	0.43	0.38	—	—
Fósforo (%)	0.64	0.60	—	—

INFORMACIÓN



RUMIANTES



CERDOS



AVES



PECES Y
CRUSTACEOS



VALOR DE LA PASTA DE CANOLA EN DIETAS PARA RUMIANTES

La pasta de canola es ampliamente utilizada en la dieta del ganado lechero y ganado de carne. Se considera que es un ingrediente de alta calidad para el ganado lechero y vacuno de carne debido a su alta calidad de la proteína para la producción de leche y crecimiento.





Palatabilidad

La pasta de canola es una fuente de proteína altamente apetitosa para rumiantes y esto se ha demostrado repetitivamente en experimentos de alimentación. Ravichandran, et al. (2008) examinaron los efectos de la alimentación con pasta de canola en comparación con la pasta de colza con diferentes niveles de glucosinolatos residuales en becerros de 5 meses de edad. Los becerros alimentados con pasta de canola con menos de 20 $\mu\text{mol/g}$ de glucosinolatos consumieron menos que los becerros consumiendo la dieta sin pasta de canola (1.10 vs 1.08 kg, respectivamente). Sin embargo, los becerros alimentados con un concentrado que contenía alimento rico en glucosinolatos de colza (> 100 $\mu\text{mol/g}$), sólo consumieron 0.76 kg.

Estudios recientes han revelado que el consumo de alimento en las vacas lecheras se puede mantener o mejorar cuando la pasta de canola sustituyó la pasta de soya o granos de destilería. Broderick y Faciola (2014) sustituyeron 8.7% de pasta de soya con 11.7% de pasta de canola. Las vacas consumieron 0.5 kg más de materia seca (MS) con la dieta de pasta de canola. Maxin, et al. (2013) sustituyó 20.8% de pasta de canola por 13.7% de pasta de soya, y las vacas consumieron 23.6 y 24.0 kg de materia seca de las dos dietas, respectivamente. Swanepoel, et al. (2014) alimento hasta un 20% de la MS de pasta de canola para vacas de alta producción, a cambio de granos destilados de alto valor proteico, sin observar ninguna reducción en el consumo de materia seca.

En ganado vacuno de carne, el consumo fue mayor en novillas en crecimiento con dietas con 10% de pasta de canola que las dietas que contenían granos de destilería de trigo o granos de destilería de maíz (Li, et al., 2013).

Energía

Al igual que la mayoría de ingredientes de concentrados, la pasta de canola es una buena fuente de energía. Los valores listados por el Consejo Nacional de Investigación (NRC, 2001; NRC, 2015) se indican en la

Cuadro 1. Desafortunadamente, estos valores de energía pueden no ser correctos. Esta energía ha sido infravalorada en muchos programas de formulación de piensos que utilizan la lignina para descontar la digestibilidad de la pared celular. Modelos como el NRC (2001, 2015) que utilizan un enfoque factorial para el cálculo de la energía, descuenta el valor energético de la pasta de canola sobre la base de la energía disponible en la pared celular.

El NRC (2001) estima la fibra detergente neutra (FDN) cerca de 65%, con el potencial disponible del FDN estimado en un 35%. Dependiendo de la velocidad de paso, la cantidad real digerida sería aún menor. El uso del método de análisis de FDN indigestible, Cotanch, et al. (2014) demostraron que el FDN disponible en la pasta de canola fue del 32% del total. Este valor es casi el inverso del valor estimado por el NRC, 2001. Esto corrobora algunos estudios anteriores que muestran que aproximadamente la mitad de la FDN es actualmente digerida en vacas lecheras (Mustafa, et al., 1996, 1997), y porcentajes más altos son digeridos en el ganado ovino (Hentz, et al., 2012) y ganado de carne (Patterson, et al., 1999a).

Del mismo modo, los resultados de numerosos estudios de alimentación en vacas lecheras sugieren que el valor de la digestibilidad y la energía de la pasta de canola se reducen indebidamente en algunos

Cuadro 1. Energía media de la pasta de canola (basado en 12% de humedad)¹

COMPONENTE DE ENERGÍA	VALOR
Nutrientes digestibles totales (NDT, %)	68.0
Energía digestible (ED, Mcal/kg)	2.82
Energía metabolizable (EM, Mcal/kg)	2.30
Energía metabolizable de mantenimiento (EMM, Kcal/kg)	1.48
Energía neta para ganancia (ENg, Mcal/kg)	0.90
Energía neta para lactación (ENI, Mcal/kg)	1.44

¹NRC, 2001; NRC, 2015



modelos. Brito y Broderick (2007) sustituyen 12% de pasta de soya y 4.5% de maíz de alta humedad, con un 16.5% de pasta de canola sin otros cambios en la dieta. No se observó diferencia en la grasa de la leche corregida/materia seca y no hubo diferencias en la ganancia de peso. También, Swanepoel, et al. (2014) no observaron diferencias en la ingestión de materia seca (IMS) o condición corporal cuando 20% de pasta de canola fue sustituida por granos de maíz de destilería de alto contenido protéico. La producción de energía en la leche fue mayor con las dietas que contenían pasta de canola. En un estudio comparativo de destilados de granos de alta proteína, pasta de soya y pasta de canola, no hubo diferencias en la energía de la leche corregida por materia seca o cambios en la condición corporal (Christen, et al., 2010). Investigación adicional está en curso para determinar el valor de la energía correcta que debe asignarse a la pasta de canola.

Proteína y aminoácidos en la pasta de canola

La pasta de canola es muy apreciada en las raciones para rumiantes por su perfil de aminoácidos. Los valores dados en el Cuadro 2 se obtuvieron para la fracción de la proteína no degradable en el rumen (PNDR), así como la pasta de canola intacta usando el procedimiento desarrollado por Ross, et al. (2013). Estos resultados muestran que la pasta de canola contribuye una cantidad significativa de metionina, que es a menudo el primer ácido amino limitante en la producción. Además, el perfil de la fracción PNDR es más compatible con los requerimientos para el mantenimiento y producción leche que otras proteínas vegetales (Schingoethe, 1991). Nuevos estudios están actualmente en curso para obtener más información sobre la pasta de canola usando este procedimiento para la fracción PNDR.

Proteína no degradable (PNDR) en la pasta de canola

Investigaciones anteriores sugieren que la degradabilidad de la pasta de canola es alta, debido al alto contenido de proteína soluble en relación con otras proteínas vegetales.

Sin embargo, Hedqvist y Udén (2006) revelaron que las porciones de la fracción de proteína soluble no se degradan en el rumen. Desde entonces, ciertos estudios han confirmado que sólo una parte de la proteína soluble se degrada, con todos en acuerdo en que la proporción degradada en el rumen es menos de la mitad de la proteína soluble total (Cuadro 3).

El Cuadro 4 proporciona los valores PNDR (% de la proteína) para pasta de canola extraída con solvente en relación con la pasta de soya a partir de una serie de estudios recientes. Cada fuente representa un método de análisis diferente. En general, el valor PNDR de la pasta de canola como porcentaje de la proteína tiende a ser algo mayor que la de la pasta de soya y la relación entre los valores PNDR de estas fuentes de

Cuadro 2. Composición de aminoácidos esenciales de la pasta de canola y la fracción de la proteína de escape determinada por la universidad de Cornell¹

AMINOÁCIDO	AMINOÁCIDOS COMO % DE MS		AMINOÁCIDOS COMO % DE LA PROTEÍNA TOTAL	
	FRACCIÓN PNDR	PASTA INTACTA	FRACCIÓN PNDR	PASTA INTACTA
ARG	2.23	2.17	6.19	6.03
HIS	0.91	0.92	2.53	2.56
ILE	1.28	1.24	3.56	3.44
LEU	2.68	2.52	7.44	7.00
LYS	1.76	1.84	4.89	5.11
MET	1.55	1.27	4.31	3.53
PHE	1.49	1.44	4.14	4.00
TRP	0.51	0.48	1.42	1.33
VAL	1.54	1.44	4.28	4.00

¹Ross, et al., 2013

proteína se pueden utilizar para modificar los programas de formulación y que la pasta de canola se represente con mayor precisión.

NRC (2001) no proporciona datos para la pasta de canola extraída con solvente. Se ha demostrado que estos valores varían con el método y con el modelo utilizado (Cuadro 4), pero todos son mayores que las reportados por el NRC (2001) para la pasta de canola extraída mecánicamente. Los resultados de Broderick, et al. (2012), más consistente con el sistema del NRC (2001), son un 26% más altos que el valor calculado en el NRC (2001) con las tablas de ingestión de materia seca (IMS) al 4% del peso corporal/día.

Como parte de un amplio estudio llevado a cabo por Broderick y su equipo, un método inhibitor in vitro (Colombini, et al., 2011) se utilizó para evaluar 36 muestras de pasta de canola procedentes de 12 centros de producción anual durante un período de cuatro años (Broderick, 2015). Estos resultados se presentan en el Cuadro 5. Hubo algunas mejoras en el método, comenzando en 2013, lo que influyó en los resultados obtenidos para el cálculo del PNDR de proteínas analizadas en 2013 y 2014.

Minerales y vitaminas

El perfil de minerales y vitaminas de la pasta de canola se ha mencionado anteriormente en el capítulo sobre la composición de nutrientes. Como se ha indicado, la pasta de canola es una fuente rica de fósforo, con la mayor parte de este mineral en forma de fitato de fósforo. A diferencia de los animales monogástricos, esta forma es disponible para los rumiantes, debido a la presencia de bacterias fitasas que degradan fitato en el rumen (Spears, 2003).

De hecho, los estudios han demostrado que el fósforo del fitato es de más alta disponibilidad en los rumiantes

Cuadro 3. Degradación de la proteína soluble como fracción de la proteína de la pasta de canola o colza

REFERENCIA	DEGRADADA, % DE SOLUBLE	DE ESCAPE, % DE SOLUBLE
Bach, et al., 2008	37	63
Hedqvist and Udén, 2006	44	56
Stefanski, et al., 2013	43	57

Cuadro 4. PNDR (% de proteína) valores para la pasta de canola y pasta de soja determinados por varios métodos de análisis

REFERENCIA	PASTA DE CANOLA	PASTA DE SOYA	RELACIÓN CANOLA/SOYA
Tylutki, et al., 2008	41.8	38.3	1.09
Jayasinghe, et al., 2014	42.8	31.0	1.38
Maxin, et al., 2013 (sin corregir)	42.8	27.4	1.56
Broderick, 2015 ¹	40.4	25.7	1.57
Maxin, et al., 2013 (corregida)	52.5	41.5	1.27
Hedqvist and Udén, 2006	56.0	27.0	2.07
Ross 2015 ²	52.3	45.2	1.16
Promedio	48.1	33.3	1.47

¹Comparación y resultados de la pasta de soja con el método de Colombini, et al., 2011

²Comunicación personal. Basada en 27 muestras, valores producidos utilizando el método de Ross, et al., 2013.

que el fósforo no fitato. Garikipati (2004) proporcionó dietas para vacas lecheras en el que aproximadamente la mitad del fósforo estaba en la forma de fitato. La digestibilidad global del fósforo fue del 49%. Sin embargo, la digestibilidad del fósforo ligado a un fitato fue del 79%. Skrivanova, et al. (2004) de la misma manera encontró que la digestibilidad del fósforo por terneros de 10 semanas de edad fue 72%, con 97% de la porción de fitato digestible.



Cuadro 5. Promedio anual de valores de proteína, proteína soluble y valor PNDR calculado en una encuesta de pasta de canola así como el valor relativo durante los mismos periodos de tiempo¹

PROMEDIO DE 36 VALORES DE 12 LUGARES/AÑO				
AÑO	PROTEÍNA CRUDA, % BASADO EN 12% DE HUMEDAD	PROTEÍNA SOLUBLE, % DE PROTEÍNA TOTAL	PNDR CALCULADO	VALOR RELATIVO DE LA PASTA DE SOYA=100
2011	36.7	25.5	43.8	163
2012	36.7	28.8	44.3	187
2013	37.4	28.4	38.3	144
2014	35.7	27.3	35.0	132

¹Broderick, 2015

Alimentación con torta de canola de expulsora

El valor nutricional de la torta de canola con aceite residual (de expulsora) es similar al de la pasta extraída con solvente, excepto por los valores más altos de energía debido al contenido de grasa y posiblemente menos degradabilidad de la proteína en el rumen asociada con los métodos de procesamiento. Así como la pasta de canola extraída con solvente, la torta de expulsora es un ingrediente adecuado para la alimentación del ganado. El Cuadro 6, compara los efectos sobre la producción de leche de la pasta de canola, torta de canola de expulsora o torta de canola calentada de expulsora en la investigación que se llevó a cabo en la Universidad de Saskatchewan y más recientemente en la Universidad Estatal de Pensilvania. Los resultados indican que la inclusión de la torta de canola con aceite residual en dietas para vacas lecheras lactantes resulta en niveles similares de producción de leche (Beaulieu, et al., 1990 y Hristov, et al., 2011), o 0.9 a 2.3 kg/día adicional de leche (Jones, et al., 2001), en comparación con la pasta de canola extraída con solvente.

La torta de canola con aceite residual también ha sido favorablemente comparada con otras proteínas vegetales y puede mejorar el perfil de ácidos grasos de la leche. Johansson y Nadeau (2006) examinaron los efectos de la sustitución de un suplemento de proteínas comercial con torta de canola con aceite

residual en dietas orgánicas, y se observó un aumento en la producción de leche de 35.4 kg/día a 38.4 kg/día. En este estudio y otros, alimentar con torta de canola con aceite residual tiende a reducir el contenido de grasa saturada de la leche y aumenta el nivel de ácido oleico (C18:1). Una reducción en el contenido de ácido palmítico (C16:0) de la grasa de 30.3% a 21.9% y un aumento en ácido oleico de 15.7 a 20.9%. Hristov, et al. (2011) sustituyó la pasta convencional con torta de canola con aceite residual en dietas para vacas lecheras en producción. La torta de canola con aceite residual

disminuyó ácidos grasos saturados e incrementó el contenido de ácido oleico de la grasa de la leche. Esto sugiere que el aceite que queda en la torta de canola con aceite residual es algo resistente a la degradación en el rumen, y por lo tanto una porción es absorbida directamente en el intestino delgado.

Alimentación con semilla y aceite de canola

En el pasado, ha habido interés en la alimentación de aceite de canola protegido y semilla de canola. La investigación ha demostrado que estos productos se pueden utilizar en la producción de carne y leche. Un estudio realizado por Chicholowski, et al. (2005) demostraron los beneficios de alimentar la semilla de canola molida en comparación con torta de canola de expulsora en los rumiantes. La suplementación con semilla de canola molida resultó en una disminución de la proporción de omega 6 a omega 3 y una mayor proporción de ácido linoléico conjugado (CLA) y ácido trans vaccénico (precursor de CLA) en la leche, lo que sugiere que se puede producir un producto más saludable de esta manera, sin afectar la producción de leche.

Johnson, et al. (2002) observaron también un aumento en CLA y ácido oleico en la leche cuando la dieta se complementó con semilla de canola y algodón. Bayouthe, et al., (2000) observaron reducciones significativas en la grasa saturada en la leche cuando se alimento con semilla, molida o extrusionada.

Observaron también reducciones similares en el contenido de ácidos grasos saturados en la leche cuando se añadieron sales de calcio o ácidos grasos de canola a la dieta. A excepción de la semilla entera de canola, complementar con co-productos de canola altos en grasas mejoró también la producción de leche, lo que indica que si se añade semilla de canola procesada o aceite de canola protegido es posible alterar el perfil del ácido graso de los productos lácteos.

Además, se ha demostrado que el aceite de canola mejora el perfil de ácidos grasos de la grasa en vacunos de carne. Regla, et al. (1994) demostraron que la semilla de canola con todo su aceite aumentó el contenido de monoinsaturados y ácidos grasos omega 3 de la grasa subcutánea y la grasa muscular. He, et al. (2013) de manera similar demostró un perfil mejorado de ácidos grasos en la carne de vacuno en asociación con la fracción lipídica de la pasta. La incorporación de aceite de canola en la dieta de cabras en crecimiento aumentó el contenido muscular de omega 3, redujo la

grasa de los órganos y mejoró de la estabilidad oxidativa de la carne relativa a la alimentación de aceite de palma (Karami, et al., 2013).

El aceite de canola es rico en ácidos grasos insaturados. Los ácidos grasos insaturados han sido implicados en la depresión de la grasa en la leche a través de la producción de intermediarios de ácidos grasos trans en el rumen. La probabilidad de que el rumen forme estos compuestos intermedios depende de los ácidos grasos, así como el nivel de contribución de grasa de todos los ingredientes. He y Armentano (2011) demostró que la alimentación de ácido oleico y ácido linolénico producen menos depresión en la grasa de la leche que la misma cantidad de grasa a partir del ácido linoléico. El aceite de canola es rico en ácidos grasos insaturados (93%), pero rico en ácido oleico. El aceite en bruto puede contener también niveles más altos de ácidos grasos libres que el aceite refinado, debido a la eliminación de fosfolípidos durante el proceso de refinado del aceite. Después de refinar el aceite, las gomas y jabones residuales se añaden de nuevo a la pasta. He, et al. (2012) demostraron que las mezclas de

Cuadro 6. Producción de leche de vacas alimentadas con pasta de canola, torta de canola prensada o torta de canola calentada y prensada

REFERENCIA	PARIDAD	PERIODO DE MUESTRA	TRATAMIENTO	PRODUCCIÓN DE LECHE, ¹ KG
Beaulieu, et al., 1990	Multipartos y Primerizas	Desconocido	Pasta de canola	28.0
			Torta de canola prensada	28.0
Jones, et al., 2001	Primerizas	73 ± 17 DPP al inicio del ensayo	Pasta de canola	28.6
			Torta de canola prensada	30.9
			Torta de canola calentada y prensada	30.0
Jones, et al., 2001	Primerizas	73 ± 17 DPP al inicio del ensayo	Pasta de canola	23.6
			Torta de canola prensada	24.0
			Torta de canola calentada y prensada	25.2
Hristov, et al., 2011	Multipartos	Lactacion temprana	Pasta de canola	41.7
			Torta de canola prensada	39.7

¹Grasa corregida de la leche a 3.5%



INFORMACIÓN



RUMIANTES



CERDOS



AVES



PECES Y CRUSTACEOS

ácidos grasos libres que contenían concentraciones más altas de ácido linoléico eran más propensas a contribuir a la depresión de la grasa en la leche que las mezclas ricas en ácido oleico. La investigación reciente (Boerman y Lock, 2014) mostraron que la velocidad y grado de formación de los ácidos grasos intermedios trans fueron similares con los ácidos grasos libres y triglicéridos de la misma composición.

Efecto de la pasta de canola en la producción de leche en el ganado lechero

La mayor parte de la investigación relacionada con el valor alimenticio de la pasta de canola para rumiantes se ha enfocado a el ganado lechero. La pasta de canola es un excelente suplemento proteico para vacas lecheras en producción, y ha sido objeto de tres meta-análisis recientes.

Huhtanen, et al. (2011), compararon pasta de canola con pasta de soya. El conjunto de datos consistió en 292 tratamientos que se habían publicado en 122 estudios. El conjunto de datos se limita a incluir sólo los estudios en los que el aumento de proteína en la ración se llevó a cabo mediante la adición de pasta de canola, en comparación con pasta de soya. Por cada kilogramo adicional de proteína suministrada en la dieta, la producción de leche aumentó en 3.4 kg con pasta de canola, y 2.4 kg con pasta de soya, lo que muestra una ventaja de 1 kg para el uso de pasta de canola.

Martineau, et al. (2013) utilizaron un enfoque algo diferente. Estos investigadores examinaron los efectos de la sustitución de la proteína en la dieta con pastas alternativas con la misma cantidad de proteína proveniente de la pasta de canola. Hay 49 diferentes ensayos revisados por pares incluidos en el conjunto de datos que utilizaron. El nivel medio de pasta de canola probado fue de 2.3 kg, con el nivel de alimentación de 1 a 4 kg en los diversos estudios. En el nivel medio de la inclusión, la pasta de canola incrementó la producción de leche por 1.4 kg cuando se consideraron todas las proteínas, pero sólo en 0.7 kg cuando pasta de canola fue sustituida por pasta de soya. La producción de proteína de la leche siguió el mismo patrón.

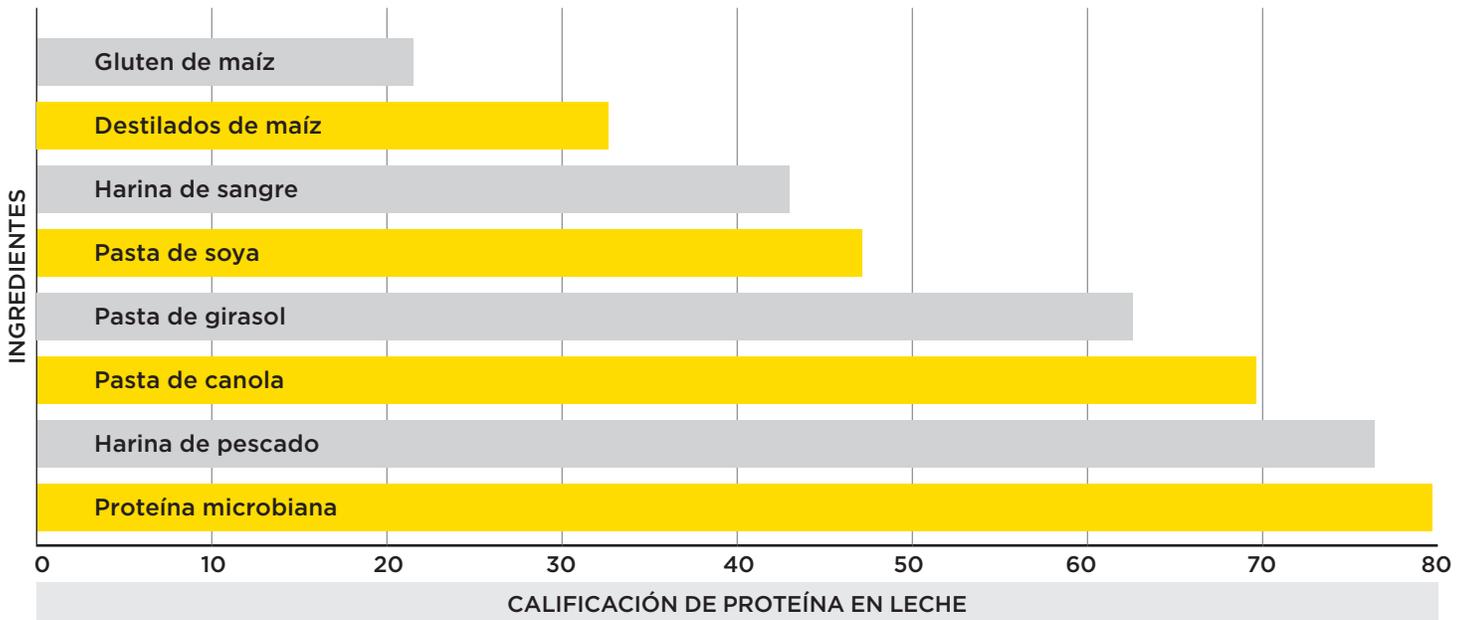
El mismo grupo de investigadores (Martineau, et al., 2014), realizaron un estudio de meta-análisis adicional para comparar canola con otras proteínas con respecto a las concentraciones de aminoácidos en plasma. La respuesta a la alimentación de canola en estos estudios demostraron que la pasta incrementó las concentraciones plasmáticas de los aminoácidos totales, esenciales totales y todos los aminoácidos esenciales individualmente. Además, la sangre y los niveles de nitrógeno-urea de la leche se redujeron. Este meta-análisis sugiere firmemente que la alimentación de pasta de canola aumentó la absorción de los aminoácidos esenciales, que eran responsables por el aumento de la secreción de proteínas de la leche y el aumento de eficiencia de utilización de la proteína.

Una medida de la calidad de la proteína para el ganado lechero es “Calificación de la proteína de la leche”, que relaciona la composición de aminoácidos de las fuentes de proteínas en comparación con la composición de aminoácidos de la proteína de la leche. La puntuación proteica de la leche de ingredientes comunes — según los cálculos de Schingoethe (1991) para las dietas basadas en maíz, maíz y ensilaje de alfalfa se muestra en la Figura 1. Pasta de canola tiene la puntuación más alta de todas las fuentes de proteínas vegetales.

Nivel de alimentación

No parece haber ninguna restricción práctica de la cantidad de pasta de canola que puede ser incluida en dietas para vacas lecheras en producción. Por ejemplo, Swanepoel (Swanepoel, et al., 2014) con vacas lecheras que producían más de 44 kg de leche con dietas que contenían 20% de pasta de canola, encontraron que el consumo se mantuvo alto. Así mismo, Brito, et al. (2007) reemplazaron el 12% de pasta de soya y harina de maíz 4.5%, con 16.5% de pasta de canola en dietas para vacas de alta producción. El consumo de materia seca se incrementó en 0.3 kg, mientras que la producción de leche aumentó en 1.1 kg.

Figura 1. Calificación de proteína en leche de ingredientes comunes para vacas lecheras (Schingoeth, 1991)



Alimentación de pasta de canola en combinación con los granos secos de destilería

El aumento reciente en la producción de etanol ha dado lugar a grandes cantidades de granos secos de destilería con solubles (DDGS) cada vez más accesibles a la industria de la alimentación. La composición de aminoácidos de los DDGS de maíz es relativamente pobre, lo que puede hacer difícil el uso del co-producto. Sin embargo, los estudios han demostrado que la pasta de canola se puede usar eficazmente en combinación con DDGS para restablecer el equilibrio de aminoácidos y maximizar el rendimiento de los animales (Mulrooney, et al., 2009; Swanepoel, et al., 2014), Cuadro 7. Las mezclas de pasta de canola y DDGS de trigo también han demostrado que soporta altos niveles de producción de leche (Chibisa, et al., 2012, 2013).

Se han realizado estudios en Saskatchewan comparando la pasta de canola con DDGS de trigo (Mutsvangwa, 2014a, 2014b). La fermentación ruminal,

flujo de proteína en el abomaso y producción de vacas lecheras fueron similares para los dos productos.

Ensayos de alimentación en China

La industria láctea en China está creciendo constantemente, y con ello, la necesidad de ingredientes proteicos confiables. En reconocimiento de esta necesidad, el Consejo de Canola de Canadá apoyó varios ensayos de demostración de alimentación en China en el año 2011. Todos los estudios implicaron ganado bien manejado, y con una producción de leche promedio de 35 L en todos menos un estudio, en el que la producción fue de 25 L, niveles muy similares a los encontrados en estudios norteamericanos.

Los resultados de los ensayos de demostración se proporcionan en el Cuadro 8. Incluso en cantidades bajas de inclusión, cuando se sustituye la pasta de canola por ingredientes proteicos de alto precio, la producción de leche se mantuvo o aumentó.

**Cuadro 7. Comparación de pasta de canola con destilados secos de maíz como fuente de proteína para vacas lecheras**

	% FUENTE DE PROTEÍNA AÑADIDA			
Pasta de canola	100	66	34	0
DDGS	0	34	66	100
	PRODUCCIÓN DE LECHE, KG/DÍA			
Mulrooney, et al., 2009 ¹	35.2	35.8	34.5	34.3
Swanepoel, et al., 2014 ²	47.3	47.9	47.1	44.9

¹El nivel más alto de pasta de canola fue 6.7% de la dieta como materia seca.

²El nivel más alto de pasta de canola fue 20% de la dieta como materia seca.

Alimentación de pasta de canola en ganado vacuno de carne

La pasta de canola se ha demostrado como un suplemento de proteína aceptable para el ganado vacuno de carne, en sustitución de varios productos de proteína vegetal. Esta aceptación se basa en una serie de ensayos de investigación que demuestran el valor de la pasta de canola para promover el crecimiento de los terneros jóvenes, así como el crecimiento y acabado del ganado.

Li, et al. (2013), suplementaron dietas para novillos de engorda con pasta de canola, destilados de trigo, de maíz o destilados de maíz de alto contenido proteico con urea. Todos los suplementados con proteína dieron un mejor rendimiento y una mayor ingesta de materia seca. La digestibilidad total fue más alta con pasta de canola, y la proteína total que entraba en el duodeno fue mayor para los destilados de maíz de alto contenido proteico, además de la urea. Yang, et al. (2013) encontraron que la suplementación con pasta de canola mejoró el consumo y la ganancia de peso en novillos de engorda. Los novillos alimentados con pasta de canola tuvieron ganancias medias diarias numéricamente superiores que alimentando con destilados de maíz y las ganancias estadísticamente más altas que los novillos que recibieron destilados de trigo.

Petit y Veira (1994) determinaron que la suplementación de ensilado de hierba con pasta de canola incrementaba la ganancia de peso en el crecimiento de novillos. El mismo grupo de investigadores alimentó pasta de canola para terminar terneros, y mejoró la ganancia de peso diaria y un menor número de días para llegar al peso deseado.

He, et al. (2013) alimentaron dietas de finalización de ganado que contenían 15 y 30% de pasta de canola en lugar de cebada. Tanto torta expulsada o pasta

Cuadro 8. Ensayos en que pasta de canola fue sustituida por otra fuente de proteína¹

LOCALIZACIÓN	DETALLES	CAMBIOS EN LA LECHE
Granja 1	352 vacas; estudio cruzado; sustitución directa de pasta de soya por pasta de canola (1.7 Kg/vaca/día)	-0.2L
Granja 2	325 vacas; estudio cruzado; sustitución directa de pasta de soya por pasta de canola (1.0 Kg/vaca/día)	0.6L
Granja 3	320 vacas; estudio cruzado; sustitución directa de pasta de soya por pasta de canola (0.7 Kg/vaca/día)	0.3L
Granja 4	1,700 vacas; igualando por producción y alimentadas por 80 días; sustitución directa de pasta de soya por pasta de canola (2.4 Kg/vaca/día)	1.0L
Granja 5	330 vacas; igualando por producción; sustitución directa de pasta de soya y pasta de algodón por pasta de canola (1.7 Kg/vaca/día)	1.2 L

¹No se observó diferencia en composición de la leche en ninguno de los ensayos (Wang, 2013)



extraída con solvente fueron evaluados en ambos niveles de inclusión. No hubo diferencias en la ganancia diaria de peso. Las dietas con un alto nivel de pasta de canola aumentaron el consumo de materia seca y redujeron la eficiencia alimentaria en relación con el nivel más bajo y el control con cebada. Si bien es raro alimentar a niveles tan altos de pasta de canola, el estudio mostró que el ganado no tenía aversión a ella.

La pasta de canola se ha utilizado como complemento proteico en alimentación de vacas de carne gestantes y lactantes. Patterson, et al. (1999a, 1999b) evaluaron frijoles, pasta de girasol o de pasta de canola como suplemento proteico para las vacas de carne en pastoreo en pastos de mala calidad. Resultados en el peso de terneros al nacer, peso al destete de terneros y cambios de condición del cuerpo de la vaca fueron similares para todas las pastas utilizadas. La pérdida de peso durante la gestación fue más bajo alimentando pasta de canola. Un estudio realizado por Auld, et al. (2014) pusieron de manifiesto que las vacas de carne en pastoreo producen más leche cuando el trigo fue parcialmente sustituido por pasta de canola en el suplemento alimenticio.

Alimentación de pasta de canola en raciones para terneros

La pasta de canola se puede utilizar en el crecimiento de terneros de leche y carne sin restricciones. Anderson y Schoonmaker (2004), compararon pasta de canola con legumbres (guisantes, garbanzos y lentejas) como fuente proteica para los terneros de carne post-destete con dietas conteniendo 16% de proteína bruta. Los terneros con la dieta de pasta de canola ganaron ligeramente menos (1.67 en comparación con 1.89 kg/día), pero tuvieron mejor rendimiento de alimento por ganancia de peso (4.1 vs. 3.8) con la dieta que contenía 9.4% de pasta de canola. En un estudio reciente en terneros, Terré y Bach (2014) evaluaron la ingesta de 18% de proteína cruda en dietas de iniciación y las tasas de crecimiento de terneros con dietas en las que la fuente primaria de proteínas era pasta de canola o de soya. El consumo de alimento y

los valores de ganancia de peso fueron similares para las dos dietas. Los investigadores llegaron a la conclusión de que no eran necesarios los agentes aromatizantes en las dietas de los terneros alimentados con pasta de canola.

A diferencia de la pasta de canola, pasta de soya contiene altas concentraciones de fitoestrógenos. Gordon, et al. (2012) proporcionaron dietas que contenían pasta de soya o pasta de canola a las novillas lecheras de 8 a 24 semanas de edad. Las vaquillas se colocaron a continuación en una dieta común hasta las 60 semanas de edad, momento en el que fueron servidas. Las tasas de embarazo fueron 66.7% para las novillas alimentadas con pasta de canola durante el desarrollo prepuberal, pero sólo el 41.7% de las novillas que habían recibido la pasta de soya. En un estudio canadiense, Miller-Cushon, et al. (2014) encontraron que ofreciendo a los terneros antes del destete dietas en forma de pellets bajas en proteína tanto de pasta de soya o pasta de canola, eligieron consumir más los pellets de soya que de pasta de canola. Esto indica una investigación necesaria para evaluar la ingesta de alimento de iniciación de terneros comparativos con todos los ingredientes mezclados en la dieta.

Alimentación de pasta de canola para los rumiantes pequeños

La pasta de canola es un complemento ideal para la producción de lana y mohair, debido al alto requerimiento de aminoácidos sulfurados de estos animales (Reis, et al., 1990). Además, la pasta de canola ha demostrado soportar el aumento de peso de estos animales de carne. Altramuces han sido tradicionalmente la proteína vegetal de elección para los corderos en Australia, pero Wiese (2004) determinó que la pasta de canola es superior a los altramuces en soportar la ganancia de peso (272 frente a 233 gramos/día) y la eficiencia alimenticia. Recientemente, Malau-Aduli, et al. (2009) también encontraron que la pasta de canola fue superior a los altramuces para el aumento de peso de corderos. En un estudio realizado en Canadá (Agbossamey, et al.,



INFORMACIÓN



RUMIANTES



CERDOS



AVES



PECES Y
CRUSTACEOS

1998), la pasta de canola fue superior a la harina de pescado en dietas para ovinos en crecimiento.

La pasta de canola es también compatible con el crecimiento de los rumiantes pequeños. Mandiki, et al. (1999) alimentaron corderos con dietas que contenían hasta un 30% de pasta de canola-calidad colza (6.3 $\mu\text{mol/g}$ de glucosinolatos en el concentrado). No hubo diferencias sobre la ganancia de peso o el consumo de alimento, a pesar del hecho de que el peso de la tiroides fue ligeramente superior y la producción de la hormona tiroidea fue ligeramente inferior a los niveles más altos de inclusión en la dieta de pasta de colza.

La temperatura de procesamiento de la pasta de canola puede ser importante en la alimentación de ovejas y posiblemente en otros rumiantes pequeños. Konishi, et al. (1999) demostraron que el tratamiento térmico excesivo de la pasta de canola suprime la degradación de fitato en el rumen y dio lugar a una menor disponibilidad de fósforo en la dieta. La medida en que disminuye la degradación de fitato fue mayor en la pasta de canola que en la pasta de soya. Petit, et al. (1997) observaron un efecto diferente del tratamiento térmico. Compararon degradabilidad de nutrientes de la dieta de soya integral y de soya entera extruida y semillas de canola en el rumen de corderos en crecimiento. Encontraron que la extrusión de la semilla de canola incrementó la materia seca y la degradabilidad de nitrógeno seco, pero disminuyó la degradación del nitrógeno de la soya.

INFORMACIÓN



RUMIANTES



CERDOS



AVES



PECES Y
CRUSTACEOS



VALOR DE LA PASTA DE CANOLA EN LA DIETA PARA CERDOS

El adelanto genético de la canola a partir de colza ha hecho la pasta de canola un ingrediente convencional para cerdos, especialmente para cerdos en desarrollo y finalización, y más recientemente en cerdos destetados. La pasta de canola es aceptada por los cerdos y con la formulación adecuada de la dieta puede incluirse en niveles cada vez más altos en la dieta durante todas las fases de crecimiento.





La adopción en América del Norte de sistemas más precisos de evaluación de la calidad de los alimentos por energía y aminoácidos, compensa cualquier reducción del rendimiento inesperado asociado con la pasta de canola que pueden haber sido observados en el pasado debido a las limitaciones en la digestibilidad de nutrientes. Específicamente, los aminoácidos deben caracterizarse como aminoácidos estandarizados o aminoácidos ileales digeribles (Stein, et al., 2007). Además, el sistema de energía neta (EN) caracteriza con mayor precisión el valor de la energía de la pasta de canola en comparación con otros ingredientes. La implementación del sistema EN es crítica para el uso eficaz de los co-productos tales como pasta de canola en dietas para cerdos (Zijlstra y Beltranena, 2013b), a pesar de que la pasta de canola se ha introducido con éxito en dietas para cerdos utilizando la energía digestible (ED) y el sistema de energía metabolizable (EM) para la valoración de la energía de la dieta. Restricciones para los niveles de inclusión de pasta de canola pueden permanecer en la práctica, pero están siendo continuamente desaprobadas y desafiadas por los investigadores en los últimos años. Esta nueva información permitirá a la pasta de canola alcanzar su potencial en la formulación de alimentos.

Los datos actuales muestran claramente que las dietas que contienen pasta de canola, cuando se formulan adecuadamente, soportan altos niveles de crecimiento. El valor nutritivo de la pasta de canola para la especie porcina se está comprendiendo cada vez mejor y la principal limitación para el valor y la inclusión es el contenido de energía disponible, especialmente cuando se mide como la energía neta. Información inadecuada de nutrientes digestibles en la pasta de canola ha dado lugar a algunos problemas con peor rendimiento de los cerdos en el pasado. En última instancia, la relación entre el costo de los ingredientes y el contenido de nutrientes determinará el nivel apropiado de inclusión de pasta de canola en dietas formuladas debidamente.

Consumo de alimento

El efecto de la composición de los piensos en el consumo de alimento de los cerdos es difícil de evaluar de manera objetiva, teniendo en cuenta los muchos factores involucrados (Nyachoti, et al., 2004). Variables como la palatabilidad del ingrediente, el nivel de inclusión en la dieta, otros ingredientes en la mezcla de los alimentos, energía, contenido de fibra (densidad aparente) y equilibrio mineral afectan el consumo de alimento. Para la pasta de canola, hay varios factores que tienen el potencial para reducir el consumo de alimento, como los glucosinolatos, taninos, sinapina, fibra y el equilibrio mineral, que se explican con más detalle en el capítulo “Composición de Nutrientes de la Pasta de Canola” de esta guía. Ciertamente, los glucosinolatos representan un factor negativo en el consumo de alimento en cerdos. Aparte de sus efectos anti-nutritivos, glucosinolatos tienen un sabor amargo para muchos animales. La pasta de canola producida en Canadá, con bajos niveles de glucosinolatos (4.2 $\mu\text{mols/g}$), tiene un sabor muy neutro. Aparte de los glucosinolatos, probablemente hay otras causas que desempeñan un papel, sobre todo en situaciones en las que se observa una reducción en el consumo de alimento de las dietas con pasta de canola.

Landero, et al. (2012) llevaron a cabo ensayos de preferencias de ingredientes con cerdos destetados, dada la posibilidad de elegir entre la pasta de soya o pasta de canola. Se observó una fuerte preferencia por la pasta de soya, lo que concuerda con la literatura sin embargo, cuando no se les dio ninguna opción, pasta de canola se incluyó hasta un 20% en la dieta sin afectar el consumo de alimento o el rendimiento del crecimiento. Además, Sanjayan, et al. (2014) alimentaron aumentando los niveles de canola en la dieta con excelentes resultados.

Energía

La pasta de canola a menudo se considera una fuente pobre de energía para dietas de cerdos, debido a la alta cantidad de fibra y una matriz compleja de hidratos de

carbono con digestibilidad limitada. Formulación de la dieta basada en la energía neta (EN) permite la inclusión adecuada de pasta de canola en dietas para cerdos a fin de no afectar el rendimiento. Los valores de energía publicados por el Consejo Nacional de Investigación (NRC, 2012) se dan en el Cuadro 1 y se basan en información histórica. Recientemente, Maison, et al. (2015) determinaron valores de energía digestible (ED) de 3,378 Mcal/kg en materia seca y 3,127 Mcal/kg de energía metabolizable (EM) en base a materia seca.

Cuadro 1. Valores de energía disponible de la pasta de canola para cerdos (basados en 12% de humedad)¹

DE (kcal/kg)	3,154
ME (kcal/kg)	2,903
NE (kcal/kg)	1,821

¹NRC, 2012

Digestibilidad de los aminoácidos

Una clave para el uso de altos niveles de pasta de canola en dietas para cerdos es formular las dietas correctamente por aminoácidos digestibles. La digestibilidad de los aminoácidos principales en la pasta de canola es menor que en la pasta de soya. Como resultado, cuando la pasta de canola reemplaza la pasta de soya en la dieta, los niveles generales de aminoácidos digestibles, especialmente lisina y treonina, disminuirán si la dieta es balanceada solamente con niveles de aminoácidos totales. Las dietas en los experimentos anteriores de alimentación con pasta de canola fueron balanceadas a los mismos niveles de proteína cruda, aminoácidos esenciales total y energía total. Sin embargo, se observó que la tasa de crecimiento fue menor en comparación con los cerdos alimentados con pasta de soya (Baidoo, et al., 1987; Bell, et al., 1988; Bell, et al., 1991; McIntosh, et al., 1986), porque los niveles de lisina digestible disminuyeron a medida que el nivel de inclusión de pasta de canola aumentaba en las dietas.

Actualmente, las dietas de cerdos se formulan a niveles de aminoácidos digeribles en lugar de los aminoácidos totales. En ensayos recientes de alimentación con pasta

de canola en inicio, crecimiento y finalización de cerdos, en los que las dietas fueron balanceadas a los mismos niveles de lisina digestible (Hickling, 1994; Hickling, 1996; King, et al., 2001; Mateo, et al., 1998; Mullan, et al., 2000; Patience, et al., 1996; Raj, et al., 2000; Robertson, et al., 2000; Roth-Maier, 2004; Siljander-Rasi, et al., 1996; Sanjayan, et al., 2014; Landero, et al., 2012; Landero, et al., 2011b; Smit, et al., 2014A; y Smit, et al., 2014b), resultaron en una tasa de crecimiento equivalente a lo que se encuentra típicamente con la pasta de soya como fuente primaria de proteína, incluso a niveles muy altos de inclusión de pasta de canola. Además, los experimentos mostraron que los aminoácidos en dietas para cerdos

Cuadro 2. Digestibilidad ileal estándar (DIE) de los aminoácidos de la pasta de canola en cerdos

AMINOÁCIDO	DIE % DE MS
Alanina	80.3
Arginina	90.7
Aspartato + asparagina	78.6
Cistina	81.8
Glutamato + glutamina	89.5
Glicina	77.7
Histidina	87.2
Isoleucina	81.2
Leucina	81.4
Lisina	80.3
Metionina	85.4
Fenilalanina	73.8
Prolina	84.6
Serina	83.4
Treonina	77.9
Tirosina	78.4
Valina	78.3

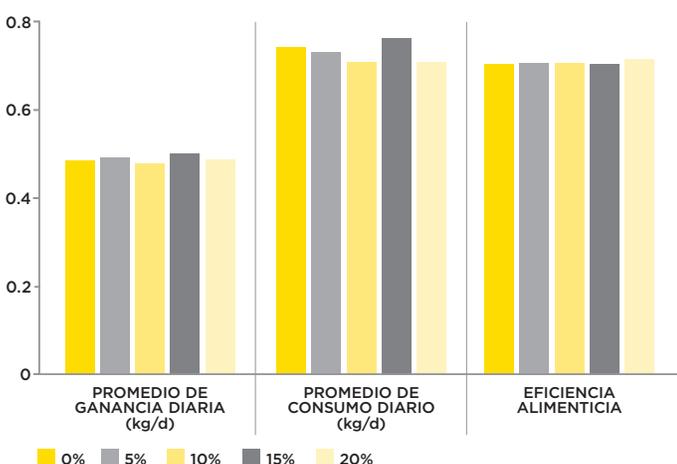
Trindade Neto, et al., 2012. Sanjayan, et al., 2010

deberán ser formulados sobre la base de la digestibilidad ileal, o de aminoácidos estandarizados (Nyachoti, et al., 1997). Digestibilidad ileal estandarizada (DIE) de aminoácidos es ahora la unidad de medida preferida para los cerdos (Stein et al., 2007). Uso de DIE corrige de forma fiable por las pérdidas endógenas basales relacionadas con el proceso de digestión del animal, así como indigestibilidad relacionadas con el ingrediente. El Cuadro 2 en la página anterior proporciona los resultados de un estudio reciente llevado a cabo para determinar la digestibilidad ileal estandarizada de aminoácidos.

Enzimas

La adición de enzimas es una vía para aumentar la energía disponible en las dietas que incluyen pasta de canola. Enzimas multi-carbohidrasas se han desarrollado y utilizado como un medio para extraer energía de la pared celular de polisacáridos no amiláceos. Sanjayan, et al. (2014) incluyeron enzimas carbohidrasas múltiples en las dietas de cerdos destetados incrementando las inclusiones de pasta de canola. Los resultados de crecimiento no mejoraron,

Figura 1. Resultados de rendimiento de cerdos destetados con inclusión de hasta 20% de pasta de canola en dietas formuladas por EN y DIE de los valores de AA^{1,2}



¹Landerer, et al., 2011 b

²Durante el estudio, el uso de 20% de pasta de canola reduzo el precio del pienso por \$ 11.90 por TM y el costo del alimento por ganancia de peso por 2 centavos/kg (Zijlstra, 2015. Comunicación personal)

pero la adición de enzimas incrementó el coeficiente de digestibilidad total aparente de proteína cruda (DAPC) con inclusión del 20% y el 25% de inclusion de pasta de canola en las dietas experimentales.

Al igual que con muchas pastas de semillas oleaginosas, gran parte del fósforo en la pasta de canola está unido por el ácido fítico. El ácido fítico reduce la disponibilidad del fósforo al 25-30% del total (NRC, 2012). Es una práctica común añadir la enzima fitasa a dietas para cerdos y aves para mejorar la disponibilidad de fósforo. Akinmusire y Adeola (2009) determinaron que la digestibilidad de fósforo en la pasta de canola aumentó desde 31 hasta 62% cuando la fitasa fue incluida en la dieta. En un estudio González-Vega, et al., 2013 también demostraron que la adición de la enzima fitasa aumentó la disponibilidad de calcio en la pasta de canola de 47% al 70%, al mismo tiempo que aumentó la disponibilidad de fósforo al 63%.

Tolerancia a los glucosinolatos

Los glucosinolatos en la pasta de canola son factores anti-nutricionales para el cerdo. En los primeros años en que se utilizó la pasta de canola, el nivel máximo de glucosinolatos que los cerdos podían tolerar en la dieta fue definida por varios investigadores. En una revisión de la investigación anterior sobre la pasta de canola, se sugirió un nivel máximo en las dietas de cerdos de 2.5 $\mu\text{mol/g}$ de glucosinolatos (Bell, 1993). Dos estudios posteriores apoyaron esta recomendación (Schöne, et al., 1997a, 1997b). En el primer estudio, cerdos en crecimiento de un peso aproximado entre 20 y 50 kg fueron alimentados con una variedad de dietas que contenían los mismos niveles de pasta de canola, pero variando en el contenido total de glucosinolatos de 0 a 19 $\mu\text{mol/g}$ (Schöne, et al., 1997a). Un nivel mayor que 2.4 $\mu\text{mol/g}$ de glucosinolatos en la dieta tenía efectos negativos sobre el consumo de alimento, la tasa de crecimiento y la función de la tiroides. En el segundo estudio, el máximo nivel seguro de glucosinolatos se determinó en 2.0 $\mu\text{mol/g}$ de dieta (Schöne, et al., 1997b). Dado que la pasta de canola canadiense contiene, en promedio, 4.2 $\mu\text{mol/g}$ de glucosinolatos, esto correspondería a un nivel máximo de inclusión de



pasta de canola de 47% en dietas de cerdos en crecimiento, un valor mayor de lo necesario en la formulación comercial para cumplir con los requerimientos de aminoácidos para una dieta a base de cereales. Estudios recientes han demostrado que los cerdos en crecimiento y acabado rinden bien con dietas que contienen hasta un 30% de pasta de canola (Smit, et al., 2014a), alcanzando un contenido calculado de glucosinolatos de 1.3 $\mu\text{mol/g}$ de dieta. El nivel máximo tolerable de glucosinolatos en dietas para cerdos sigue siendo de interés y los esfuerzos genéticos en la canola se han centrado en una mayor reducción de los glucosinolatos en la semilla de canola. Los niveles actuales de glucosinolatos están demostrando que no hay limitaciones para la inclusión de pasta de canola en dietas de crecimiento y acabado.

Cerdos en iniciación (6-20 Kg)

Hasta hace poco, la literatura disponible demostró una reducción del rendimiento en cerdos jóvenes alimentados con pasta de canola a niveles superiores al 5% (Bourdon y Aumaitre, 1990; Lee y Hill, 1983). Sin embargo, nueva investigación ha traído a la luz una historia muy diferente sobre la inclusión de pasta de canola en cerdos destetados. Landero, et al. (2011) demostraron que la pasta de canola se puede alimentar a los cerdos destetados con un peso corporal inicial de 8.1 kg, a niveles hasta 200 g/kg sin afectar negativamente el rendimiento. Esto se demostró de nuevo en 2014 por Sanjayan, et al., donde la pasta de canola se incluyó en un 25% de la dieta de los cerdos destetados (peso inicial de 7.26 kg), con resultados de rendimiento altamente aceptables después de la primera semana del ensayo. La principal diferencia de estos dos estudios, en comparación con el trabajo anterior, es que ambos grupos de investigación formulan dietas basadas en energía neta (EN) y digestibilidad ileal estandarizada (DIE).

Cerdos en desarrollo y finalización (20-100 kg)

En las etapas de desarrollo y finalización del cerdo, se puede alimentar pasta de canola a niveles más elevados y soportará excelente rendimiento en los

cerdos. Una serie de estudios han demostrado que cuando las dietas son formuladas por energía neta y niveles de aminoácidos digeribles (DIE), el rendimiento es el mismo que con pasta de soya con niveles de inclusión en la dieta de pasta de canola hasta 25% (Brand, et al., 2001; Hickling, 1994; Hickling, 1996; King, et al., 2001; Mateo, et al., 1998; Patience, et al., 1996; Raj, et al., 2000; Robertson, et al., 2000; Roth-Maier, 2004; y Siljander-Rasi, et al., 1996). Los resultados de dos de estos estudios se presentan en detalle en los Cuadro 3a y 3b.

El Consejo de Canola de Canadá patrocinó una serie de ensayos de alimentación en el crecimiento y acabado de cerdos en Canadá, México y Filipinas para demostrar que formulando las dietas a base de aminoácidos digestibles mejorará los resultados de rendimiento del cerdo. Smit, et al. (2014b) alimentaron cerdos durante el período de crecimiento y acabado con pesos inicial de 29.9 kg, cinco dietas que contenían diferentes niveles de pasta de canola hasta 240 g/kg, mientras que también incluían 150 g/kg de granos secos de destilería con solubles en todas las dietas. Los cerdos alimentados con 240 g/kg en comparación con los alimentados con 60 g/kg de pasta de canola alcanzaron el peso de mercado tres días más tarde, pero no tuvieron diferencia en características de la canal. Smit, et al. (2014a) luego alimentaron cerdos en crecimiento y acabado con pasta de canola hasta 300 g/kg. Hubo una ligera reducción en el rendimiento y características de la canal entre los cerdos alimentados con 200 g/kg y los de 300 g/kg, aunque se mejoró la eficiencia alimenticia.

Ensayos Canadienses de alimentación

Tres ensayos de alimentación se llevaron a cabo en el Oeste de Canadá — uno en cada provincia en Manitoba, Saskatchewan y Alberta. Los ensayos se llevaron a cabo en diferentes épocas del año y con cerdos de diferentes orígenes genéticos. La composición de la dieta en general fue similar entre los tres lugares. Las dietas fueron balanceadas a mínimos de lisina y treonina digeribles, los cuales fueron considerados como el primer y segundo aminoácidos limitantes (las dietas fueron balanceadas en base a

Cuadro 3a. Resultados del estudio canadiense: Rendimiento de cerdos en desarrollo (20-60 kg) y en finalización (60-100 kg) alimentados con dietas suplementadas con pasta de soja (PS) y pasta de canola (PC)¹

INGREDIENTES	DESARROLLO			FINALIZACIÓN		
	P.SOYA	MEDIANO PC	ALTO PC	P.SOYA	MEDIANO PC	ALTO PC
Cebada	62	53	48	60	48	40
Trigo	13	20	24	19	29	35
Pasta de soja	20	16	13	16	10	5
Pasta de canola	—	6	10	—	8	15
Aceite de canola	1	1	1	1	1	1
L-lisina	0.04	0.07	0.10	0.06	0.12	0.15
Otros	4	4	4	4	4	4
Nutrientes						
Proteína cruda (%)	17.6	17.8	17.9	16.4	16.5	16.6
ED (kcal/kg)	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200
Lisina total (%)	0.94	0.94	0.95	0.81	0.82	0.83
Lisina digestible (%)	0.75	0.75	0.75	0.65	0.65	0.65
Met + cist total (%)	0.61	0.64	0.66	0.54	0.59	0.63
Met + cist digestible (%)	0.49	0.52	0.54	0.43	0.48	0.51
Treonina total (%)	0.66	0.66	0.67	0.56	0.58	0.59
Treonina digestible (%)	0.47	0.47	0.47	0.40	0.40	0.40
Rendimiento						
Prom. consumo, kg	1.905	1.928	1.887	3.061	3.113	3.083
Prom. ganancia, kg	0.456	0.765	0.767	0.841	0.830	0.822
Conversión alimenticia	2.52	2.52	2.46	3.64	3.75	3.75

¹Hickling, 1994

Cuadro 3b. Resultados del estudio canadiense (continuación)

PERIODO TOTAL	P. SOYA	MEDIANO PC	ALTO PC (20-100 KG)
Prom. consumo, kg	2.461	2.498	2.465
Prom. ganancia, kg	0.799	0.798	0.795
Conversión alimenticia	3.08	3.13	3.10
Rendimiento de la canal	78	78	78
Indice	107	107	107



proteína ideal). Suplementación de lisina HCl se utilizó para cumplir con los mínimos de lisina digestible. Los mínimos de treonina digestible se lograron con piensos de origen vegetal en la dieta, aumentando el nivel de proteína cruda en las dietas con pasta de canola. Las dietas fueron isocalóricas, logradas mediante el aumento de la cantidad de trigo con respecto a la cebada en las dietas de pasta de canola. La composición de la dieta y los resultados combinados de los ensayos se muestran en los Cuadros 3a y 3b (Hickling, 1994). El rendimiento de los cerdos fue equivalente, tanto numérica como estadísticamente para las tres dietas. Contrariamente a la creencia popular, no hubo disminución en el consumo de alimento con el aumento de los niveles de pasta de canola en la dieta. No hubo diferencia en la calidad de las canales de cerdo, basadas en el rendimiento de la canal y grasa dorsal.

Ensayos en México

Tres ensayos de alimentación se llevaron a cabo en tres estados de México — Nuevo León, Sonora y Michoacán (Hickling, 1996). El objetivo era duplicar el rendimiento que se encuentra en los ensayos de alimentación en Canadá, pero utilizando ingredientes mexicanos (en dos de los ensayos de alimentación se utilizó sorgo como la base de granos en la dieta y en el tercero utilizó maíz) y las condiciones mexicanas (medio ambiente, genética porcina y de manejo). Además, la pasta de canola utilizada en los ensayos se produjo a partir de semilla de canola canadiense por los procesadores de semilla oleaginosas de México. El diseño era muy similar a los ensayos canadienses. Se utilizaron tres tratamientos dietéticos — un control, una dieta mediana en pasta de canola y una dieta alta en pasta de canola. Las dietas fueron balanceadas para un mínimo de aminoácidos digeribles, proteína ideal y niveles iguales de energía. Las dietas y los resultados se muestran en el Cuadro 4. Así como en los resultados canadienses, el crecimiento, eficiencia alimenticia y el rendimiento en canal observados fueron equivalentes en los tres tratamientos. Variación del rendimiento entre los lugares fue debido

principalmente a la genética del cerdo y los efectos estacionales.

Cerdos de cría

La pasta de canola ha sido aceptada en dietas para cerdas y cerdas de reemplazo, tanto en la gestación y períodos de lactancia. Flipot y Dufour (1977) no encontraron diferencias en el rendimiento reproductivo entre cerdas alimentadas con dietas con o sin pasta de canola al 10%. Lee, et al. (1985) no encontraron diferencias en el comportamiento reproductivo de las cerdas de reemplazo de una camada. Estudios realizados en la Universidad de Alberta (Lewis et al., 1978) no han mostrado diferencia en el rendimiento reproductivo de las cerdas de reemplazo a través de dos ciclos reproductivos cuando fueron alimentadas con dietas que contenían hasta 12% de pasta de canola. Algo más recientemente, con niveles de 20% de pasta de canola, no afectó a la actividad de las cerdas en lactación (King, et al., 2001). Los resultados sugieren que la pasta de canola pueden ser la fuente principal de proteína suplementaria en primerizas y cerdas en todas las fases de reproducción. La pasta de canola podría ser reducida en dietas de cerdas que están formuladas para niveles máximos de fibra con el fin de limitar la fermentación en el colon. En su mayor parte, sin embargo, los productores están aceptando la pasta de canola como una alternativa para suplementar la fuente proteica en dietas para las cerdas. Aún así, existe cierta preocupación infundada sobre el consumo diario de cerdas lactantes alimentadas con dietas a base de pasta de canola. Estas preocupaciones no son soportadas por la investigación.

Brown y Setchall (2001) observaron que la pasta de soya contiene altos niveles de fitoestrógenos, y que los investigadores tienen que estar alerta de sus efectos biológicos. Csaky y Fekete (2004) encontraron que los niveles de fitoestrógenos de soya pueden ser muy variables en función de la época del año, el origen y variedad de la misma. Estos investigadores observaron que estos compuestos han demostrado interferir con el rendimiento reproductivo, tanto en machos como en hembras. Se necesitan más estudios en cerdos para



Cuadro 4. Resultados de los ensayos mexicanos: Rendimiento promedio de cerdos en desarrollo (20-60 kg) y en finalización (60-100kg) alimentados con dietas suplementadas con pasta de soja (PS) y pasta de canola (PC)¹

INGREDIENTES	DESARROLLO						FINALIZACIÓN					
	P.SOYA		MEDIANO PC		ALTO PC		P.SOYA		MEDIANO PC		ALTO PC	
Sorgo	72	—	68	—	66	—	76	—	72	—	70	—
Maíz	—	72	—	67	—	66	—	76	—	72	—	70
Pasta de soja	24	24	19	20	16	17	20	19	13	12	10	9
Pasta de canola	—	—	8	8	12	12	—	—	10	10	15	15
Grasa	—	—	1	1	2	1	—	—	1	1	2	1
L-lisina	—	—	0.33	—	0.47	—	—	—	0.50	0.50	0.70	0.70
Otros	4	4	4	4	4	4	4	5	4	5	3	5
Nutrientes												
Proteína cruda (%)	17.6		17.7		17.9		16.0		16.2		16.4	
ED (Kcal/kg)	3,150		3,150		3,150		3,160		3,160		3,160	
Lisina total (%)	0.92		0.93		0.94		0.81		0.82		0.83	
Lisina digestible (%)	0.75		0.75		0.75		0.65		0.65		0.65	
Met + cist total (%)	0.58		0.63		0.65		0.55		0.58		0.61	
Met + cist digestible (%)	0.45		0.47		0.49		0.41		0.44		0.46	
Treonina total (%)	0.71		0.71		0.72		0.63		0.63		0.64	
Treonina digestible, %	0.53		0.53		0.53		0.47		0.47		0.47	
Rendimiento												
Prom. consumo, kg	2.17		2.23		2.18		3.22		3.21		3.12	
Prom. ganancia, kg	0.778		0.773		0.764		0.851		0.833		0.824	
Conversión	2.78		2.87		2.86		3.79		3.85		3.79	
PERIODO TOTAL (20-100 KG)												
Prom. consumo, kg	P. SOYA				MEDIO PC				ALTO PC			
Prom. ganancia, kg	0.818				0.807				0.797			
Conversión alimenticia	3.32				3.39				3.35			
Rendimiento de carne, %	48.6				48.8				49.3			
Grasa dorsal, cm	2.38				2.33				2.15			

¹Hickling, 1996



comprobar si las proteínas alternativas, como la pasta de canola pueden mejorar rendimiento reproductivo.

Alimentación con torta de canola de expulsora

La torta de canola sin extraer el aceite residual con solvente es una mejor fuente de energía además de proteína en raciones para cerdos. Bran, et al. (2001) estudiaron los efectos de la inclusión de torta de canola sin extraer el aceite residual en raciones de desarrollo y finalización. Las dietas estaban compuestas de hasta 29.2% de torta de expulsora y no se encontraron efectos sobre el consumo de alimento, conversión alimenticia o aumento de peso vivo, lo que indica que la torta con aceite residual es un ingrediente efectivo. En 2012, Landero, et al. alimentaron dietas incrementando el nivel de torta de canola con aceite residual a cerdos jóvenes comenzando una semana después del destete, y determinaron que cuando las dietas se formulan para igualar los valores de EN y DIE, torta de canola con aceite residual puede sustituir la pasta de soya a un nivel de 200 g/kg. Como es el caso con otras especies, es importante analizar el contenido de aceite residual de la pasta antes de la formulación y así, asignar el contenido de energía que corresponda.

El contenido de grasa de la torta de canola con aceite residual varía mas por la eficiencia del prensado que por el origen de la semilla, por lo que el producto debe ser analizado de forma rutinaria y asignar el contenido de energía correspondiente. Woyengo, et al. (2009) determinaron ED de 4,107 kcal/kg en la torta de canola con 12% de aceite residual en base a materia seca (MS). El contenido de energía de la torta en kcal/kg se puede calcular como $ED = 2,464 + (\% \text{ de grasa} * 63)$; $EM = 2,237 + (\% \text{ de grasa} * 62)$; y EN se puede calcular utilizando la siguiente ecuación: $1,800 + (\% \text{ de grasa} * 70) = \text{kcal/kg}$. Por ejemplo, una torta con 10% de grasa tendría una EN de $1,800 + (10 * 70) = 2,500 \text{ kcal/kg}$. Woyengo, et al. (2009) de la misma manera evaluaron el DIE de aminoácidos en la torta de canola con aceite residual, y estos resultados se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Digestibilidad ileal estándar de los aminoácidos en torta de canola prensada en crecimiento de cerdos¹

AMINOÁCIDO	DIE % DE MS
Alanina	78.6
Arginina	87.4
Aspartato + asparagina	87.2
Cistina	76.3
Glutamato + glutamina	88.0
Glicina	76.8
Histidina	83.2
Isoleucina	83.2
Leucina	83.0
Lisina	71.9
Metionina	85.7
Fenilalanina	86.2
Prolina	83.3
Serina	77.6
Treonina	73.6
Triptófano	83.9
Tirosina	86.7
Valina	77.2

¹Woyengo, et al. (2010), Seneviratne, et al. (2014)

Alimentación con semilla y aceite de canola

El aceite de canola es utilizado en forma rutinaria para todo tipo de cerdos. El aceite de canola crudo es a menudo una fuente económica de energía, además de ser un supresor de polvo en el alimento. La semilla de canola también se utiliza como una fuente de proteína y energía, a pesar de que normalmente se limita a 10% inclusión en la dieta, puesto que niveles elevados producen una grasa más blanda en la canal (Kracht, et al., 1996). La semilla de canola debe ser rodada/molida antes de utilizarse como alimento. Puede darse cruda, aunque el tratamiento de calor puede resultar



Cuadro 6. Niveles (%) de inclusión práctica de torta en dieta de cerdos

TIPO DE DIETA	NIVEL DE INCLUSIÓN	RAZONES POR EL NIVEL DE INCLUSIÓN
Iniciador	20	Resultados de altos rendimientos reportados con 20% de inclusión
Desarrollo y finalizador	25	Resultados de altos rendimientos reportados con 25% de inclusión
Lactación	20	Sin datos disponibles a partir de 15% de inclusión
Gestación	—	Sin datos disponibles
Verracos	—	Sin datos disponibles

beneficioso, siempre y cuando no sea excesivo durante el procesamiento por que reduciría la digestibilidad de los aminoácidos. Un análisis de los nutrientes también debe llevarse a cabo en la semilla de canola, ya que puede ser semilla que no sea adecuada para los procesadores de canola. Montoya y Leterme (2010) estimaron un contenido EN de semilla de canola entera de 3.56 Mcal/kg (base seca), pero señalaron una posible subestimación debido a una reducción demostrada en el consumo de alimento y el rendimiento en niveles de inclusión en la dieta por encima de 10% para crecimiento de cerdos.

Niveles de inclusión práctica de pasta de canola en dietas para cerdos

Los niveles prácticos de inclusión recomendados para la pasta de canola en la dieta de cerdos, junto con las razones para ello, se dan en el Cuadro 6.

VALOR DE LA PASTA DE CANOLA EN DIETAS PARA AVES

La pasta de canola se utiliza en la alimentación de todo tipo de aves en todo el mundo. Proporciona un excelente fuente de proteína y contenido de aminoácidos y es una alternativa o complemento a otros ingredientes como la pasta de soya. La pasta de canola proporciona un mayor valor en la alimentación de gallinas ponedoras y de pavos más que en las dietas de pollos de engorda debido al mayor énfasis puesto en la proteína en lugar de la energía en estas dietas. Sin embargo, la pasta de canola puede ser una alternativa rentable en las dietas de alta energía en pollos de engorda. Se debe tener cuidado en formular dietas en base a aminoácidos digestibles para asegurar un rendimiento excelente en las aves alimentadas con inclusiones altas de pasta de canola.



Consumo de alimento

Varias publicaciones han demostrado que las aves, pollos de engorda y ponedoras, mantendrán niveles de ingesta apropiadas cuando se administran dietas altas en pasta de canola y que se formulan con aminoácidos digeribles. Oryschak y Beltranena (2013) demostraron que con una formulación adecuada de la dieta se puede permitir la inclusión de 20% de pasta de canola en la dieta sin afectar el consumo de alimento.

Rogiewicz, et al. (2015) también demostraron un excelente rendimiento de gallinas alimentadas con 15-20% de pasta de canola. El consumo de alimento en pollos alimentados hasta con un 20% de pasta de canola se mantuvo desde los días 1 a 35 de vida (Naseem, et al., 2006), y en dietas de engorda se puede utilizar 30% de pasta de canola (Newkirk y Classen, 2002; Ramesh, et al., 2006).

Energía

La pasta de canola tiene un valor energético menor para aves en comparación con la fuente de proteína vegetal más común, la pasta de soya. En ciertas dietas, los pollos en desarrollo específicamente, el mayor énfasis en el valor de la energía limitaría la inclusión de pasta de canola. En dietas de ponedoras y en dietas de alta proteína en pavos, utilizando formulación de menor costo, incluyen pasta de canola inclusive a un precio mayor. La investigación reciente muestra en el Cuadro 1 que el valor energético de la pasta de canola para pollos de engorda en la etapa de mayor crecimiento/acabado es de 200 kcal mayor que lo publicado previamente (Beltranena, 2015).

Cuadro 1. Valores de energía disponible para la pasta de canola (basado en 12% de humedad)

ANIMAL		VALOR MEDIO
Pollos de engorda	EMAn (kcal/kg)	2,200 ¹
Gallinas ponedoras	EMAn (kcal/kg)	2,200 ¹
Pavos	EMAn (kcal/kg)	2,007 ²

¹Beltranena, 2015

²Jia, et al., 2012

Varios investigadores han alimentado enzimas en un intento de aumentar la digestibilidad de la proteína, fósforo y de los hidratos de carbono en la pasta de canola (Kocher, et al., 2000; Mandal, et al., 2005; Meng, et al., 2005; Meng y Slominski, 2005; Meng, et al., 2006; Ravindran, et al., 1999; Ramesh, et al., 2006; Simbaya, et al., 1996; Slominski y Campbell, 1990). La mayoría de los estudios que examinan la inclusión de enzimas como celulasa o polisacáridos no amiláceos (PNA) para mejorar la digestibilidad de la pasta de canola solamente han demostrado beneficios limitados. Meng y Slominski (2005) examinaron los efectos de la adición de un complejo multienzimático (xilanasas, glucanasas, pectinasas, celulasas, mananasas y galactonasas) en las dietas de engorda. La combinación de enzimas aumentó la digestibilidad PNA de la pasta de canola, pero no se observaron mejoras en la digestibilidad de otros nutrientes o rendimiento de los animales. Jia, et al., 2012 alimentaron dietas de engorda con pasta de canola y enzimas múltiples de carbohidrasas para determinar su efecto sobre los valores AMEn (Cuadro 1). La inclusión de la enzima múltiple en la pasta de canola incrementó el valor AMEn de 1,904 a 2,018 kcal/kg para los pollos de engorda. Los valores bajos de AMEn reportados en esta literatura pueden ser en parte debido a la alimentación de pasta de canola con un contenido de solamente 1.8% de grasa (basado en materia seca). En la práctica, el uso de enzimas en la dieta es común en los alimentos de aves, especialmente los que contienen cebada y trigo; aunque los datos no son concluyentes por completo, se puede producir alguna mejora de la digestión de la pasta de canola.

Disponibilidad de los amino ácidos

Una clave para la utilización de altos niveles de inclusión de pasta de canola en aves, es formular las dietas sobre una base de aminoácidos disponibles. El coeficiente de digestibilidad ileal aparente (DIA) de los aminoácidos se presentan en el Cuadro 2.

Ponedoras

La pasta de canola es un ingrediente común y económicamente eficaz en la dieta de ponedoras de

Cuadro 2. Coeficiente de digestibilidad Ileal aparente de aminoácidos en la pasta de canola para aves

AMINOÁCIDO	POLLOS DE ENGORDA ¹	PONEDORAS ¹	PAVOS ²	PATOS ²
Alanina	0.79	0.79	0.75	0.66
Arginina	0.88	0.89	0.79	0.71
Aspartato + asparagina	0.76	0.76	0.72	0.60
Cistina	—	—	0.67	0.67
Glutamato + glutamina	0.87	0.87	0.86	0.81
Glicina	0.77	0.76	0.72	0.59
Histidina	0.81	0.81	—	—
Isoleucina	0.77	0.76	0.75	0.65
Leucina	0.81	0.79	0.79	0.73
Lisina	0.79	0.82	0.76	0.66
Metionina	0.92	0.93	0.86	0.80
Fenilalanina	0.80	0.79	0.75	0.73
Serina	0.74	0.72	0.74	0.70
Treonina	0.71	0.70	0.73	0.64
Tirosina	0.79	0.78	—	—
Valina	0.77	0.75	0.72	0.62

¹Huang, et al., 2006

²Kluth and Rodehutsord, 2006

huevos. Varios estudios han examinado los efectos de la pasta de canola en la producción de huevo y otros parámetros asociados (Pérez-Maldonado y Barram, 2004; Kaminska, 2003; Badshah, et al., 2001; Kiiskinen, 1989; Nasser, et al., 1985; Robblee, et al., 1986). La alimentación con pasta de canola soporta altos niveles de producción de huevo y no tiene ningún efecto negativo en el número de huevos producidos. El consumo de alimento y el tamaño del huevo tampoco muestran diferencia cuando se alimenta con pasta de canola. Un efecto negativo sobre el tamaño del huevo se observó en algunos estudios anteriores (Summers, et al., 1988a, b.), pero en experimentos recientes, este no ha sido el caso (Pérez-Maldonado y Barram, 2004; Marcu, et al., 2005; Badshah, et al., 2001; Classen, 2008).

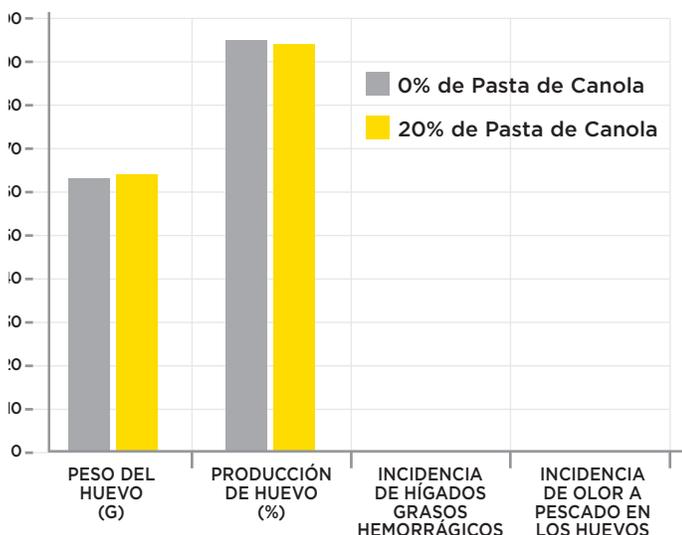
Al igual que con la formulación de dietas de los cerdos, los aminoácidos digestibles ileales deben ser considerados. Oryschak y Beltranena (2013) demostraron que la formulación adecuada de la dieta puede permitir pasta de canola en un 20% de la dieta sin efectos negativos para la producción de huevo, la calidad del huevo o el contenido de ácidos grasos en el huevo (Figura 1). Rogiewicz, et al., (2015) también demostró un excelente rendimiento de las gallinas alimentadas con 15-20% de pasta de canola. La investigación publicada anteriormente mostró una reducción en el peso del huevo cuando la pasta de soya fue sustituida por pasta de canola, pero la formulación de la dieta en base de proteína cruda resultó en el contenido insuficiente de lisina en la dieta de pasta de canola (Kaminska, 2003). El trabajo de



Novak, et al., (2004) apoyan la hipótesis de que la falta de lisina puede afectar el peso del huevo. Cuando ellos aumentaron el consumo de lisina de 860 mg/d a 959 mg/d se observó un aumento en el peso del huevo de 59 g a 60.2 g, pero la lisina añadida no tuvo ningún efecto sobre la tasa de producción de huevo. La Figura 1 muestra los resultados de un estudio reciente realizado en la Universidad de Alberta, en conjunto con Alberta Agriculture indicando un excelente rendimiento mientras se mantiene el peso del huevo a través de las 36 semanas del estudio. Basándose en estos hallazgos recientes, pasta de canola puede ser utilizada en niveles elevados de manera efectiva en las dietas de ponedoras sin afectar negativamente la producción de huevo, el peso del huevo, la calidad del huevo o el contenido de ácidos grasos siempre que las dietas se formulen en base al contenido de aminoácidos digestibles.

Tradicionalmente, la utilización de pasta de canola en dietas para gallinas se limitaba a un máximo del 10%, debido a una asociación entre la mortalidad por

Figura 1. Efecto sobre producción de huevo, peso de huevo, incidencia de síntoma de hígados grasos hemorrágicos y presencia de olor a pescado en los huevos.(Promedio sobre 36 semanas de producción)¹



¹Oryschak y Beltranena, 2013

hemorragia hepática y la pasta de canola (Butler, et al., 1982; Campbell y Slominski, 1991). Los autores sugirieron que esto podría haber sido el resultado del contenido en glucosinolatos que se encontraba en variedades antiguas de canola (Campbell y Slominski, 1991). El fitomejoramiento ha reducido de manera constante el nivel de glucosinolatos al punto en que actualmente son un tercio de los que se encontraron en las primeras variedades de canola que alimentamos en esos estudios. Estudios más recientes con variedades actuales de pastas bajas en glucosinolatos no observaron incidencia de hemorragia hepática incluso cuando se utilizaron niveles del 20% de pasta de canola en la dieta (Oryschak y Beltranena, 2013; Figura 1). Este hecho se demostró una vez más por Savary y Anderson (2011). La pasta de canola se incluyó en la dieta de ponedoras de huevo marrón y blanco en niveles de 0%, 10% y 20%, sin efecto en daño del hígado o la tasa de mortalidad. Las gallinas ponedoras han demostrado repetidamente su capacidad para utilizar altos niveles de pasta de canola.

Un efecto atribuido injustamente a la pasta de canola para algunas variedades de ponedoras de huevo de cáscara marrón, fue la incidencia de olor a pescado en el huevo (Butler, et al., 1982). La pasta de canola contiene sinapina, que se compone de ácido sinápico y colina. En el tracto digestivo de aves con una deficiencia genética, colina se convierte en trimetilamina. Estas líneas de gallinas de huevo marrón eran incapaces de producir trimetilamina oxidasa, la enzima necesaria para convertir la oliente trimetilamina a trimetilamina no olorosa N-óxido, que luego se excreta en la orina (Ward, et al., 2009). Si esta enzima no está presente debido a un defecto genético de estas gallinas, entonces TMA pasará en la yema del huevo a impartir un olor a pescado. Esta deficiencia genética ha sido bien estudiada y muchos criadores de gallinas comerciales han desarrollado líneas de huevo marrón que ya no son portadoras de este gene (Honkatukia, et al., 2005; Classen, 2008, comunicación personal). Los datos presentados en la Figura 1 (Oryschak y Beltranena, 2013) se llevaron a cabo con las gallinas Brown Nick. No se encontró una sola observación del olor a pescado en los huevos producidos en este ensayo. Este tipo de formulación



resulta en una exclusión innecesaria de pasta de canola y mayores costos de alimentación.

Pollos de cria

La pasta de canola no tiene efectos negativos sobre la fertilidad o la capacidad de eclosión de huevos de reproductoras Leghorn (Kiiskinen, 1989; Nasser, et al., 1985). El peso medio de pollitos de un día de edad, disminuyó con el aumento pasta de canola, y el peso de la glándula tiroides de pollitos de una semana de edad, fue mayor con el aumento de los niveles de pasta de canola en los estudios antiguos. La disminución en el peso del polluelo no dio lugar a alteración de la función productiva de los pollos durante la producción posterior de huevo. Un estudio reciente de Ahmadi, et al. (2007) evaluaron los efectos de la adición de 0%, 10%, 20% o 30% de pasta de colza para la dieta de reproductoras, y no está claro en cuanto al contenido de glucosinolatos de las dietas. Sin embargo, concluyeron que la pasta de colza se puede utilizar con eficacia en las dietas de reproductoras de pollos de engorda sin afectar la producción, el peso del huevo o la calidad de los pollitos. Debido al efecto potencial sobre el huevo y el peso del pollito y la falta de estudios actuales sobre la alimentación de pasta de canola para reproductoras, muchos fabricantes de alimentos no utilizan pasta de canola, o limitan a bajos niveles de inclusión en la alimentación de aves reproductoras. El alto contenido de proteínas y fibra de la pasta de canola la convierte en un ingrediente ideal para controlar el aumento de peso en dietas de reproductoras de pollos de engorda.

Pollos de engorda

Los bajos niveles actuales de glucosinolatos en la pasta de canola no tienen ningún efecto negativo sobre la mortalidad de pollos de engorda o el consumo de alimento. Dos estudios recientes han demostrado que la pasta de canola puede ser alimentada de manera efectiva en dietas de pollos de engorda hasta un 30% sin afectar negativamente el rendimiento del crecimiento, siempre y cuando las dietas se formulen en base de aminoácidos digestibles (Newkirk y Classen, 2002; Ramesh, et al., 2006). El valor energético inferior

asumidos en la pasta de canola en comparación con otras fuentes de proteínas como la pasta de soya ha limitado su uso en la alimentación de pollos de engorda, pero el menor costo por gramo de aminoácidos esenciales disponibles y el fósforo han sido considerados por nutricionistas para utilizar mayores inclusiones de pasta de canola en las dietas de pollos de engorda.

Se argumentó que la alimentación con pasta de colza (alta en glucosinolatos) para pollos de engorda dio lugar a una elevada incidencia de problemas en las patas, especialmente discondroplasia tibial. Los problemas de las patas se han aliviado por la alimentación de pasta de canola. Esto podría sugerir que los glucosinolatos fueron parcialmente, pero no del todo responsables. Summers, et al. (1990, 1992) demostraron que la situación se relaciona más con los niveles de azufre (un componente de glucosinolatos) que con el efecto tóxico de los propios glucosinolatos. Ellos observaron que la alimentación de azufre orgánico, en forma de cistina, causó una mayor incidencia de problemas en las patas. Se sabe que el azufre interfiere con la absorción de calcio. Complementar la dieta con extra calcio ayuda en cierta medida, pero se recomienda tener cuidado ya que el exceso de calcio en la dieta ya que puede reducir el consumo de alimento.

El consumo de alimento en pollos de engorda se ha correlacionado con el balance catión-anión de la dieta en algunas investigaciones pioneras con pasta de canola en aves (Summers y Bedford, 1994). La pasta de canola contiene un poco menos potasio (1.2%) que la pasta de soya (1.9%), de modo que el equilibrio de electrolitos en una dieta basada en pasta de canola es más bajo en comparación con la pasta de soya. Cuando se considera el balance total de aniones y cationes, los más altos niveles de azufre en la pasta de canola resultan en un saldo positivo aún más bajo de cationes dietéticos (Summers y Bedford, 1994). Estos autores sugirieron que la disminución en el consumo de alimento cuando se incluye pasta de canola en la alimentación de pollos de engorda podría estar relacionada con niveles de cationes y aniones en la dieta. Sin embargo, los intentos de aumentar los niveles de cationes en la dieta mediante una adición mayor de carbonato de calcio tuvo un éxito



marginal, probablemente debido a los efectos depresivos del alto incremento de calcio (Khajali y Slominski, 2012). La adición de bicarbonato de potasio a la dieta es una alternativa mejor, ya que esto corrige el problema en su origen.

Pavos

Un estudio realizado por Waibel, et al. (1992) demostraron que la pasta de canola es una excelente fuente de proteína para pavos en crecimiento. Es una práctica comercial común alimentar altos niveles de pasta de canola en el crecimiento y acabado de pavos. El estudio de Waibel ilustra la importancia de formular las raciones de manera apropiada al sustituir las fuentes de proteínas. Cuando se añadió pasta de canola en un 20% de la dieta sin mantener niveles de energía y niveles de aminoácidos esenciales, el crecimiento y la eficiencia de conversión alimenticia se redujeron. Sin embargo, cuando se añadió mayor cantidad de grasa animal y los niveles de aminoácidos se mantuvieron constantes, el rendimiento fue igual o superior a la dieta de control. Al igual que con otras especies, es importante que las dietas estén formuladas sobre base de aminoácidos digestibles. En algunas regiones, la pasta de canola se incluye a menudo en las dietas de pavo a niveles más allá del 20%. En este caso, es importante asegurar que el equilibrio de electrolitos en la dieta final esté en el rango apropiado. Recientemente, Zdunczyk, et al. (2013) demostraron que la inclusión de 180 g/kg de pasta de canola de bajo glucosinolatos en las dietas de los pavos, no demostraron ninguna diferencia en el rendimiento en comparación con la pasta de soya. El balance de electrolitos en la dieta de pasta de canola (Na + K-Cl) es de aproximadamente 307 mEq/kg. Sin embargo, la pasta de canola contiene una cantidad significativa de azufre, y esto también debe ser considerado: $(Na + K) - (Cl + S) = 103 \text{ mEq/kg}$ (Khajali y Slominski, 2012).

Patos y gansos

La pasta de canola se utiliza habitualmente en la alimentación de patos y gansos sin haberse reportado problemas, además de ser utilizada en la alimentación de otras aves de corral. De hecho, gansos tienen una

Cuadro 3. Digestibilidad ileal estandarizada (DIE) de los aminoácidos en la pasta de canola de expulsora en pollos de engorda¹

AMINOÁCIDO	DIE % PARA POLLOS DE ENGORDA
Alanina	79.7
Arginina	83.7
Aspartato + asparagina	77.5
Cistina	74.2
Glutamato + glutamina	86.5
Glicina	82.7
Histidina	84.9
Isoleucina	83.3
Leucina	79.5
Lisina	78.7
Metionina	83.7
Fenilalanina	80.4
Prolina	72.6
Serina	82.8
Treonina	83.3
Tirosina	79.5
Valina	83.6

¹Woyengo, et al., 2010

mayor capacidad digestiva que otros tipos de aves de corral, y parecen digerir pasta de canola de manera más eficiente (Jamroz, et al., 1992). La digestibilidad de aminoácidos de la pasta de canola en patos se muestra en el Cuadro 2. La pasta de canola y pasta de soya tienen digestibilidad de aminoácidos similar en patos (Kluth y Rodehutschord, 2006).

Alimentación con torta de canola de expulsora

La pasta de canola es una excelente fuente de proteínas para las aves, pero el contenido de energía de la pasta de canola extraídas con solvente puede limitar su uso en las dietas de las aves de crecimiento rápido. Debido al contenido de aceite residual, la torta

de canola de expulsora contiene más energía que la pasta que se ha extraído con solvente, con un contenido de EMAn de 2,694 kcal/kg (Woyengo, et al., 2010) y puede ser incluida como la única fuente de proteína en la dieta sin grasa adicional. Un estudio reciente en Australia examinando la alimentación con torta de canola sujetas a extracción con prensa a diversas temperaturas de procesamiento, determinó que el EMAn en pollos de engorda ser de un valor medio de 2,260 kcal/kg (Toghyani, et al., 2014). La torta de expulsora proporciona un alto nivel de ácido graso esencial linoléico, superando así los requisitos de las aves sin la necesidad de grasa suplementaria. Oryschak y Beltranena (2013) alimentaron a gallinas Brown Nick con un 20% de torta de canola con aceite residual, y demostraron una excelente producción de huevos, la calidad del huevo y el contenido de ácidos grasos del huevo. La torta de canola con aceite residual también se puede alimentar como una fuente de proteína eficaz para pavos. Palander, et al. (2004) estudiaron los efectos de la digestibilidad de la proteína de la torta de canola de expulsora en el crecimiento de pavos y hallaron coeficientes de digestibilidad similares a la pasta de canola extraída con solvente. El contenido de grasa de la torta de canola con aceite residual varía entre los orígenes de la misma (8-11% de grasa cruda), debido a la eficacia del tipo de prensa utilizada, por lo que el producto debe ser analizado y el valor energético ajustado correspondientemente a ello. La energía metabolizable aparente (EMAn) de la torta de expulsora se puede estimar usando la ecuación $1,800 +$

$(\% \text{ de grasa} * 80) = \text{kcal/kg}$. Esto supone que cada punto porcentual de grasa contiene 80 kcal. Por ejemplo, una torta de expulsora con 10% de grasa tendría un energía metabolizable aparente aproximada de $1,800 + (10 * 80) = 2,600 \text{ kcal/kg}$.

Alimentación de semilla y aceite de canola

El aceite de canola es alimentado de forma rutinaria como una fuente de energía para pollos de engorda. Además de su valor de energía, es una excelente fuente de ácido linoléico. Las dietas de inicio de pollos de engorda que se basan en cebada o trigo en lugar de maíz pueden ser algo deficientes en ácido linoléico, en especial cuando se alimentan otras fuentes de grasa saturadas en la dieta, como por ejemplo el sebo. En estas situaciones, es común añadir 1.0 a 1.5% de aceite de canola a la dieta. La semilla de canola, después de la reducción del tamaño de partícula (hojuela), es una fuente principal de proteína y energía en las dietas de pollos de engorda en algunos países como Dinamarca.

Niveles Prácticos de Inclusión de Pasta de Canola en Dietas de Aves

Los niveles de inclusión prácticos recomendados para la pasta de canola en dietas de aves, así como las razones, se enumeran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Inclusión práctica de niveles (%) de pasta de canola en dietas de aves

TIPO DE DIETA ANIMAL	NIVEL DE INCLUSIÓN (%)	RAZÓN POR EL NIVEL DE INCLUSIÓN
Pollos iniciación	20	Resultados de altos rendimientos reportados con 20% de inclusión
Pollos en crecimiento	30	Sin datos disponibles a partir de 30% de inclusión
Gallinas ponedoras	20	Resultados de altos rendimientos reportados con 20% de inclusión
Pavos en crecimiento	20	Sin datos disponibles a partir de 20% de inclusión
Aves de cría	30	Resultados de altos rendimientos reportados con 30% de inclusión
Patos y gansos	15	Sin datos disponibles a partir de 15% de inclusión



INFORMACIÓN



RUMIANTES



CERDOS



AVES



PECES Y
CRUSTACEOS

VALOR DE LA PASTA DE CANOLA EN LAS DIETAS PARA PECES Y CRUSTÁCEOS



La pasta de canola se ha convertido en un ingrediente importante en la dieta para peces y crustaceos en todo el mundo. China, siendo el mayor productor de productos de la pesca, es también el principal importador de semilla de canola canadiense. La pasta de canola resultante del procesamiento de semillas en China se utiliza a menudo en la industria de acuicultura. Del mismo modo, Vietnam y Tailandia son mercados importantes para la importación directa de pasta de canola canadiense, con gran parte de este volumen importado yendo a la alimentación de peces. Debido a que muchas especies de peces de cultivo son carnívoros, las existencias mundiales de harina de pescado están disminuyendo, de este modo presionan a la industria para encontrar proteínas alternativas de origen vegetal que pueden proporcionar los aminoácidos por sus altos requerimientos de proteína. Si bien existen algunos desafíos, la pasta de canola ha demostrado encajar bien en muchas dietas de peces.



Consumo de alimento

La pasta de canola es una fuente de proteína para las dietas de acuicultura. Una publicación reciente por Fangfang, et al. (2014) demostraron que la inclusión de la pasta de canola hasta un 30% era aceptable en las dietas de tilapia y se observó excelente palatabilidad, con ingesta superior a la dieta de control alta en soya. Hung y Van Minh (2013) alimentaron con pasta de canola niveles de hasta 20% en la dietas de peces cabeza de serpiente y observaron no diferencias en el consumo de alimento en todos los tratamientos, incluyendo un control de pasta de soya. En otro estudio, Van Minhet, et al. (2013) no mostraron cambios en el consumo de alimento cuando la pasta de canola se alimentó a un 30% de la dieta en bagre *Pangasius*. Por último, el consumo de alimento de la trucha arco iris no se vio afectada por la adición de pasta de canola a niveles de hasta 30% de la dieta (Collins, et al., 2012).

La palatabilidad de canola puede ser debida a péptidos solubles presentes. En apoyo de esto, Hill, et al. (2013) informaron que la inclusión de 1% de concentrado soluble proteico de canola en las dietas de lubina aumentó significativamente el consumo de alimento y la ganancia de peso.

Energía y fibra

Relación de proteína-energía en dietas de peces son altos en comparación con aves y mamíferos, y por lo tanto, las dietas de peces son típicamente más altas en proteína cruda que en dietas de cerdos y aves. Por ejemplo, las dietas de salmónidos contienen típicamente más del 40% de proteína cruda. Como la pasta de canola contiene 36% de proteína bruta, esto puede limitar la inclusión de pasta de canola a menos del 20% en la formulación de dietas prácticas para salmónidos. Sin embargo, en peces omnívoros o herbívoros, como la carpa y la tilapia, los requerimientos de proteína cruda en la dieta son menos del 36%, y esta limitación no se aplica.

La digestibilidad de la energía en la pasta de canola es variable, debido a los sistemas digestivos de las especies de peces de granja en todo el mundo.

Además, los sistemas de procesamiento utilizados para tratar las fuentes de proteína vegetal influyen en el grado de digestibilidad y éstos han variado ampliamente de un estudio a otro. El contenido de energía digestible de la pasta de canola se ha determinado en un rango de 2,300-2,750 kcal/kg para peces salmónidos (NRC, 1993). El valor de energía también puede variar debido a la cantidad de lípido que está presente en la pasta. NRC (2011) enumera la digestibilidad aparente de la energía en la pasta de colza en el 76% de la trucha arco iris, el 57% de la tilapia del Nilo y el 83% para la cobia. Burel, et al. (2000) determinaron que la digestibilidad de la pasta de semilla de colza para la trucha arco iris era 69% de la pasta extraída por solvente y 89% para la pasta tratada térmicamente. Allan, et al. (2000) encontraron que la digestibilidad de la energía en la pasta extraídas con solvente y torta de expulsora era 58.1% y 58.6%, respectivamente, para la perca de plata.

Mientras que la fibra en la dieta es beneficiosa para los rumiantes, como en cerdos y aves, se considera como un factor anti-nutricional en peces, como la mayoría de las especies criados en acuicultura, naturalmente, no consumen altos niveles de fibra en sus dietas. La pasta de canola contiene relativamente altos niveles de fibra, incluyendo aproximadamente 7.9% de celulosa, y 8.9% de lignina y polifenoles. Esto da como resultado un contenido de fibra bruta de 11.2% en la pasta de canola comercial producida en Canadá (Slominski, 2015). Estas fracciones de fibra no pueden ser utilizadas por los peces y pueden disminuir el valor nutricional de otros ingredientes de la dieta a través de dilución (Poston, 1986). Por lo tanto, la eliminación de la fracción de fibra de la pasta de canola podría aumentar su valor nutritivo en los alimentos de peces, lo que aumentaría la densidad de nutrientes de la pasta.

En resumen, la pasta de canola se ajusta más fácilmente en las dietas para especies de peces herbívoros/omnívoros como la carpa y la tilapia, que tienen menores requerimientos de proteína que las especies carnívoras tal como el salmón y la trucha y un consumo natural mayor de material a base de plantas.



Proteínas y aminoácidos disponibles

La digestibilidad de la proteína de la pasta de canola es alta para la mayoría de las especies de peces. NRC (2011) enumera la digestibilidad aparente de la proteína en la pasta de colza para las siguientes especies: 91% de la trucha arco iris, el 85% de la tilapia del Nilo/azul y del 89% para la cobia. Hajen, et al. (1993) determinaron que la digestibilidad de la proteína de pasta de canola para el salmón chinook era 85%, lo que fue mayor que la digestibilidad de la pasta de soya (77%), y aproximadamente la misma que la digestibilidad de la proteína aislada de soya (84%). En algunas especies, los salmónidos, en particular, la proteína en la pasta de canola es beneficiosa, pero la presencia de fibra y factores anti-nutricionales limitan su valor en la alimentación.

El equilibrio de aminoácidos de la proteína de canola es la mejor de las fuentes de proteínas vegetales comerciales disponibles en la actualidad (Friedman, 1996). Drew (2004) observó que el perfil de aminoácidos de la proteína de canola puede ser comparado con la carne picada. Con el uso de la tasa de eficiencia proteica (TEP; o el aumento de peso por gramo de proteína alimentada) como medida, la proteína de canola tiene un TEP de 3.29 en comparación con 1.60 para la pasta de soya y 3.13 para la caseína (Drew, 2009). Además, la proteína de la pasta de canola es aproximadamente una décima parte del costo por kilogramo de la proteína de harina de pescado.

Factores anti-nutricionales

La pasta de canola contiene pequeñas cantidades de calor lábil (glucosinolatos) y estable al calor (ácido fítico, compuestos fenólicos, taninos, saponinas y fibra) (Cuadro 1, en el capítulo Composición de Nutrientes, pagina 8). Estos factores pueden disminuir el valor nutritivo de la pasta de canola en peces.

Los glucosinolatos parecen ser tolerados mejor por muchas especies de peces, carpa, por ejemplo, que por cerdos y aves. La pasta de canola canadiense actualmente contiene cantidades muy limitadas de

glucosinolatos restantes (4.2 $\mu\text{mol/g}$). Varias publicaciones han identificado límites superiores de inclusión de glucosinolatos en dieta de peces. El límite más conservador, se establece en 1.4 $\mu\text{mol/g}$ de dieta para la trucha, lo que permitiría tener una proporción relativamente alta de inclusión de pasta de canola (30%).

Los factores anti-nutricionales estables al calor varían ampliamente en su estructura y sus efectos nutricionales. Ellos evitan el uso de pasta de canola en dietas de salmónidos a niveles de inclusión de más del 10% de la dieta (Higgs, et al., 1983; Collins, et al., 2012). Los factores anti-nutricionales termoestables en la pasta de canola pueden ser eliminados o reducidos por el fraccionamiento de pasta de canola para producir concentrado de proteína de canola y el aislado de proteína de canola. La pasta de canola puede ser convertida en concentrado de proteína de canola (CPC) mediante extracción acuosa de la proteína (Mwachireya, et al., 1999; Thiessen, et al., 2004). El CPC contiene aproximadamente la misma concentración de proteína bruta que la harina de pescado, así como altos niveles de lisina y metionina relativa a gluten de maíz y pasta de soya. El proceso utilizado para concentrar la proteína resulta en un CPC que está completamente desprovisto de fitato y saponinas, y contiene niveles extremadamente bajos de glucosinolatos. La digestibilidad de proteína cruda se ha reportado ser de hasta el 97% en la trucha arco iris, y la digestibilidad de aminoácidos esenciales (lisina, metionina y arginina) fue mayor que 90%. El contenido de energía digestible aparente del CPC era 4,310 kcal/kg, en comparación con 3,360 kcal/kg en la pasta de soya.

Además, muchas dietas de peces están formuladas con fitasa (NRC, 2011), la enzima necesaria para separar el fósforo del ácido fítico. La adición de enzimas carbohidrasas en dietas de peces se ha estudiado brevemente. En 1997, Buchanan, et al., demostraron que la adición de una enzima carbohidrasa incluida en una dieta que contiene pasta de canola alimentada a langostinos tigre negro aumentó la digestibilidad y el crecimiento.



Alimentación de pasta de canola a salmónidos

La pasta de canola es un ingrediente común en las dietas de alimentación de salmón y trucha, a pesar de la limitada inclusión debido a varios factores, principalmente los requerimientos de alto valor proteico de salmónidos y la presencia de factores anti-nutricionales termoestables. Collins, et al. (2013) completaron un meta-análisis de los diversos ingredientes de proteína vegetal suministrados a los salmónidos para determinar el impacto de la tasa de inclusión. Treinta puntos de datos de 12 estudios se utilizaron para evaluar el efecto de inclusión de pasta de canola en la dieta de la trucha arco iris. En general, tasas de inclusión de hasta un 20% no afectó significativamente la tasa de crecimiento de los peces.

La proteína concentrada de canola (CPC) es un ingrediente muy adecuado en dietas para salmónidos. La sustitución del 50% o el 75% de harina de pescado en las dietas suministradas a la trucha arco iris con el CPC no dio lugar a diferencias significativas en ninguna de las medidas de rendimiento (Thiessen, et al., 2004). La eficiencia de la alimentación y valores TEP de control y la dieta de reemplazo con el 75% CPC fueron esencialmente idénticos en el período de 63 días del experimento. Estos resultados demostraron que CPC puede sustituir hasta 75% de la proteína de harina de pescado sin disminución significativa en el crecimiento o la eficiencia de la alimentación. Sin embargo, el crecimiento del salmón y la trucha arco iris del Atlántico se redujeron significativamente cuando fueron alimentados con dietas que contenían 20 y 22.5% de concentrado de proteína de canola, respectivamente (Collins, et al., 2012; Burr, et al., 2013), sugieren que hay una tasa de inclusión máxima práctica inferior al 20% de CPC en las dietas de salmónidos. Drew, et al. (2004) señalaron la importancia de un ingrediente atrayente cuando las dietas contienen altos niveles de proteína vegetal, con el fin de mantener el consumo de alimento.

La pasta de canola en peces de agua templada

La pasta de canola se utiliza cada vez más en las dietas de especies como el bagre, carpa, tilapia, lubina, perca, besugo, rodaballo y el camarón. Lim, et al. (1997) encontraron que la pasta de canola puede ser incluida en las dietas de bagre de canal hasta un 31% sin efectos negativos en el rendimiento. Van Minh, et al. (2013) alimentaron bagre *Pangasius* con 30% de pasta de canola con excelentes resultados de rendimiento. La pasta de canola y la pasta de colza también se incluyen comúnmente en dietas de carpa, que son frecuentemente a base de proteínas vegetales (Zhang, et al., 2013). Veiverberg, et al. (2010) sustituyeron la harina de carne y huesos con pasta de canola en las dietas de carpa juvenil, y no encontraron diferencias en la tasa de crecimiento o conversión alimenticia. El rendimiento del filete fue mayor con la dieta de pasta de canola que con la de control.

Higgs, et al. (1989) determinaron que la pasta de canola puede ser utilizada con eficacia en un nivel de inclusión del 10% en las dietas de tilapia juvenil sin reducir significativamente la tasa de crecimiento o conversión alimenticia. Abdul-Aziz, et al. (1999), por otro lado, alimentaron pasta de canola hasta un 25% en las dietas de tilapia, sin efecto de rendimiento. Fangfang, et al. (2014) demostraron que un 30% de inclusión en la dieta de tilapia, no tuvo ningún efecto en el crecimiento. En otro estudio, Luo, et al. (2012) reemplazaron el 75% de la harina de pescado en las dietas para tilapia del Nilo (55 % de la dieta) sin efectos adversos en el crecimiento. Mientras que algunos cambios en los niveles de enzimas hepáticas fueron aparentes, los autores concluyeron que hasta 75% de la harina de pescado puede ser sustituida sin efectos nocivos.

Hubo resultados similares con otras especies de peces. Glencross (2003) encontró que la pasta de canola puede incluirse hasta el 60% de la dieta para el besugo sin efectos perjudiciales sobre el rendimiento. Las tasas de crecimiento no fueron diferentes del control de harina de pescado cuando 20% de pasta de canola se incluyó en dietas de lubina, aunque el índice de conversión alimenticia fue elevado (Webster, et al.,



2000). Hung, et al. (2013) demostraron que la pasta de canola puede reemplazar la pasta de soya a un nivel del 20% de inclusión en la dieta de peces cabeza de serpiente sin ningún efecto negativo en el rendimiento.

El concentrado proteico de canola (CPC) tiene una concentración de proteína similar a la harina de pescado, con pocos factores anti-nutricionales (Drew, 2004), y es también un ingrediente aceptable en las especies de aguas templadas. En un experimento con la tilapia del Nilo, los peces fueron alimentados con dietas que contenían 24.7% CPC, en sustitución de harina de pescado, pasta de soya y harina de gluten de maíz (Borgeson, et al., 2006). Los peces que recibieron dietas CPC crecieron significativamente más rápido que los que recibieron las dietas control (2.29 frente a 1.79 g/d). Esto sugiere que el CPC podría permitir una mayor sustitución de harina de pescado en los alimentos acuícolas sin afectar el crecimiento de los peces.

Aunque la presencia de factores anti-nutricionales en la canola requieren la consideración para su uso en algunas dietas de acuicultura, el uso de proteína de canola y aceite también tienen ventajas sobre el uso de harina de pescado, ya que son más bajos en policlorodibenzodioxina y policlorados dibenzofuranos (PCDD/F), así como los similares a los dioxin policlorados bifenilos (DL-PCB). Cuando la harina de pescado y aceite fueron completamente reemplazados con el concentrado de proteína de canola y aceite de canola, los niveles de PCDD/F y PCB se redujeron significativamente en las dietas (4.06 frente a 0.73 pg/g, en materia seca) y en los filetes (1.10 frente a 0.12 pg/g, en materia seca) de los peces alimentados con estas dietas durante un ensayo de crecimiento de seis meses (Drew, et al., 2007). La ingesta máxima recomendada para humanos de contaminantes organoclorados es 14 pg/kg de peso corporal/semana según el Comité Científico de la Comisión Europea sobre la Alimentación. Sobre la base de estos niveles, una persona de 50 kg podría consumir con seguridad 640 g por semana de truchas alimentadas con la dieta de harina-y-aceite de pescado, en comparación con 5,880 g por semana de las truchas alimentadas con

dieta rica proteína-y-aceite de canola. Esto sugiere que la disminución del nivel de harina de pescado y aceite presente en los alimentos acuícolas mediante el uso de aceite de canola y concentrado proteico de canola podría incrementar significativamente la seguridad de los peces de cultivo y aumentar la aceptación de los consumidores de estos productos.

Alimentación de pasta de canola a camarones y langostinos

La pasta de canola se ha utilizado con éxito en las dietas para camarones y langostinos en muchas partes del mundo. En un estudio antiguo realizado en China, Lim, et al. (1998) encontraron que 15% de pasta de canola en las dietas de camarón no dio lugar a diferencias significativas en el rendimiento, pero que el 30% y 45% de niveles de inclusión resultaron en una depresión en la tasa de crecimiento y el consumo de alimento.

Desde entonces, se han incrementado los conocimientos relacionados con las necesidades de nutrientes de estas especies. Las investigaciones realizadas en México (Cruz-Suarez, et al., 2001) revelaron que la pasta de canola puede ser incorporada en la dieta al 30%, en sustitución de harina de pescado, pasta de soya y de trigo, sin ningún cambio en el rendimiento de camarón joven azul. En Malasia, los investigadores encontraron que dando una mezcla de pasta de soya y pasta de canola al camarón, requiere un atrayente en el pienso para obtener tasas de crecimiento equivalentes a las dietas que contienen harina de pescado (Bulbul, et al., 2015), pero la mezcla de proteínas vegetales podrían reemplazar el 60% de la harina de pescado en la dieta sin alterar el rendimiento. Los investigadores en Australia (Buchanan, et al., 1997) alimentaron gambas con dietas conteniendo 0 %, 20 % y 64 % de pasta de canola. Los resultados indicaron que se requería una mezcla de enzimas para el nivel más alto de la pasta de canola para producir tasas de crecimiento equivalentes a la dieta de control sin pasta de canola.

Una preocupación no nutricional sobre el uso de pasta de canola en alimentos para camarón es el efecto negativo que la fibra tiene sobre la estabilidad de la



alimentación en pellets. Un aglutinante de pellets puede ser necesario para compensar este efecto.

Semilla de canola y aceite

Las mezclas de guisante y semilla de canola extruidos están disponibles en Canadá, y ambos suministran proteína y aceite. La adición de 240 kg/tonelada de este producto, reemplazando la harina de pescado y aceite de pescado, resultaron en tasas de crecimiento similares en la trucha arco iris, pero con una eficiencia alimenticia menor. La pérdida de eficiencia de la alimentación fue superada por la inclusión de un cóctel de enzimas proteolíticas. Safari, et al. (2014) encontraron que la semilla de canola molida era un ingrediente prometedor para cangrejo de río.

Con la alta demanda de pescado y crustáceos criados comercialmente, hay una escasez de aceite de pescado, y se espera que esta escasez aumente en el futuro. La sustitución del aceite de pescado por aceites vegetales ha sido ampliamente documentada, por lo general con muy poco efecto en el rendimiento o el crecimiento de los peces (Glencross y Turchini, 2011). Según Turchini, et al. (2013), el aceite de canola y aceite de colza son los aceites vegetales más utilizados en dietas para el salmón y la trucha. El aceite de canola es muy deseado debido a sus niveles de C18:2 de ácidos grasos (omega 6), ayudando a mantener una relación de omega 3:omega 6 que se encuentra naturalmente en el pescado. Turchini, et al. (2013) reemplazaron hasta un 90% del aceite de pescado con aceite de

canola en la dieta de la trucha arco iris, sin pérdida de rendimiento, y sólo cambios mínimos en la relación de los ácidos grasos totales omega 3:omega 6 en filetes.

Otro enfoque para el uso de aceite vegetal es suministrarlo en dietas durante la fase inicial de crecimiento y luego suministrar dietas altas en aceite de pescado durante las etapas finales de crecimiento. Esto permite que los peces crezcan con los aceites menos caros y que depositen los lípidos que más se asemejan al tejido de los peces en la etapa final de crecimiento. Izquierdo, et al. (2005) alimentaron besugos con dietas ricas en aceite vegetal, luego cambió al aceite de pescado para la fase de engorde. El aceite de canola alimentado durante la fase de crecimiento, seguida de aceite de pescado en la fase de acabado, permitió en el besugo desarrollar un perfil ideal de ácidos grasos en el tejido, mientras que los peces alimentados con pasta de soya en la fase de crecimiento depositaron cantidades significativas de ácido linoléico que no pudo ser adecuadamente reducido durante la alimentación de aceite de pescado en la fase de acabado.

Niveles de inclusión práctica de pasta de canola

Los niveles de inclusión prácticas recomendadas para la alimentación de pasta de canola en las dietas de peces y crustáceos, así como razones se dan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Inclusión práctica de niveles (%) de pasta de canola en dietas de peces y crustáceos

TIPO DE DIETA ANIMAL	INCLUSIÓN	RAZÓN POR EL NIVEL DE INCLUSIÓN
Salmon, trucha	20	Resultados de altos rendimientos reportados con 20% de inclusión
Bagre	30	Sin datos disponibles a partir de 30% de inclusión
Tilapia	30	Sin datos disponibles a partir de 30% de inclusión
Besugo	60	Sin datos disponibles a partir de 60% de inclusión
Langostinos y gambas	15-30	Resultados de altos rendimientos reportados con 15-30% de inclusión



Referencias

PROCESAMIENTO

COPA, 2015. Canadian Oilseed Processors Association. Trading rules. <http://copaonline.net/>, Winnipeg, Manitoba.

Daun, J.K. and D. Adolphe. 1997. A revision to the canola definition. GCIRC Bulletin. July 1997. Pages 134-141.

Newkirk, R.W., H.L. Classen and M.J. Edney. 2003. Effects of prepress-solvent extraction on the nutritional value of canola meal for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Tech.* 104:111-119.

Unger, E.H. 1990. Commercial processing of canola and rapeseed: crushing and oil extraction. *Canola and Rapeseed: Production, Chemistry, Nutrition and Processing Technology*. F. Shahidi (ed.). New York, N.Y.: Van Nostrand Reinhold. 1990. Ch. 14: 235-249.

Youngs, C.G. and L.R. Wetter. 1969. Processing of rapeseed for high-quality meal. *Rapeseed Meal for Livestock and Poultry*. Rapeseed Association of Canola. Publ. No. 3:2-3.

PERFIL DE NUTRIENTES

Adewole, D.I., A. Rogiewicz, B. Dyck, C.M. Nyachoti and B.A. Slominski. 2014. Effect of processing on the nutritive value of canola meal. *Poult. Sci.* 93(E Suppl. 1):22.

Assadi, E., H. Janmohammadi, A. Taghizadeh and S. Alijani. 2011. Nutrient composition of different varieties of full-fat canola seed and nitrogen-corrected true metabolizable energy of full-fat canola seed with or without enzyme addition and thermal processing. *J. Appl. Poult. Res.* 20:95-101.

Barthet, V.J. 2014. Quality of Western Canadian canola. 2014. Canadian Grain Commission, Winnipeg, MB.

Bell, J.M. and M.O. Keith. 1991. A survey of variation in the chemical composition of commercial canola meal produced in Western Canadian crushing plants. *Can. Vet. J.* 71:469-480.

Bell, J.M., G. Rakow and R.K. Downey. 1999. Mineral composition of oil-free seeds of *Brassica napus*, *B. rapa* and *B. juncea* as affected by location and year. *Can. J. Anim. Sci.* 79:405-408.

Broderick, G.A. 2015. Canola science cluster research report. Canola Council of Canada.

Broderick, G.A., S. Columbini, M.A. Karsli, L. Nernberg and D. Hickling. 2013. Canola meals from different production plants differ in ruminal protein degradability. *J. Dairy Sci.* 95(Suppl. 2):611 (Abstr.).

Feedipedia. 2015. <http://www.feedipedia.org/node/15617>

Chelikani, P.K., J.A. Bell and J.J. Kennelly. 2004. Effects of feeding or abomasal infusion of canola oil in Holstein cows. 1. Nutrient digestion and milk composition. *J. Dairy Res.* 71:279-287.

Gallardo, M.A., D.D. Perez and F.M. Leighton. 2012. Modification of fatty acid composition in broiler chickens fed canola oil. *Biol. Res.* 45:149-161.

Grieve, S.M. 1978. Rapeseed gums for lactating dairy cows. 57th Annual Feeders' Day Report, University of Alberta, p. 66.

Gül M., M.A. Yörük, T. Aksu, A. Kaya and Ö. Kaynar. 2012. The effect of different levels of canola oil on performance, egg shell quality and fatty acid composition of laying hens. *Int'l. J. of Poult. Sci.* 11:769-776.

Khajali, F. and B.A. Slominski. 2012. Factors that affect the nutritive value of canola meal for poultry. *Poult. Sci.* 91:2564-2575.

Leterme, P., P. Kish, and A.D. Beaulieu, 2008. Digestibility energy determination of canola meal and full-fat canola seeds in pigs: limitations of the substitution method. *J. Anim. Sci.* 86 Suppl. 2, Abstract 186.

Mathison, G.W. 1978. Rapeseed gum in finishing diets for steers. *Can. J. Anim. Sci.* 58:139-42.

McCuaig, L.W. and J.M. Bell. 1981. Effects of rapeseed gums on the feeding value of diets for growing-finishing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 61:463-467.

Montoya, C.A. and P. Leterme. 2010. Validation of the net energy content of canola meal and full-fat canola seeds in growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 90:213-219.

NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Rev. Ed. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

NRC. 2012. Nutrient Requirements of Swine. 11th Rev. Ed., National Academy of Sciences, Washington, D.C.

Przybylski, R., T. Mag, N.A.M. Eskin and B.E. McDonald. 2005. Canola oil. In: "Bailey's Industrial Oil and Fat Products," Sixth Edition, John Wiley & Sons, Inc.

Qiao, H. and H.L. Classen. 2003. Nutritional and physiological effects of rapeseed meal sinapine in broiler chickens and its metabolism in the digestive tract. *J. Sci. Food Agric.* 83:1430-1438.

Sauvant, D., J.-M. Perez and G. Tran. 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials. Wageningen Academic Publishers, INRA Editions.

Slominski, B. 2015. Canola science cluster research report. Canola Council of Canada.

Summers, J.D., S. Leeson and S.J. Slinger. 1978. Performance of egg-strain birds during their commercial life cycle when continuously fed diets containing Tower rapeseed gums. *Can. J. Anim. Sci.* 58:183-89.

RUMIANTES

Agbossamey, Y.R., H.V. Petit, J.R. Seoane and G.J. St-Laurent. 1998. Performance of lambs fed either hay or silage supplemented with canola or fish meals. *Can. J. Anim. Sci.* 78:135-141.

Anderson, V.L. and J.P. Schoonmaker. 2004. Effect of pulse grains on performance of newly weaned steer calves. NDSU Beef Production Field Day Proceedings 27:6-8.

Auldist, M.J., L.C. Maret, J.S. Greenwood, M.M. Wright, M. Hannah, J.L. Jacobs and W.J. Wales. 2014. Replacing wheat with canola meal in a partial mixed ration increases the milk production of cows grazing at a restricted pasture allowance in spring. *Anim. Prod. Sci.* 54:869-878.

Bach, A., M. Ruiz-Moreno, M. Thrune and M.D. Stern. 2008. Evaluation of the fermentation dynamics of soluble crude protein from three protein sources in continuous culture fermenters. *J. Anim. Sci.* 86:1364-1371.

Bayourthe, C., F. Enjalbert and R. Moncoulon. 2000. Effects of different forms of canola oil fatty acids plus canola meal on milk composition and physical properties of butter. *J. Dairy Sci.* 83:690-696.

Beaulieu, A.D., J.A. Olubobokun and D.A. Christensen. 1990. The utilization of canola and its constituents by lactating dairy cows. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 30:289-300.

Boerman, J.P. and A.L. Lock. 2014. Effect of unsaturated fatty acids and triglycerides from soybeans on milk fat synthesis and biohydrogenation intermediates in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 97:7031-7042.

Brito, A.F. and G.A. Broderick. 2007. Effects of different protein supplements on milk production and nutrient utilization in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90:1816-1827.

Broderick, G.A. 2015. Canola science cluster research report. Canola Council of Canada.

Broderick, G.A., S. Columbini, M.A. Karsli, L. Nernberg and D. Hickling. 2012. Canola meals from different production plants differ in ruminal protein degradability. *J. Dairy Sci.* 95(Suppl. 2):611 (Abstr.).

Broderick, G.A. and A. Faciola. 2014. Effects of supplementing rumen-protected Met and Lys on diets containing soybean meal or canola meal in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97(E-Suppl. 1):751-752.

Chibisa, G.E., D.A. Christensen and T. Mutsvangwa. 2012. Effects of replacing canola meal as the major protein source with wheat dried distillers grains with solubles on ruminal function, microbial protein synthesis, omasal flow and milk production in cows. *J. Dairy Sci.* 95:824-841.

Chibisa, G.E., D.A. Christensen and T. Mutsvangwa. 2013. Replacing canola meal as the major protein source with wheat dried distillers' grains alters omasal fatty acid flow and milk fatty acid composition in dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 93:137-147.

Chichlowski, M.W., J.W. Schroeder, C.S. Park, W.L. Keller and D.E. Schimek. 2005. Altering the fatty acids in milk fat by including canola seed in dairy cattle diets. *J. Dairy Sci.* 88:3084-3094.

Christen, K.A., D.J. Schingoethe, K.F. Kalscheur, A.R. Hippen, K.K. Karges and M.L. Gibson. 2010. Response of lactating dairy cows to high-protein distillers' grains or 3 other protein supplements. *J. Dairy Sci.* 93:2095-2104.

Colombini, S., G.A. Broderick and M.K. Clayton. 2011. Effect of quantifying peptide release on ruminal protein degradation determined using the inhibitor in vitro system. *J. Dairy Sci.* 94:1967-1977.

Cotanch, K.W., R.J. Grant, M.E. Van Amburgh, A. Zontini, M. Fustini, A. Palmonari and A. Formigoni. 2014. Applications of uNDF in ration modeling and formulation. Proc. Cornell Nutr. Conf.

Garikipati, D.K. 2004. Effect of endogenous phytase addition to diets on phytate phosphorus digestibility in dairy cows. MS Thesis, Washington State University.

Gordon, M.B., E. Thompson, T. Gowan, D. Mosely, J.A. Small and D.M.W. Barrett. 2012. The effects of a soybean and canola diet during pre-pubertal growth on dairy heifer fertility. *J. Dairy Sci.* 95(E-Suppl 1):800.

He, M.L. and L.E. Armentano. 2011. Effect of fatty acid profile in vegetable oils and antioxidant supplementation on dairy cattle performance and milk fat depression. *J. Dairy Sci.* 94:2481-2491.

He, M.L., K.L. Perfield, H.B. Green and L.E. Armentano. 2012. Effect of dietary fat blend enriched in oleic or linoleic acid and monensin supplementation on dairy cattle performance, milk fatty acid profiles, and milk fat depression. *J. Dairy Sci.* 95:1447-1461.

He, M.L., D. Gibb, J.J. McKinnon and T.A. McAllister. 2013. Effect of high dietary levels of canola meal on growth performance, carcass quality and meat fatty acid profiles of feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 93:269-280.

Hedqvist, H. and P. Udén. 2006. Measurement of soluble protein degradation in the rumen. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 126:1-21.

Heendeniya, R.G., D.A. Christensen, D.D. Maenz, J.J. McKinnon and P. Yu. 2012. Protein fractionation by-product from canola meal for dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 95:4488-4500.

Hentz, F., G.V. Kozloski, T. Orlandi, S.C. Avila, P.S. Castagnino, C.M. Stefanello and Gabriel Faria Estivallet Pacheco. 2012. Intake and digestion by wethers fed a tropical grass-based diet supplemented with increasing levels of canola meal. *Livestock Sci.* 147:89-95.

Hristov, A.N., C. Domitrovich, A. Wachter, T. Cassidy, C. Lee, K.J. Shingfield, P. Kairenius, J. Davis and J. Brown. 2011. Effect of replacing solvent-extracted canola meal with high-oil traditional canola, high-oleic acid canola, or high-erucic acid rapeseed meals on rumen fermentation, digestibility, milk production and milk fatty acid composition in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94:4057-4074.

Huang, X. and P. Yu. 2014. Effect of pelleting at different conditions on ruminal degradation kinetics and intestinal digestion of canola meal in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 97(E-Suppl. 1):800.



Huhtanen, P., M. Hetta and C. Swensson. 2011. Evaluation of canola meal as a protein supplement for dairy cows: A review and a meta-analysis. *Can. J. Anim. Sci.* 91:529-543.

Jayasinghe, N. 2014. Ruminal degradability and intestinal digestibility of protein and amino acids in canola meal. *J. Dairy Sci.* 97(E-Suppl. 1):566-567.

Johansson, B. and E. Nadeau. 2006. Performance of dairy cows fed an entirely organic diet containing cold-pressed rapeseed cake. *Acta Agriculturae Scand. Section A* - 56:128-136.

Johnson, K.A., R.L. Kincaid, H.H. Westberg, C.T. Gaskins, B.K. Lamb and J.D. Cronrath. 2002. The effect of oilseeds in diets of lactating cows on milk production and methane emissions. *J. Dairy Sci.* 85:1509-1515.

Jones, R.A., A.F. Mustafa, D.A. Christensen and J.J. McKinnon. 2001. Effects of untreated and heat-treated canola press-cake on milk yield and composition of dairy cows. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 89:97-111.

Karami, M., E.N. Ponnampalam and D.L. Hopkins. 2013. The effect of palm oil or canola oil on feedlot performance, plasma and tissue fatty acid profile and meat quality in goats. *Meat Sci.* 94:165-169.

Konishi, C., T. Matsui, W. Park, H. Yano and F. Yano. 1999. Heat treatment of soybean meal and rapeseed meal suppresses rumen degradation of phytate phosphorus in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 80:115-122.

Li, C., K.A. Beauchemin and W.Z. Yang. 2013. Effects of supplemental canola meal and various types of distillers' grains on ruminal degradability, duodenal flow, and intestinal digestibility of protein and amino acids in backgrounded heifers. *J. Anim. Sci.* 91:5399-5409.

Malau-Aduli, A.E.O., J.M. Sykes and C.W. Bignell. 2009. Influence of lupins and canola supplements on plasma amino acids, wool fibre diameter and liveweight in genetically divergent first-cross Merino lambs. Proc. World Congress on Fats and Oils.

Mandiki, S.N.M., J.L. Bister, G. Derycke, J.P. Wathelet, N. Mabon, M. Marlier and R. Paquay. 1999. Optimal level of rapeseed meal in diets of lambs. Proceedings 10th International Rapeseed Congress, Canberra, Australia, 1999.

Martineau, R., D.R. Ouellet and H. Lapiere. 2013. Feeding canola meal to dairy cows: A meta-analysis on lactational responses. *J. Dairy Sci.* 96:1701-1714.

Martineau, R., D.R. Ouellet and H. Lapiere. 2014. The effect of feeding canola meal on concentrations of plasma amino acids. *J. Dairy Sci.* 97:1603-1610.

Maxin, Gaëlle, D.R. Ouellet and H. Lapiere. 2013. Effect of substitution of soybean meal by canola meal or distillers' grains in dairy rations on amino acid and glucose availability. *J. Dairy Sci.* 96:2013:7806-7817.

Miller-Cushon, E.K., M. Terré, T.J. Devries and A. Bach. 2014. The effect of palatability of protein source on dietary selection in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 97:4444-4454.

Mulrooney, C.N., D.J. Schingoethe, K.F. Kalscheur and A.R. Hippen. 2009. Canola meal replacing distillers grains with solubles for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92:5669-5676.

Mustafa, A.F., D.A. Christensen and J.J. McKinnon. 1996. Chemical characterization and nutrient availability of high- and low-fibre canola meal. *Can. J. Anim. Sci.* 76:579-586.

Mustafa, A.F., D.A. Christensen and J.J. McKinnon. 1997. The effects of feeding high-fibre canola meal on total tract digestibility and milk production. *Can. J. Anim. Sci.* 77:133-140.

Mutsvangwa, T. 2014a. Effects of feeding canola meal (CM) and wheat dried distillers' grains with solubles (W-DDGS) as the major protein source in low or high crude protein diets on ruminal nitrogen utilization, omasal nutrient flow and milk production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97(E-Suppl. 1):825.

Mutsvangwa, T. 2014b. Effect of inclusion of canola meal or wheat dried distillers' grains with solubles on ruminal fermentation, omasal nutrient flow and production performance in lactating Holstein dairy cows fed two levels of forage: concentrate. *J. Dairy Sci.* 97(E-Suppl. 1):808.

NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Research Council, Washington, D.C.

NRC. 2015. Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Research Council, Washington, D.C.

Patterson, H.H., J.C. Whittier and L.R. Rittenhouse. 1999a. Effects of cull beans, sunflower meal and canola meal as protein supplements to beef steers consuming grass hay on in situ digestion kinetics. *Prof. Anim. Sci.* 15:185-190.

Patterson, H.H., J.C. Whittier, L.R. Rittenhouse and D.N. Schutz. 1999b. Performance of beef cows receiving cull beans, sunflower meal and canola meal as protein supplements while grazing native winter range in eastern Colorado. *J. Anim. Sci.* 77:750-755.

Paz, H.A., T.J. Klopfenstein, D. Hostetler, S.C. Fernando, E. Castillo-Lopez and P.J. Kononoff. 2014. Ruminal degradation and intestinal digestibility of protein and amino acids in high-protein feedstuffs commonly used in dairy diets. *J. Dairy Sci.* 97:6485-6498.

Petit, H.V., R. Rioux, P.S. D'Oliveira and I.N. do Prado. 1997. Performance of growing lambs fed grass silage with raw or extruded soybean or canola seeds. *Can. J. Anim. Sci.* 77:455-463.

Petit, H.V. and D.M. Veira. 1994. Effect of post-weaning protein supplementation of beef steers fed grass silage on performance during the finishing phase, and carcass quality. *Can. J. Anim. Sci.* 74:699-701.



CERDOS

Akinmusire, A.S. and O. Adeola. 2009. True digestibility of phosphorus in canola and soybean meals for growing pigs: Influence of microbial phytase. *J. Anim. Sci.* 87:977-983.

Baidoo, S.K., F.X. Aherne, B.N. Miaru and R. Blair. 1987. Canola meal as a protein supplement for growing-finishing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 18:37-44.

Bell, J.M. 1993. Factors affecting the nutritional value of canola meal: A review. *Can. J. Anim. Sci.* 73:679-697.

Bell, J.M. and M.O. Keith. 1989. Factors affecting the digestibility by pigs of energy and protein in wheat, barley and sorghum diets supplemented with canola meal. *Anim. Feed Sci. Technol.* 24:253-265.

Bell, J.M., M.O. Keith and C.S. Darroch. 1988. Lysine supplementation of grower and finisher pig diets based on high-protein barley, wheat and soybean meal or canola meal, with observations on thyroid and zinc status. *Can. J. Anim. Sci.* 68:931-940.

Bell, J.M., M.O. Keith and D.S. Hutcheson. 1991. Nutritional evaluation of very low-glucosinolate canola meal. *Can. J. Anim. Sci.* 71:497-506.

Bourdon, D. and A. Aumaitre. 1990. Low-glucosinolate rapeseeds and rapeseed meals: Effect of technological treatments on chemical composition, digestible energy content and feeding value for growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 30:175-191.

Brand, T.S., D.A. Brandt, C.W. Cruywagen. 2001. Utilisation of growing-finishing pig diets containing high levels of solvent or expeller oil-extracted canola meal. *New Zealand J. Agr. Res.* 44:31-35.

Brown, N.M. and K.D. Setchell. 2001. Animal models impacted by phytoestrogens in commercial chow: Implications for pathways influenced by hormones. *Lab. Invest.* 81:735-747.

Csaky, I. and S. Fekete. 2004. Soybean: Feed quality and safety. Part 1: Biologically active components. A review. *Acta Vet. Hungarica* 52:299-313.

Flipot, P. and J.J. Dufour. 1977. Reproductive performance of gilts fed rapeseed meal cv. Tower during gestation and lactation. *Can. J. Anim. Sci.* 57:567-571.

González-Vega, J.C., C.L. Walk, Y. Liu and H.H. Stein. 2013. Determination of endogenous intestinal losses of calcium and true total tract digestibility of calcium in canola meal fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:4807-4816.

Hickling, D. 1994. Canola meal hog-feeding trials in Western Canada. Canola Council of Canada. Winnipeg, MB, Canada.

Hickling, D. 1996. Canola meal hog-feeding trials in Mexico. Canola Council of Canada. Winnipeg, MB, Canada.

King, R.H., P.E. Eason, D.K. Kerton and F.R. Dunshea. 2001. Evaluation of solvent-extracted canola meal for growing pigs and lactating sows. *Aust. J. Agric. Res.* 52:1033-1041.

Kracht, W., H. Jeroch, W. Matzke, K. Nürnberg, K. Ender and W. Schumann. 1996. The influence of feeding rapeseed on growth and carcass quality of pigs. *Lipid/Fett* 98:343-351.

Petit, H.V., D.M. Veira and Y. Yu. 1994. Growth and carcass characteristics of beef steers fed silage and different levels of energy with or without protein supplementation. *J. Anim. Sci.* 72:3221-3229.

Ravichandran, S., K. Sharma, D. Narayan, A.K. Pattanaik, J.S. Chauhan, A. Agnihotri and A. Kumar. 2008. Performance of cross-bred calves on supplements containing soybean meal or rapeseed mustard cake with varying glucosinolate levels. *Indian J. Anim. Sci.* 78:85-90.

Reis, P.J., D.A. Tunks and S.G. Munro. 1990. Effects of the infusion of amino acids into the abomasum of sheep, with emphasis on the relative value of methionine, cysteine and homocysteine for wool growth. *J. Agric. Sci.* 114:59-68.

Ross, D.A., M. Gutierrez-Botero and M.E. Van Amburgh. 2013. Development of an in-vitro intestinal digestibility assay for ruminant feeds. P. 190-202. Proc. Cornell Nutr. Conf.

Rule, D.C., J.R. Busboom, and C.J. Kercher. 1994. Effect of dietary canola on fatty acid composition of bovine adipose tissue, muscle, kidney and liver. *J. Anim. Sci.* 72:2735-2744.

Schingoethe, D.J. 1991. Protein quality, amino acid supplementation in dairy cattle explored. *Feedstuffs*. March 18, 1991. p. 11.

Skrivanova, V., M. Marounek and R. Dorvak. 2004. Digestibility of total and phytate phosphorus in young calves. *Vet. Med-Czech* 49:191-196.

Spears, J.W. 2003. Trace mineral bioavailability in ruminants. *J. Nutr.* 133:1506S-1509S.

Stefanski, T., S. Ahvenjarvi, P. Huhtanen and K.J. Shingfield. 2013. Metabolism of soluble rapeseed meal (*Brassica rapa* L.) protein during incubations with buffered bovine rumen in vitro. *J. Dairy Sci.* 96:440-450.

Swanepoel, N., P.H. Robinson, and L.J. Erasmus. 2014. Determining the optimal ratio of canola meal and high-protein dried distillers' grain protein in diets of high producing Holstein dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 189:41-53.

Terré, M. and A. Bach. 2014. The use of favored or unfavored ingredients in starter feeds for preweaned calves. *J. Dairy Sci.* 97(E-Suppl. 1):809.

Tylutki, T., D.G. Fox, V.N. Durbal, L.O. Tedeshi, J.B. Russell, M.E. Van Amburgh, T.R. Overton, L.E. Chase and A.N. Pell. 2008. Cornell net carbohydrate and protein system: A model for precision feeding of dairy cattle. *Anim. Feed. Sci. Tech.* 143:174-202.

Yang, W.Z., L. Xu, C. Li and K.A. Beauchemin. 2013. SHORT COMMUNICATION: Effects of supplemental canola meal and various types of distillers' grains on growth performance of backgrounded steers. *Can. J. Anim. Sci.* 93:281-286.

Wang, R. 2013. Canola meal feeding trials on Chinese dairy farms. Canola Council of Canada. Winnipeg, Manitoba.

Wiese, S.C., C.L. White, D.G. Masters, J.T.B. Milton and R.H. Davidson. 2003. Growth and carcass characteristics of prime lambs fed diets containing urea, lupins or canola meal as a crude protein source. *Austral. J. Exp. Agric.* 43:1193-1197.



Landero, J.L., E. Beltranena, M. Cervantes, A.B. Araiza and R.T. Zijlstra. 2011a. The effect of feeding expeller-pressed canola meal on growth performance and diet nutrient digestibility in weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 171:240-245.

Landero, J.L., E. Beltranena, M. Cervantes, A. Morales and R.T. Zijlstra. 2011b. The effect of feeding solvent-extracted canola meal on growth performance and diet nutrient digestibility in weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 170:136-140.

Landero, J.L., E. Beltranena and R.T. Zijlstra. 2012. Growth performance and preference studies to evaluate solvent-extracted *Brassica napus* or *Brassica juncea* canola meal fed to weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 90:406-408.

Lee, P.A., R. Hill and E.J. Ross. 1985. Studies on rapeseed meal from different varieties of rape in the diets of gilts II. Effects on farrowing performance of gilts, performance of their piglets to weaning, and subsequent conception of the gilts. *Br. Vet. J.* 141:592-602.

Lee, P.A. and R. Hill. 1983. Voluntary food intake of growing pigs given diets containing rapeseed meal, from different types and varieties of rape, as the only protein supplement. *Br. J. Nutr.* 50:661-671.

Lewis, A.J., F.X. Aherne and R.T. Hardin. 1978. Reproductive performance of sows fed low-glucosinolate (Tower) rapeseed meal. *Can. J. Anim. Sci.* 58:203-208.

Maison, T., Y. Liu and H.H. Stein. 2015. Digestibility of energy and detergent fiber and digestible and metabolisable energy values in canola meal, 00-rapeseed meal and 00-rapeseed expellers fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 93:652-660.

Mateo, J.P., O.B.N. Malingan and D. Hickling. 1998. Canola meal (*Brassica napus*) and feed peas for growing-finishing pigs: An on-farm feeding trial. *Philippine J. Vet. Anim. Sci.* 24:27-35.

McIntosh, M.K., S.K. Baidoo, F.X. Aherne and J.P. Bowland. 1986. Canola meal as a protein supplement for 6- to 20-kilogram pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 66:1051-1056.

Montoya, C.A. and P. Leterme. 2010. Validation of the net energy content of canola meal and full-fat canola seeds in growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 90:213-219.

Mullan, B.P., J.R. Pluske, J. Allen and D.J. Harris. 2000. Evaluation of Western Australian canola meal for growing pigs. *Aust. J. Agric. Res.* 51:547-553.

National Research Council. 2012. Nutrient requirements of swine. 11th ed. National Academies Press, Washington, D.C.

Nyachoti, C.M., C.F.M. de Lange and H. Schulze. 1997. Estimating endogenous amino acid flows at the terminal ileum and true ileal amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs using the homoarginine method. *J. Anim. Sci.* 75:3206-3213.

Nyachoti, C.M., R.T. Zijlstra, C.F.M. de Lange and J.F. Patience. 2004. Voluntary feed intake in growing-finishing pigs: A review of the main determining factors and potential approaches for accurate predictions. *Can. J. Anim. Sci.* 84:549-566.

Patience, J.F., D. Gillis and C.F.M. de Lange. 1996. Dehulled canola meal for growing-finishing pigs. Monograph No. 96-02. Prairie Swine Centre. Saskatoon, Canada.

Raj, St., H. Fandrejowski, D. Weremko, G. Skiba, L. Buraczewska, T. Zebrowska and I.K. Han. 2000. Growth performance, body composition, and protein and energy utilisation of pigs fed ad libitum diets formulated according to digestible amino acid content. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 13:817-823.

Robertson, W.M., M.E.R. Dugan, S.J. Landry, K. Erin, G. Clayton and S. Jaikaran. 2000. Evaluation of live performance, carcass composition and meat quality of market hogs fed diets with various combinations of peas, canola meal and soybean meal with wheat or corn as the cereal base. Lacombe Research Station. Agriculture and Agri-Food Canada.

Roth-Maier, D.A., B.M. Böhmer and F.X. Roth. 2004. Effects of feeding canola meal and sweet lupin (*L. uteus*, *L. angustifolius*) in amino acid balanced diets on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *Anim. Res.* 53:21-34.

Sanjayan, N., J.M. Heo and C.M. Nyachoti. 2014. Nutrient digestibility and growth performance of pigs fed diets with different levels of canola meal from *Brassica napus* black and *Brassica juncea* yellow. *J. Anim. Sci.* 92:3895-3905.

Schöne, F., B. Groppe, A. Hennig, G. Jahreis and R. Lange. 1997a. Rapeseed meal, methimazole, thiocyanate and iodine affect growth and thyroid. Investigations into glucosinolate tolerance in the pig. *J. Sci. Food Agric.* 74:69-80.

Schöne, F., B. Rudolph, U. Kirchheim and G. Knapp. 1997b. Counteracting the negative effects of rapeseed and rapeseed press-cake in pig diets. *Brit. J. Nutr.* 78:947-962.

Seneviranti, R.W., M.G. Young, E. Beltanena, L.A. Goonewardene, R.W. Newkirk and R.T. Zijlstra. 2009. The nutritional value of expeller-pressed canola meal for grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 88:2073-2083.

Siljander-Rasi, H., J. Valaja, T. Alaviuhkola, P. Rantamäki and T. Tupasela. 1996. Replacing soybean meal with heat-treated low-glucosinolate rapeseed meal does not affect the performance of growing-finishing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 60:1-12.

Stein, H.H., M.F. Fuller, P.J. Moughan, B. Sève, R. Mosenthin, A.J.M. Jansman, J.A. Fernández and C.F.M. de Lange. 2007. Definition of apparent, true and standardized ileal digestibility of amino acids in pigs. *Livestock Sci.* 109:282-285.



Smit, M.N., R.W. Seneviratne, M.G. Young, G. Lanz, R.T. Zijlstra and E. Beltranena. 2014a. Feeding Brassica juncea or Brassica napus canola meal at increasing dietary inclusions to growing-finishing gilts and barrows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 198:176-185.

Smit, M.N., R.W. Seneviratne, M.G. Young, G. Lanz, R.T. Zijlstra and E. Beltranena. 2014b. Feeding increasing inclusion of canola meal and distillers' dried grains and solubles to growing-finishing barrows and gilts. *Anim. Feed Sci. Technol.* 189:107-116.

Stein, H.H., B. Sève, M.F. Fuller, P.J. Moughan and C.F.M. de Lange. 2007. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. *J. Anim. Sci.* 85:172-180.

Trindade Neto, M.A., F.O. Opepaju, B.A. Slominski and C.M. Nyachoti. 2012. Ileal amino acid digestibility in canola meal from yellow- and black-seeded *Brassica napus* and *Brassica juncea* fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:3477-3484.

Woyengo, T.A., E. Kiarie and C.M. Nyachoti. 2010. Energy and amino acid utilisation in expeller-extracted canola meal fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:1433-1441.

Zijlstra, R.T. and E. Beltranena. 2013b. Swine convert coproducts from food and biofuel industries into animal protein for food. *Anim. Front.* 3:48-53.

AVES

Ahmadi, A.S., M. Shivazad, M. Zaghari and A.Z. Shahneh. 2007. The effect of different levels of rapeseed meal (with or without enzyme) on the broiler breeder flocks' performance. Proceedings of the 2nd Animal Science Congress (SASC '07), Tehran, Iran. Pp. 576-579.

Badshah, A., Z. Aurang, B. Nizakat, A. Sajjad, M.A. Chaudry, A. Sattar. 2001. Utilisation of rapeseed meal/cake in poultry feed. Part II. Effect of incorporating higher levels of rapeseed cake in poultry diet on laying performance of brown-egg layer. *Pakistan J. Sci. Ind. Res.* 44:171-174.

Bell, J.M. 1993. Factors affecting the nutritional value of canola meal: A review. *Can. J. Anim. Sci.* 73:679-697.

Butler, E.J., A.W. Pearson and G.R. Fenwick. 1982. Problems which limit the use of rapeseed meal as a protein source in poultry diets. *J. Sci. Food Agric.* 33:866-875.

Campbell, L.D. and B.A. Slominski. 1991. Feeding quality of very low-glucosinolate canola. Twelfth Western Nutrition Conference. September 11-12, 1991. Winnipeg, MB. Pp. 245-252.

Honkatukia, M., K. Reese, R. Preisinger, M. Tuiskula-Haavisto, S. Weigend, J. Roito, A. Mäki-Tanila and J. Vilkki. 2005. Fishy taint in chicken eggs is associated with a substitution within a conserved motif of the FMO3 gene. *Genomics.* 86:225-232.

Huang, K.H., X. Li, V. Ravindran and W.L. Bryden. 2006. Comparison of apparent ileal amino acid digestibility of feed ingredients measured with broilers, layers and roosters. *Poult. Sci.* 85:625-634.

Jamroz, D., A. Wiliczekiewicz and J. Skorupinska. 1992. The effect of diets containing different levels of structural substances on morphological changes in the intestinal walls and digestibility of the crude fibre fractions in geese (Part 3). *J. Anim. Feed Sci.* 1:37-50.

Jia, W., D. Mikulski, A. Rogiewicz, Z. Zhunczyk, J. Jankowski and B.A. Slominski. 2012. Low-fiber canola. Part 2. Nutritive value of the meal. *J. Agri. Food Chem.* 60:12231-12237.

Kaminska, B.Z. 2003. Substitution of soyabean meal with "00" rapeseed meal or its high-protein fraction in the nutrition of hens laying brown-shelled eggs. *J. Anim. Feed Sci.* (Poland) 12:111-12119.

Kiiskinen, T. 1989. Effect of long-term use of rapeseed meal on egg production. *Ann. Agric. Fenniae.* 28:385-396.

Kluth, H. and Rodehutschord, M. 2006. Comparison of amino acid digestibility in broiler chickens, turkeys and Pekin ducks. *Poult. Sci.* 85:1953-1960.

Kocher, A., M. Choct, M.D. Porter and J. Broz. 2000. The effects of enzyme addition to broiler diets containing high concentrations of canola or sunflower meal. *Poult. Sci.* 79:1767-1774.

Mandal, A.B., A.V. Elangovan, Promod K. Tyagi, Praveen K. Tyagi, A.K. Johri and S. Kaur. 2005. Effect of enzyme supplementation on the metabolisable energy content of solvent-extracted rapeseed and sunflower seed meals for chicken, guinea fowl and quail. *Brit. Poult. Sci.* 46:75-79.

Marcu, N., E. Banto, M. Sut-Gherman, M. Dinea, O. Ludu and J. Ceghezi. 2005. The effect of soybean meal substitution with rape meal in laying hens' nutrition. *Bul. Univ. Stiinte. Agri. Med. Vet. Cluj-Napoca Seria Zooteh. Biotehnol.* 60:138-142.

Meng, X., B.A. Slominski, L.D. Campbell, W. Guenter and O. Jones. 2006. The use of enzyme technology for improved energy utilization from full-fat oilseeds. Part 1: Canola seed. *Poult. Sci.* 85:1025-1030.

Meng, X., B.A. Slominski, C.M. Nyachoti, L.D. Campbell and W. Guenter. 2005. Degradation of cell wall polysaccharides by combinations of carbohydrase enzymes and their effect on nutrient utilisation and broiler chicken performance. *Poult. Sci.* 84:37-47.

Meng, X. and B.A. Slominski. 2005. Nutritive values of corn, soybean meal, canola meal and peas for broiler chickens as affected by a multi-carbohydrase preparation of cell wall degrading enzymes. *Poult. Sci.* 84:1242-1251.

Nadeem, M.A., A.H. Gilani, A.G. Khan and Mahr-UN-Nisa. 2005. Amino acids availability of poultry feedstuffs in Pakistan. *Int. J. Agric. Biol.* 7:985-989.



Naseem, M.Z., S.H. Khan and M. Yousaf. 2006. Effect of feeding various levels of canola meal on the performance of broiler chickens. *J. Anim. Pl. Sci.* 16:78-82.

Nasser, A.R., M.P. Goeger and G.M. Arscott. 1985. Effect of canola meal in laying hen diets. *Nutr. Rep. Intl.* 31:1349-1355.

Newkirk, R.W. and H.L. Classen. 2002. The effects of toasting canola meal on body weight, feed conversion efficiency and mortality in broiler chickens. *Poult. Sci.* 81:815-825.

Novak, C., H. Yakout and S. Scheideler. 2004. The combined effects of dietary lysine and total sulphur amino acid level on egg production parameters and egg components in Dekalb Delta laying hens. *Poult. Sci.* 83:977-984.

NRC. 1994. Nutrient requirements of poultry. 9th Rev. Ed., National Acad. Press, Washington, D.C.

Oryschak, M. and E. Beltranena. 2013. Solvent-extracted vs. expeller-pressed *B. napus* and *B. juncea* fed to layers: Effects on feed intake, egg production and physical egg quality. *Poult. Sci.* 92(Suppl. 1): p. 80.

Palander, S., M. Näsi and I. Ala-Fossi. 2004. Rapeseed and soybean products as protein sources for growing turkeys of different ages. *Brit. Poult. Sci.* 45:664-671.

Perez-Maldonado, R.A. 2003. Canola meal and cottonseed meal in broiler and layer diets. A report for the Australian-sourced feed ingredients for pigs and poultry. AECL Publication No. 03/10.

Perez-Maldonado, R.A. and K.M. Barram. 2004. Evaluation of Australian canola meal for production and egg quality in two-layer strains. *Proc. Aust. Poult. Symp.* 2004: pp. 171-174.

Ramesh, K.R., G. Devegowda and H. Khosravinia. 2006. Effects of enzyme addition to broiler diets containing varying levels of double-zero rapeseed meal. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 19:1354-1360.

Ravindran, V., S. Cabahug, G. Ravindran and W.L. Bryden. 1999. Influence of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of feedstuffs for broilers. *Poult. Sci.* 78:699-706.

Robblee, A.R., D.R. Clandinin, J.D. Summers and S.J. Slinger. 1986. Canola meal for poultry. In "Canola Meal for Livestock and Poultry." Canola Council of Canada. Winnipeg, MB.

Rogiewicz, A., B. Dyck and B.A. Slominski. 2015. High-Inclusion level of canola meal in laying-hen diets. International Rapeseed Congress.

Savary, R. and D.M. Anderson. 2011. Effect of black-seeded canola meal and Juncea meal on production performance of white and brown strains of laying hens. 32nd Western Nutrition Conference. P. 285.

Simbaya, J., B.A. Slominski, W. Guenter, A. Morgan and L. Campbell. 1996. The effects of protease and carbohydrase supplementation on the nutritive value of canola meal for poultry: in vitro and in vivo studies. *Anim. Feed Sci. Technol.* 61:219-234.

Slominski, B.A. 2015. Canola science cluster research report. Canola Council of Canada.

Slominski, B.A. and L.D. Campbell. 1990. Non-starch polysaccharides of canola meal: Quantification, digestibility in poultry and potential benefit of dietary enzyme supplementation. *J. Sci. Food Agric.* 53:175-184.

Summers, J.D., S. Leeson and D. Spratt. 1988a. Canola meal and egg size. *Can. J. Anim. Sci.* 68:907-913.

Summers, J.D., D. Spratt and S. Leeson. 1988b. Utilisation of calcium in canola meal-supplemented laying diets. *Can. J. Anim. Sci.* 68:1315-1317.

Summers, J.D., D. Spratt and M. Bedford. 1990. Factors influencing the response of broiler chickens to calcium supplementation of canola meal. *Poult. Sci.* 69:615-622.

Summers, J.D., D. Spratt and M. Bedford. 1992. Sulphur and calcium supplementation of soybean and canola meal diets. *Can. Vet. J.* 72:127-133.

Summers, J.D. and M. Bedford. 1994. Canola meal and diet acid-base balance for broilers. *Can. J. Anim. Sci.* 74:335-339.

Toghyani, M., N. Rodgers, M.R. Barekatin, P.A. Iji and R.A. Swick. 2014. Apparent metabolisable energy value of expeller-extracted canola meal subjected to different processing conditions for growing broiler chickens. *Poult. Sci.* 93:2227-2236.

Waibel, P.E., S.L. Noll, S. Hoffbeck, Z.M. Vickers and R.E. Salmon. 1992. Canola meal in diets for market turkeys. *Poult. Sci.* 71:1059-1066.

Ward, A.K., H.L. Classen and F.C. Buchanan. 2009. Fishy-egg tainting is recessively inherited when brown-shelled layers are fed canola meal. *Poult. Sci.* 88:714-721.

Woyengo, T.A., E. Kiarie and C.M. Nyachoti. 2010. Metabolisable energy and standardized ileal digestible amino acid content of expeller-extracted canola meal fed to broiler chicks. *Poult. Sci.* 89:1182-1189.

Zdunczyk Z., J. Jankowski, J. Juskiwicz, D. Mikulski and B.A. Slominski. 2013. Effect of different dietary levels of low-glucosinolate rapeseed (canola) meal and non-starch polysaccharide-degrading enzymes on growth performance and gut physiology of growing turkeys. *Can. J. Anim. Sci.* 93:353-362.

PECES Y CRUSTÁCEOS

Abdul-Aziz, G.M., M.A. El-Nady, A.S. Shalaby and S.H. Mahmoud. 1999. Partial substitution of soybean meal protein by different plant protein sources in diets for Nile tilapia fingerlings. Bulletin of Faculty of Agriculture, University of Cairo. 50:189-202.

Allan, G.L., S. Parkinson, M.A. Booth, D.A. Stone, S. J. Rowland, J. Frances, and R. Warner-Smith. 2000. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: I. Digestibility of alternative ingredients. *Aquaculture* 186:293-310.



- Borgeson, T.L., V.R. Racz, D.C. Wilkie, L.J. White and M.D. Drew. 2006. Effect of replacing fish meal and oil with simple or complex mixtures of vegetable ingredients in diets fed to Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquac. Nutr.* 12:141-149.
- Buchanan, J., H.Z. Sarac, D. Poppi and R.T. Cowan. 1997. Effects of enzyme addition to canola meal in prawn diets. *Aquaculture* 151:29-35.
- Bulbul, M., M.A. Kader, M.A. Ambak, M.S. Hossain, M. Ishikama and S. Koshio. 2015. Effects of crystalline amino acids, phytase and fish-soluble supplements in improving nutritive values of high plant protein-based diets for kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicas*. *Aquaculture* 428:98-104.
- Burel, C., T. Boujard, F. Tulli and S.J. Kaushik. 2000. Digestibility of extruded peas, extruded lupin and rapeseed meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 188:285-298.
- Burr, G.S., W.R. Wolters, F.T. Barrows and A.W. Donkin. 2013. Evaluation of a canola protein concentrate as a replacement for fish meal and poultry by-product meal in a commercial production diet for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Int'l. Aquatic Res.* 5:1-8.
- Collins, S.A., A.R. Desai, G.S. Mansfield, J.E. Hill, A.G. Van Kessel and M.D. Drew. 2012. The effect of increasing inclusion rates of soybean, pea and canola meals and their protein concentrates on the growth performance of rainbow trout. *Aquaculture* 344-349:90-99.
- Collins, S.A., M. Øverland, A. Skrede and M.D. Drew. 2013. Effect of plant protein sources on growth rate in salmonids: Meta-analysis of dietary inclusion of soybean, pea and canola/rapeseed meals and protein concentrates. *Aquaculture* 400-401:85-100.
- Cruz-Suarez, L.E., D. Ricque-Marie, M. Tapia-Salazar, I.M. McCallum and D. Hickling. 2001. Assessment of differently processed feed pea (*Pisum sativum*) meals and canola meal (*Brassica* spp.) in diets for blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*). *Aquaculture* 196:87-104.
- Drew, M.D., V.J. Racz, R. Gauthier and D.L. Thiessen. 2005. Effect of adding protease to co-extruded flax:pea or canola:pea products on nutrient digestibility and growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Anim. Feed Sci. and Technol.* 119:117-128.
- Drew, M.D. 2004. Canola protein concentrate as a feed ingredient for salmonid fish. In Cruz-Suarez, et al. *Avances en Nutrición Acuicola VII. Memorias del Symposium Internacional de Nutrición Acuicola*.
- Drew, M.D. 2009. Use of canola, pea and soy fractions in aquafeeds. Saskatchewan Agriculture Development Fund. Final Project.
- Drew, M.D., A.E. Ogunkoya, D.M. Janz and A.G. Van Kessel. 2007. Dietary influence of replacing fish meal and oil with canola protein concentrate and vegetable oils on growth performance, fatty acid composition and organochlorine residues in rainbow trout. *Aquaculture* 267:260-268.
- Enami, H.R. 2011. A review of using canola/rapeseed meal in aquaculture feeding. *J. Fisheries and Aquatic Sci.* 6:22-36.
- Friedman, M. 1996. Nutritional value of proteins from different food sources: A review. *J. Agric. Food Chem.* 44:6-29.
- Fangfang, T., G. Qiping, W. Ruojun and L. Nernberg. 2014. Effects of feeding three kinds of rapeseed meal on growth performance of tilapia and the cost performance of three kinds of rapeseed meal. *Theory and Technol.* 35:74-80.
- Glencross, B. 2003. Pilot assessment of the potential for canola meal and oil use in aquaculture feeds. Final report for the Grains Research and Development Corporation. Fisheries Research Contract Report No. 5, Department of Fisheries, Western Australia. 132 pp.
- Glencross, B.D. and G.M. Turchini. 2010. Fish oil replacement in starter, grow-out and finishing feeds for farmed aquatic animals. In G.M. Turchini, W.K. Ng and D.R. Tocher (Eds.), *Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds* (pp. 373-404). Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
- Hajen, W.E., D.A. Higgs, R.M. Beames and B.S. Dosanjh. 1993. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in sea water. 2. Measurement of digestibility. *Aquaculture* 112:333-348.
- Higgs, D.A., B.S. Dosanjh, M. Little, R.J.J. Roy and J.R. McBride. 1989. Potential for including canola products (meal and oil) in diets for *Oreochromis mossambicus* x *O. aureus* hybrids. Proc. Third. Int. Symp. on Feeding and Nutr. in Fish. Toba, Japan. Aug. 28 - Sept. 1, 1989. Pp. 301-314.
- Higgs, D.A., A.F. Prendergast, B.S. Dosanjh, R.M. Beames, G. Deacon, R.W. Hardy., 1983. Canola protein offers hope for efficient salmon production. In: MacKinlay, D.D. (Ed), "High Performance Fish." Fish Physiology Association, Vancouver, BC. Pp. 377-382.
- Hill, H.A., J.T. Trushenski and C.C. Kohler. 2013. Utilisation of soluble canola protein concentrate as an attractant enhances production performance of sunshine bass fed reduced fish meal, plant-based diets. *J. World Aquacult. Soc.* 44:124-132.
- Hung, L.T. and N. Van Minh. 2013. Use of canola meal in carnivore feed: A case study in snakehead fish (*Channa striata*). International Fisheries Symposium, IFS 2013, Pattaya, Thailand.
- Izquierdo, M.S., D. Montero, L. Robaina, M.J. Caballero, G. Rosenlund and R. Ginés. 2005. Alterations in fillet fatty acid profile and flesh quality in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed vegetable oils for a long-term period. Recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding. *Aquaculture* 250:431-444.
- Lim, C., R.M. Beames, J.G. Eales, A.F. Prendergast, J.M. McLeese, K.D. Shearer and D.A. Higgs. 1997. Nutritive values of low- and high-fibre canola meals for shrimp. *Aquac. Nutr.* 3:269-279.
- Lim, C., P.H. Klesius and D.A. Higgs. 1998. Substitution of canola meal for soybean meal in diets for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *J. World Aquaculture Soc.* 29:161-168.



Luo, Z., C.X. Liu and H. Wen. 2012. Effects of dietary fish meal replacement by canola meal on growth performance and hepatic intermediary metabolism of genetically improved farmed tilapia strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in freshwater. *J. World Aquaculture Soc.* 43:670-678.

Mwachireya, S.A., R.M. Beames, D.A. Higgs and B.S. Dosanjh. 1999. Digestibility of canola protein products derived from the physical, enzymatic and chemical processing of commercial canola meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) (Walbaum) held in freshwater. *Aquaculture Nutr.* 5:73-82.

National Research Council (NRC). 1993. Nutrient requirements of fish. National Academies Press, Washington, D.C.

National Research Council (NRC). 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academies Press, Washington, D.C.

Poston, H.A. 1986. Response of rainbow trout to source and level of supplemental dietary methionine. *Comp. Biochem. Physiol.* 83:739-744.

Slominski, B.A. 2015. Canola science cluster research report, Canola Council of Canada.

Thiessen, D.L., D.D. Maenz, R.W. Newkirk, H.L. Classen and M.D. Drew. 2004. Replacement of fish meal by canola protein concentrate in diets fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutr.* 10:379-388.

Turchini, G.M., V.M. Moretti, K. Hermon, F. Caprino, M.L. Busetto, F. Bellagamba, T. Rankin, R.S. Keast and D. Francis. 2013. Monola oil versus canola oil as a fish oil replacer in rainbow trout feeds: Effects on growth, fatty acid metabolism and final eating quality. *Food Chem.* 141:1335-1344.

Van Minh, N., B. Li, B. Dyck, L. Nernberg and L.T. Hung. 2013. Use of canola meal to replace soybean meal in Pangasius catfish feed. Master thesis study, Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam.

Veiverberg, C.A., J. Radünz Neto, T. Emanuelli, C.C. Ferreira, F.S. Maschke and A.M. dos Santos. 2010. Feeding grass carp juveniles with plant-protein diets and forage. *Acta Scientiarum - Anim. Sci.* 32:247-253.

Webster, C.D., K.R. Thompson, A.M. Morgan, E.J. Grisby and A.L. Gannam. 2000. Use of hempseed meal, poultry by-product meal and canola meal in practical diets without fish meal for sunshine bass (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*). *Aquaculture* 188:299-309.

Zhan, C.N., X.F. Li, W.N. Xu, G.Z. Jiang, K.L. Lu, L.N. Wang and W.B. Liu. 2013. Combined effects of dietary fructooligosaccharide and *Bacillus licheniformis* on innate immunity, antioxidant capability and disease resistance of triangular bream (*Megalobrama terminalis*). *Fish and Shellfish Immunol.* 35:1380-1386.

AGRADECIMIENTO

El Consejo de la Canola de Canadá agradece a las siguientes personas por su contribución a esta guía de alimentación:

Dr. Bogdan Slominski, University of Manitoba

Dr. Essi Evans, Technical Advisory Services

Dr. Arnold Pierce, Preferred Animal Nutritional Services, Inc.

Dr. Glen Broderick, Broderick Nutrition and Research, LLC.

Dr. Ruurd Zijlstra, University of Alberta

Dr. Eduardo Beltranena, Alberta Agriculture and Forestry

Dr. Murray Drew, University of Saskatchewan



Canola Council of Canada
400-167 Lombard Avenue
Winnipeg, Manitoba
Canada R3B 0T6
Phone: (204) 982-2100
admin@canolacouncil.org
www.canolacouncil.org

