canola council OF CANADA

Innovador. Sostenible. Resistente.
La creación de valor superior para un mundo más saludable.

GUÍA PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS ANIMALES · 6ª EDICIÓN, 2019

GUÍA DE ALIMENTACIÓN DE HARINA DE CANOLA

HARINA DE CANOLA

Esta guía técnica sobre inclusión de harina de canola en alimentos para animales es la última de una serie de publicaciones producidas por el Consejo de Canola de Canadá.

Esta Guía de Alimentación de Harina de Canola se actualiza cada cierto número de años para incorporar nueva información de investigación sobre la utilización de estos coproductos de canola, así como avances en procesamiento y tecnología de los alimentos. Desde la edición anterior en 2015, se ha realizado una cantidad considerable de investigación adicional con respecto a la alimentación de diferentes especies de animales y en diferentes lugares del mundo.

Nueva información y cambios en esta última versión de la guía incluyen:

- Actualización del perfil de nutrientes de la harina canola obtenida a través de una colección de muestras de plantas procesadoras en Canadá durante un período de siete años.

- Información sobre la degradación de la proteína, la digestión de la fibra y el suministro de aminoácidos de la harina de canola en el rumen y su efecto en la producción de leche.

- Actualización de valores del contenido energético y niveles de inclusión de harina de canola en las dietas de cerdos y aves.

- Información sobre la inclusión de harina de canola en las dietas de acuacultura.

Se puede encontrar una copia de esta publicación en el sitio web del Consejo de Canola de Canadá www.canolacouncil.org, así como en Canolamazing.com que puede descargarse sin costo.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1. Harina de Canola: Una Introducción Básica 2

Capítulo 2. Composición de Nutrientes de la Harina de Canola 6

Capítulo 3. Valor de la Harina de Canola en las Dietas para Rumiantes 12

Capítulo 4. Valor de la Harina de Canola en las Dietas para Cerdos 27

Capítulo 5. Valor de la Harina de Canola en las Dietas para Aves 38

Capítulo 6. Valor de la Harina de Canola en las Dietas para Acuacultura 48

Referencias 56

Agradecimientos 70

CAP. 1 - HARINA DE CANOLA: UNA INTRODUCCIÓN BÁSICA

La canola es uno de los cultivos más importantes de Canadá, y es la segunda harina proteica más comercializada en el mundo. La principal región de producción de canola son los vastos y fértiles campos del Oeste Canadiense. A principios del verano, los cultivos de canola decoran los campos con flores amarillas brillantes, produciendo alrededor de 20 millones de toneladas métricas de semilla cada otoño. Estas pequeñas semillas redondas contienen aproximadamente 44% de aceite, el cual se extrae para consumo humano como uno de los aceites culinarios más saludables del mundo. Después de extraer el aceite, los sólidos de la semilla se procesan en un coproducto repleto de proteína que es un excelente complemento alimenticio para el ganado.

El nombre "canola" (aceite Canadiense) fue acuñado para diferenciarlo de la colza. La canola es derivada de la colza (Brassica napus y Brassica campestris / rapa), pero se modificó mediante técnicas de cruzamiento para tener bajos niveles de antinutrientes, específicamente ácido erúcico (<2%) en la porción en el aceite y bajos niveles de glucosinolatos. (<30 µmol / g) en la porción de la harina. La casi eliminación de los glucosinolatos dio como resultado un ingrediente que es muy apetecible para el ganado. Algunos países europeos usan el término "colza doble cero", la cual es baja en ácido erúcico y glucosinolatos para caracterizar la semilla modificada, el aceite y la harina de calidad equivalente a canola Canadiense.

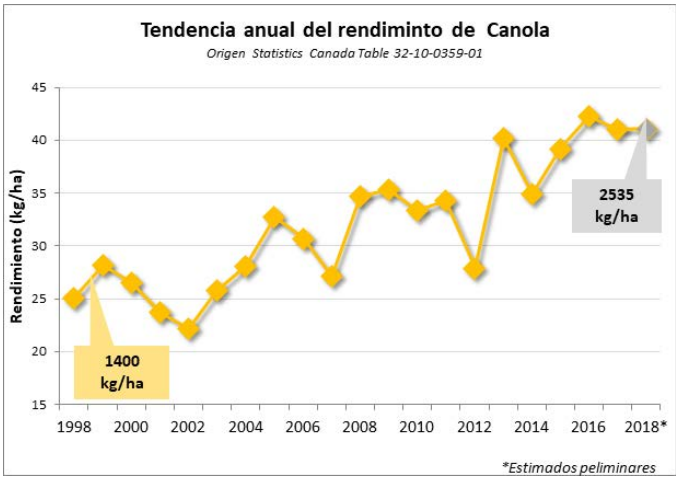
Producción y Mercados

La producción de canola en Canadá ha aumentado constantemente, y actualmente se producen aproximadamente 20 millones de toneladas métricas de semilla por año. En respuesta al aumento de la demanda mundial, la industria Canadiense de canola tiene como meta un aumento en el rendimiento a 26 millones de toneladas métricas por año para el 2025.

El plan se enfoca en aumentar los rendimientos de una manera sostenible, mientras se incrementa la comprensión del consumidor y se logran relaciones comerciales estables y abiertas.

Como muestra la Figura 1, la investigación del cultivo de canola ha dado como resultado casi el doble de los rendimientos en los últimos 20 años. El objetivo de la industria es alcanzar 3,000 kg por hectárea para 2025.

Figura 1: Rendimiento de semilla de canola por hectárea desde 1998 hasta 2018



Aproximadamente la mitad de la producción de semilla de canola de Canadá se exporta, y la otra mitad se procesa en Canadá (Tabla 1). La mayoría de los países que importan semilla de canola lo hacen principalmente por el aceite para consumo humano, que es el componente más valioso. La semilla se procesa y la harina de canola resultante se utiliza en la alimentación animal en estos países. La harina de canola es ampliamente disponible y se comercializa generalmente a granel como harina o granulos.

La harina de canola Canadiense se comercializa bajo las reglas descritas en la Tabla 2. Las harinas de canola y colza se incluyen comúnmente en alimentos para animales en todo el mundo. Juntas, son el segundo ingrediente proteico suplementario más comercializados después de la harina de soya.

Los principales productores de harina de canola y colza son Canadá, Australia, China, la Unión Europea e India. El uso de harina de canola varía considerablemente de un mercado a otro.

La harina de canola Canadiense que se comercializa directamente a los Estados Unidos va principalmente a los estados productores de ganado lechero.

La semilla de canola exportada a otros países para su procesamiento se utiliza de una manera mucho más diversa, incluyendo la alimentación a cerdos, aves y peces. Asimismo, la harina que utiliza la industria ganadera Canadiense se destina principalmente a raciones de la ganadería lechera, cerdos y aves.

Tabla 1. Producción, exportación y uso doméstico de semilla de canola y harina de canola en Canadá (en 000' TM)[1]

	--------AÑO DE COSECHA--------			
	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018
Producción total de semilla	16,410	18,377	19,599	21,328
Exportación total de semilla	9,137	10,268	11,052	10,771
China	4,032	4,016	3,999	4,319
Japón	2,177	2,179	2,214	2,584
México	1,491	1,382	1,565	1,474
Emiratos Árabes Unidos	220	587	807	637
Pakistán	515	1,081	932	678
Unión Europea	100	434	798	0
Estados Unidos	576	368	622	652
Otros países	26	221	114	427
Procesamiento doméstico de semilla	7,360	8,315	9,191	9,269
Uso doméstico de harina	571	581	504	606
Exportación total de harina	3,601	4,097	4,672	4,534
Estados Unidos	3,411	3,576	3,604	3,246
China	11	320	908	1,248
Otros	179	201	160	40

[1]Statistics Canada

Tabla 2. Reglas de comercio para la harina de canola establecidas por la Asociación Canadiense de Procesadores de Semilla Oleaginosas (COPA) [1]

CARACTERÍSTICAS (COMO ALIMENTO)	CANADÁ Y E.U.	EXPORTACIÓN
Proteína, % de Masa	36 mínimo	-
Proteína-grasa (aceite) (combinado), % de Masa	-	37 mínimo
Grasa (aceite) (típico), extraído con solvente , % de Masa	2 mínimo	-
Grasa (aceite) (típico), prensado por expulsora, % de Masa	10 mínimo	-
Humedad, % de Masa	12 máximo	12 máximo
Fibra cruda, % de Masa	12 máximo	12 máximo
Arena y /o sílice, % de Masa	-	1 máximo

[1]COPA (Canadian Oilseed Processors Association, 2019)

MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE CANOLA

La mayoría de las semillas de canola se procesan mediante extracción con solvente para separar el aceite de la harina. Este proceso, también llamado extracción con solvente de pre-prensado, generalmente incluye (Figura 2):

- Limpieza de semilla
- Preacondicionamiento y descamación de semilla.
- Calentamiento de la semilla
- Prensado de la semilla (expulsora) para remover mecánicamente una porción del aceite.
- Lavado con solventes de la torta prensada para extraer el resto del aceite.
- Desolventización y secado de la harina.
- Secado y enfriamiento de la harina.

Una pequeña proporción de la semilla de canola Canadiense se procesa mediante el procesamiento de expulsoras, también denominado doble prensado.

La semilla se expulsa dos veces para extraer aceite en lugar de usar solvente para extraer el aceite residual. Hasta el punto de extracción con solvente, el proceso es similar al proceso tradicional de extracción con solvente. Sin embargo, excluye las etapas de extracción con solvente, desolventización, secado y enfriamiento. La harina resultante tiene un mayor contenido de aceite, que puede variar de 8 a 11%.

Efectos del Procesamiento en la Calidad de la Harina

La calidad de la harina se puede aumentar o disminuir alterando las condiciones de procesamiento en la planta.

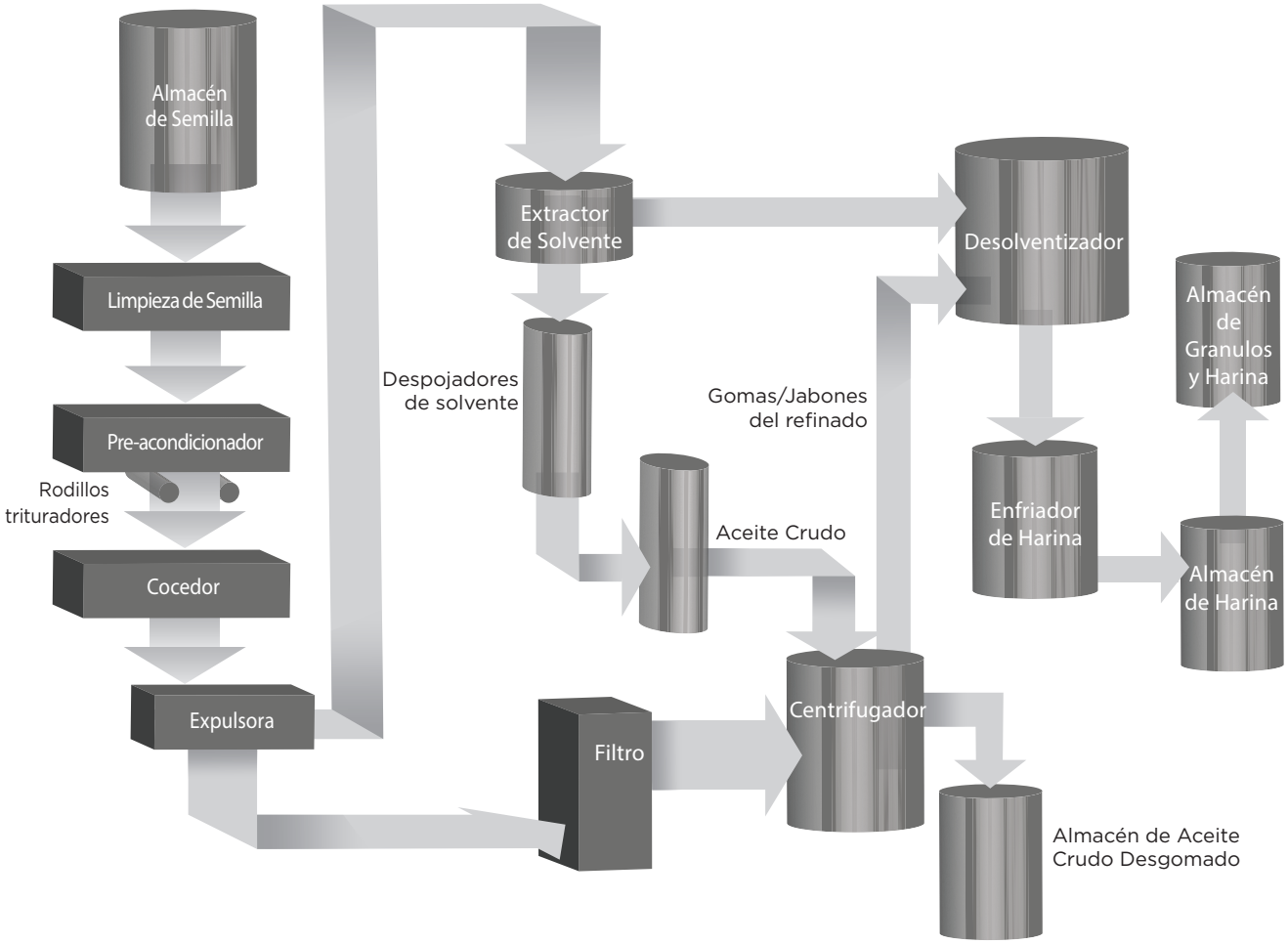
Se necesitan temperaturas mínimas de procesamiento para desactivar la enzima mirosinasa, la cual, si no se destruye, descompondrá los glucosinolatos en sus metabolitos tóxicos (aglucones) en el tracto digestivo del animal.

El procesamiento de la canola también puede causar degradación térmica del 30-70% de los glucosinolatos en la harina (Daun y Adolphe, 1997).

Sin embargo, si las temperaturas son muy altas durante mucho tiempo, la calidad de la proteína de la harina puede disminuir.

La calidad de la harina de canola de las plantas de procesamiento en Canadá no varía mucho. El procesamiento a pequeña escala, donde hay una variación considerable en equipo y temperaturas de procesamiento, puede producir una harina de calidad variada.

Figura 2. Proceso esquemático de la extracción por solvente.



CAP. 2 - COMPOSICIÓN DE NUTRIENTES DE LA HARINA DE CANOLA

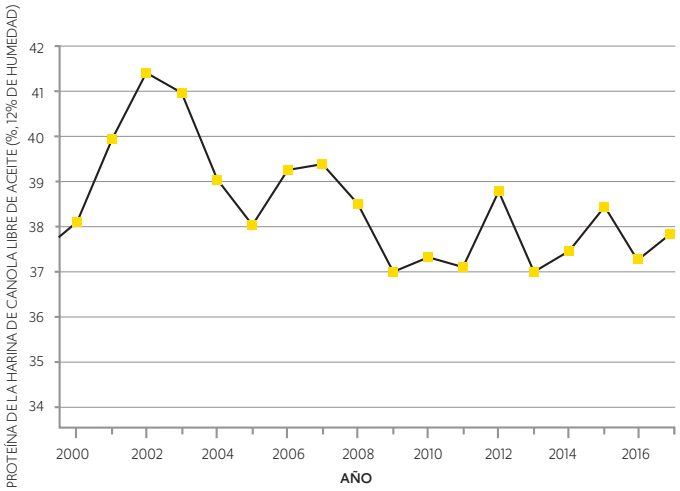
Composición Nutritiva de la Harina Extraída con Solvente

La harina de canola Canadiense extraída con solvente se deriva 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 de nutrientes de la harina de canola debido a la variación en las condiciones ambientales durante el cultivo, las condiciones de cosecha, y en menor medida, por el cultivar y el procesamiento de la semilla y la harina. La composición básica de nutrientes de la harina de canola se muestra en la Tabla 1. Estos resultados se basan en una extensa encuesta de 13 plantas de procesamiento, realizada durante un período de siete años.

Proteína y Aminoácidos

Para fines comerciales, el valor mínimo de proteína cruda de la harina de canola extraída con solvente es 36%, en una base de 12% de humedad. Si bien la garantía mínima de proteína cruda para la harina de canola Canadiense es del 36% (base de humedad del 12%), el contenido real de proteína puede variar entre 36 y 39%. El mínimo permite una variación anual en la composición de la semilla de canola debido a las condiciones de crecimiento.

Figura 1. Contenido de proteína en la harina de canola desde el año 2000 al 2017. Canadian Grains Commission, 2018.



La Figura 1 muestra la influencia de las condiciones climáticas y del suelo en el contenido de proteína de la harina de canola Canadiense de 2000 a 2017. Como lo indica el gráfico, el contenido de proteína de la harina de canola varía aproximadamente de 37 a 42% cuando se calcula en un producto libre aceite, en base a 12% de humedad..

Tabla 1. Composición de harina de canola extraída con solvente, determinada a partir de una encuesta de 7 años en 13 plantas procesadoras Canadienses[1]

COMPONENTE	EN BASE A 12% DE HUMEDAD	EN BASE A MATERIA SECA
Humedad, %	12	0
Proteína cruda (N x 6.25), %	36.9	42.0
Proteína de escape ruminal, % de proteína (Método NRC)[2]	43.5	43.5
Proteína de escape ruminal, % of proteína (Método CNCPS)[3]	53.0	53.0
Extracto etéreo, %	2.81	3.20
Ácido oleico, %	1.74	1.98
Ácido linoleico, %	0.56	0.64
Ácido linolénico, %	0.24	0.27
Cenizas, %	6.42	7.30
Calcio, %	0.67	0.76
Fósforo, %	1.03	1.17
Fibra total de la dieta %	33.6	38.2
Fibra detergente acida, %	16.3	18.6
Fibra detergente neutra, %	25.5	29.0
Sinapina, %	0.88	1.00
Ácido fítico, %	2.02	2.30
Glucosinolatos, %	3.14	3.57

[1]Radfar et al., 2017
[2]Broderick et al., 2016
[3]Ross, 2014

El perfil de aminoácidos de la harina de canola es muy adecuado para la alimentación animal (Tabla 2). Al igual que muchas fuentes de proteína vegetal, la harina de canola es limitante en lisina, pero se destaca por tener altos niveles de metionina y cistina. El perfil de aminoácidos se corrigió a una base de proteína del 36%, y por lo tanto, es probable que sea más bajo que el real. El contenido de aminoácidos varía con el contenido de proteína, y puede calcularse multiplicando el contenido de proteína cruda de la harina por la proporción de aminoácido como porcentaje de proteína (como se muestra en la Tabla 2).

Tabla 2. Composición de aminoácidos de la harina de canola (basado en 36% de proteína)[1,2]

AMINOÁCIDO	% DE LA HARINA	% DE LA PROTEINA CRUDA
Alanina	1.58	4.38
Arginina	2.19	6.08
Aspartato + Asparagina	2.49	6.92
Glutamato + Glutamina	6.22	17.28
Glicina	1.73	4.81
Histidina	1.08	3.00
Isoleucina	1.38	3.84
Leucina	2.38	6.60
Lisina	2.04	5.66
Metionina	0.69	1.93
Metionina + Cistina	1.33	3.69
Fenilalanina	1.34	3.71
Prolina	2.49	6.92
Serina	1.32	3.66
Treonina	1.43	3.97
Triptófano[2]	0.48	1.33
Tirosina	0.90	2.51
Valina	1.61	4.46

[1]Radfar et al., 2017
[2]Evonik AminoDat platinum

Extracto Etéreo

El contenido de extracto etéreo de la harina de canola Canadiense tiende a ser relativamente alto al 3.2% (Tabla 1) en comparación con el 1–2% en harinas de canola y colza producidas en la mayoría de los otros países. En Canadá, es una práctica común incluir las gomas de canola en la harina incrementando la grasa cruda por 1–2%. Las gomas se obtienen durante el refinado del aceite para consumo humano y consisten principalmente en glicolípidos, fosfolípidos y cantidades variables de triglicéridos, esteroles, ácidos grasos, vitaminas liposolubles, etc. La inclusión de las gomas en la harina de canola aumenta un poco el valor energético de la harina. Inclusión de hasta un 6% de gomas no tuvo efectos perjudiciales sobre el valor alimenticio de la harina de canola para pollos de engorda o gallinas ponedoras (Summers, col., 1978). En estudios que involucraron ganado de carne (Mathison, 1978), ganado lechero (Grieve, 1978) y cerdos (McCuaig y Bell, 1981), la inclusión de gomas en la harina de canola a niveles superiores a los agregados por los procesadores Canadienses de semillas de canola no tuvo efectos adversos sobre el valor nutritivo de la harina para estas especies de animales. Del mismo modo, la harina de canola también puede contener 1–2% de ácidos grasos libres o jabones derivados del refinado del aceite de canola para consumo humano. Además de la energía proporcionada por las gomas y los ácidos grasos libres, estos componentes ayudan a reducir el polvo de la harina.

Tabla 3. Composición de ácidos grasos del aceite de canola[1]

ÁCIDO GRASO	% DE ÁCIDO GRASOS TOTALES
C16:0 Ácido palmítico	3.8
C16:1 Ácido palmitoleico	0.2
C18:0 Ácido esteárico	1.9
C18:1 Ácido oleico	61.4
C18:2 Ácido linoleico (omega-6)	20.1
C18:3 Ácido linolénico (omega-3)	9.3
C22:1 Ácido erúcico	<0.1
Total Saturados	7.0
Total Monoinsaturados	64.4
Total Poliinsaturados	28.6

[1]Zambiasi et al., 2007

La Tabla 3 proporciona el análisis completo de ácidos grasos para el aceite de canola. Como muestra la tabla, este aceite contiene solo una pequeña cantidad de ácidos grasos saturados y una alta concentración de ácido oleico. La harina de canola proporciona una proporción 2: 1 de ácidos grasos omega-6 a omega-3, y es una buena fuente de ácidos grasos omega-3. El aceite de canola a veces se usa en las dietas para enriquecer el perfil de ácidos grasos de la leche, la carne o los huevos (Gallardo et al., 2012; Gül et al., 2012; Chelikani et al., 2004).

Carbohidratos y Fibra

La matriz de carbohidratos de la harina de canola es bastante compleja (Tabla 4). El contenido de fibra es más alto que para algunas proteínas vegetales, ya que la cáscara no se puede quitar fácilmente de la semilla. Gran parte de la fibra está en forma de fibra detergente ácida (FDA), con niveles de fibra de detergente neutra (FDN) aproximadamente un 10% más altos que FDA. El componente no fibroso es rico en azúcar, que se presenta principalmente como sucrosa.

Minerales

La mayoría de las referencias sobre el contenido mineral de la harina de canola utilizan los valores derivados por Bell y Keith (1991), que fueron confirmados nuevamente en una encuesta realizada por Bell et al. (1999), y nuevamente según la encuesta actual (Broderick et al., 2016; Adewole et al., 2016). Los datos muestran que la harina de canola es una fuente relativamente buena de minerales esenciales (Tabla 5) en comparación con otras harinas de semillas oleaginosas. La harina de canola es una fuente especialmente buena de selenio y fósforo. Al igual que otras fuentes vegetales de fósforo, una parte del total está en forma de fitato.

Vitaminas

La información sobre el contenido de vitaminas de la harina de canola es muy limitada, pero parece ser rica en colina, biotina, ácido fólico, niacina, riboflavina y tiamina (NRC 2012, Tabla 6). Como se recomienda con la mayoría de las fuentes naturales de vitaminas en los alimentos para animales, los usuarios no deben confiar demasiado en estos valores y utilizar premezclas con suplementos de vitaminas.

Tabla 4. Componentes de carbohidratos y fibra de harina de canola[1,2,3]

	EN BASE A 12% DE HUMEDAD	EN BASE A MATERIA SECA
Carbohidratos no fibrosos		
Monosacáridos (Fructuosa and Glucosa), %	1.55	1.76
Disacáridos (sucrosa), %	5.58	6.34
Oligosacáridos, %	2.23	2.53
Almidón, %	0.43	0.49
Carbohidratos fibrosos		
Fibra detergente ácida, %	16.32	18.55
Fibra detergente neutra, %	25.51	28.99
Fibra total de la dieta, %	34.53	39.24
Polisacáridos sin almidón, %	20.15	22.90
Celulosa , %	7.65	8.69
Polisacáridos no celulósicos, %	12.50	14.21
Glicoproteínas (proteína cruda insoluble FDN , %	4.30	4.89
Lignina and polifenoles, %	8.68	9.86
Lignina, %	5.82	6.61

[1]Adewole et al., 2016
[2]Broderick et al., 2016
[3] Slominski and Rogiewicz, sin publicar

Factores Antinutricionales

La harina de colza, el predecesor de la harina de canola, es reconocida como un ingrediente que puede ser necesario limitarse en las dietas para ganado y peces debido a ciertos factores antinutricionales, principalmente glucosinolatos. Estos factores se han reducido en la harina de canola a niveles que no representan una amenaza para el rendimiento y la alimentación de la mayoría de las especies.

Los glucosinolatos son un gran grupo de metabolitos secundarios comunes a todas las plantas crucíferas. Si bien no son tóxicos por sí solos, los productos de descomposición de los glucosinolatos pueden afectar negativamente el rendimiento de los animales. El bajo contenido de glucosinolato de la canola, en comparación con los cultivares anteriores de colza, constituye la mejora más importante en la calidad de la harina lograda por los genetistas de plantas. Los glucosinolatos de canola se componen de dos tipos principales, glucosinolatos alifáticos e indolyl (o indol). Los glucosinolatos alifáticos constituyen aproximadamente el 85% de los glucosinolatos presentes en la harina de canola, mientras que los glucosinolatos de indolyl representan el otro 15% (Adewole et al., 2016).

Tabla 5. Contenido de minerales en la harina de canola[1,2,3]

	EN BASE A 12% DE HUMEDAD	EN BASE A MATERIA SECA
Calcio, %	0.65	0.74
Fósforo, %	0.99	1.13
Fósforo fítico, %	0.64	0.73
Fósforo no-fítico, %	0.35	0.40
Sodio, %	0.07	0.08
Cloro. %	0.10	0.11
Potasio, %	1.13	1.28
Sulfuro, %	0.63	0.72
Magnesio, %	0.54	0.61
Cobre, mg/kg	4.7	5.3
Hierro, mg/kg	162.0	184.0
Manganeso, mg/kg	58.0	66.0
Molibdeno, mg/kg	1.4	1.6
Zinc, mg/kg	47	53
Selenio, mg/kg	1.1	1.3

[1]Adewole et al., 2016
[2]Sauvant et al., 2002
[3]Dairy One (www.dairyone.com)

Tabla 6. Contenido de vitaminas en la harina de canola[1]

	EN BASE DE 12% DE HUMEDAD	EN BASE A MATERIA SECA
Biotina, mg/kg	0.95	1.08
Colina, g/kg	6.5	7.4
Ácido fólico, mg/kg	0.8	0.9
Niacina, mg/kg	15.6	17.7
Ácido pantoténico, mg/kg	9.3	10.6
Piridoxina, mg/kg	7.0	8.0
Riboflavina, mg/kg	5.7	6.5
Tiamina, mg/kg	5.1	5.8
Vitamina E, mg/kg	13.0	14.8

[1]NRC, 2012.

El contenido promedio de glucosinolatos total de la harina de canola Canadiense, basado en datos de siete años, es 3.6 µmol / g (Slominski y Rogiewicz inédito). En comparación, la harina de colza tradicional contiene niveles tan altos como 120 µmol / g de glucosinolatos totales. La razón por la que los glucosinolatos se expresan en una base molecular (µmol / g) en lugar de en una base en peso (mg / kg) es que los glucosinolatos tienen pesos moleculares significativamente diferentes, dependiendo del tamaño de su cadena lateral alifática. Dado que el efecto negativo en el animal es a nivel molecular, la estimación más precisa de este efecto debe medirse expresando la concentración de glucosinolato sobre una base molecular.

La concentración de glucosinolatos en la semilla de canola Canadiense ha seguido disminuyendo en los últimos años, debido a la presión de selección de los genetistas de plantas de canola. El nivel de glucosinolatos en la semilla de canola Canadiense antes del procesamiento tiene un promedio alrededor de 10 µmol / g en los últimos siete años. El contenido de glucosinolato se concentra en la harina; después de eso, se reduce aún más durante el procesamiento a valores que promedian 3.6 µmol / g.

Los taninos están presentes en la harina de canola en un rango de 1.5 a 3.0%, con variedades de semilla de color café oscuro que tienen niveles más altos que las variedades de semilla amarilla. Los taninos en la harina de canola son principalmente insolubles y están asociados con la cáscara, y no parecen tener los mismos efectos negativos sobre la palatabilidad y la digestibilidad de la proteína que tienen en otras plantas (Khajali y Slominski, 2012).

La harina de canola contiene aproximadamente 1% de sinapina, un éster de colina del ácido sinápico. La sinapina es digna de mención, ya que se ha demostrado que produce un sabor a pescado en los huevos de algunas gallinas ponedoras de huevo marrón (Khajali y Slominski, 2012). Los programas de mejoramiento genético han dado como resultado que la mayoría de las especies de ponedoras de huevo marrón ya no se vean afectadas por la sinapina (ver Capítulo 5). La investigación realizada por Qiao y Classen (2003) demostraron que, si bien la sinapina puede tener un sabor amargo, a los niveles encontrados en la harina de canola, no afectó la ingesta de alimento ni la tasa de crecimiento.

Composición Nutricional de la Harina de Canola de Expulsora

Varios términos se usan indistintamente para diferenciar las harinas extraídas con solvente frente a las extraídas con expulsora. Los términos comúnmente utilizados para describir la harina incluyen harina de expulsora, harina de doble prensado y torta prensada.

Actualmente en Canadá, un pequeño porcentaje de semilla se procesa utilizando el método de la expulsora. Las plantas de semilla oleaginosas más pequeñas, así como las asociadas con algunas plantas de biodiesel, utilizan el procesamiento de la expulsora de doble prensa en lugar de la extracción con solvente. Debido a que el aceite se extrae simplemente por medios mecánicos, la harina resultante contiene significativamente más aceite que el de la harina de canola estándar extraída con solvente.

El perfil nutricional de la harina de expulsora es similar al de la harina de canola extraída por solvente, excepto que contiene 8-12% de grasa, y por lo tanto, tiene valores de energía mucho más altos. La composición nutricional de la harina de la expulsora se proporciona en la Tabla 7. El contenido de grasa puede variar ampliamente, por lo que es importante que la torta de la expulsora se analice por grasa y se reajuste el valor energético. Los altos niveles de grasa también diluirán otros nutrientes en la harina resultante, en relación con la harina de canola extraída con solvente.

Tabla 7. Composición química típica de harina de canola expulsada[1,]

	EN BASE A 12% DE HUMEDAD	EN BASE A MATERIA SECA
Humedad (medida), %	4.02	0
Proteína cruda (N x 6.25), %	34.28	38.95
Proteína de escape ruminal, % de proteína (método de NRC)[2]	48.5	48.5
Proteína de escape ruminal, % de proteína (método de CNCPS)[3]	59.1	59.1
Extracto etéreo, %	10.96	12.44
Ácido oleico, %	6.85	7.75
Ácido linoleico, %	2.20	2.50
Ácido linolénico, %	0.91	1.03
Cenizas, %	6.96	7.90
Calcio, %	0.62	0.71
Fósforo, %	0.96	1.09
Fibra total	37.07	42.12
Fibra detergente acida, %	16.72	19.00
Fibra detergente neutra, %	26.83	30.49
Glucosinolatos, %	8.85	10.06
Metionina, % de la proteína cruda	1.93	1.93
Lisina, % de la proteína cruda	5.93	5.93
Treonina, % de la proteína cruda	3.69	3.69

[1]1 Radfar et al., 2017
[2]Broderick et al., 2016
[3]Ross et al., 2013 (personal communication)

Composición Nutritiva de la Semilla de Canola

Los valores de nutrientes clave para la semilla de canola se muestran en la Tabla 8. Estos valores se obtuvieron de publicaciones recientes (Assadi et al., 2011; Leterme et al., 2008). La mayoría de los valores de nutrientes para la semilla de canola se pueden calcular a partir de los valores de nutrientes en la harina y el aceite de canola, considerando que aproximadamente el 56% de la semilla es harina y el 44% es aceite. La excepción es el contenido energético, porque el valor energético de la semilla de canola no puede estimarse de manera confiable a partir de la adición de los valores energéticos para el aceite y la harina de canola. Para cerdos y aves, la semilla tiene menos energía que la suma de sus componentes de aceite y harina. Esto es probable porque la semilla de canola entera no se procesa en el mismo grado que el aceite y la harina de canola, por lo tanto, no es tan bien digerida. El tratamiento térmico y la reducción del tamaño de partícula de la semilla de canola por micronización, extrusión o expansión a menudo se utilizan para aumentar su digestibilidad energética.

Tabla 8. Composición química de la semilla de canola (Nutrientes sin humedad y calculados al 12% de humedad)

	--------REFERENCIA--------			
	1	2	3	4
Humedad, %	6.8	10.1	5.0	5.7
Proteína cruda, %	18.4	18.0	20.0	20.7
Extracto etéreo, %	40.5	36.5	43.8	38.6
Ácido linoleico, %	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	-	-

[1]Feedipedia, 2018 (www.feedipedia.com)
[2]NRC, 2001
[3]Assadi et al., 2011
[4]Montoya and Leterme, 2008

CAPÍTULO 3. VALOR DE LA HARINA DE CANOLA EN LAS DIETAS PARA RUMIANTES

La harina de canola es ampliamente utilizada en dietas para ganado lechero y de carne. Se considera que es un ingrediente de alta calidad tanto para animales lecheros y de carne como para pequeños rumiantes debido a su excepcional alta calidad de proteína para soportar la producción de leche y el crecimiento.

Palatabilidad para Rumiantes

La harina de canola es una fuente de proteína muy apetitosa para los rumiantes, y esto se ha demostrado repetidamente en experimentos de alimentación. Ravichandran et al. (2008) examinaron el impacto de la alimentación de harina de canola en comparación con harina de colza con diferentes niveles de glucosinolatos residuales en terneros de 5 meses. Los terneros alimentados con harina de canola que contenía menos de 20 µmol / g de glucosinolatos consumieron prácticamente la misma cantidad de alimento que los terneros de control alimentados con dietas sin harina de canola (1.10 kg vs. 1.08 kg / día, respectivamente). Sin embargo, los terneros alimentados con un concentrado que contiene harina de colza con alto contenido de glucosinolato (> 100 µmol / g) solo consumieron 0.76 kg. Otro estudio realizado con terneros (Hadam et al., 2015) no observaron diferencias en el comportamiento de alimentación o la ingesta de terneros durante la transición del destete a la alimentación sólida. Las ingestas de la dieta de inicio de 1 a 35 días de edad fueron numéricamente más bajas con la dieta de harina de canola en comparación con una dieta donde la principal fuente de proteína era la harina de soya (269 vs 315 g / cabeza / día).

Del mismo modo, se ha demostrado que el ganado vacuno considera que la harina de canola es un ingrediente alimenticio apetecible. En un estudio reciente, Nair et al. (2014) descubrieron que cuando la cebada de la dieta se sustituyó por harina de canola en 15 o 30% de la materia seca total (MS) durante el crecimiento, el ganado consumía mayores cantidades de alimento con la adición de la harina de canola. En una continuación de ese estudio (Nair et al., 2015) durante la etapa de crecimiento del ganado, las ingestas mejoraron cuando la harina de canola se incluyó en la dieta a concentraciones de 10 o 20% de la MS. Para el ganado de carne, la ingesta fue mayor durante el crecimiento que recibió dietas con 10% de harina de canola que las dietas que contenían granos de destilados de maíz o granos de destilados de trigo (Li et al., 2013). He et al. (2013) determinaron que no hubo reducción en la ingesta de materia seca (IMS) cuando la harina de canola reemplazó la cebada al 30% de la dieta (MS) durante la fase de crecimiento o finalización con ganado de carne en el lote de engorde.

Los tratamientos con harina de canola extraída con solvente y expulsora se probaron en ese experimento, con el mismo resultado.

Estudios recientes han revelado que la ingesta en vacas lecheras se puede mantener o mejorar cuando la harina de canola reemplaza la harina de soya o los granos de destilería. Broderick y Faciola (2014), reemplazaron el 8.7% de la harina de soya con el 11.7% de harina de canola. Las vacas consumieron 0.5 kg más de MS con la dieta de harina de canola. Maxin et al. (2013a) sustituyeron con 20.8% de harina de canola en reemplazo de 13.7% de harina de soya, con vacas que consumieron 23.6 y 24.0 kg de MS para las dos dietas, respectivamente. Swanepoel et al. (2014) alimentaron hasta el 20% de MS como harina de canola a vacas de alta producción a cambio de granos de destilería con alto contenido de proteína, sin reducción en el consumo de materia seca.

Energía para Rumiantes

Como la mayoría de los ingredientes concentrados, la harina de canola es una buena fuente de energía que proporciona nutrientes para el crecimiento microbiano y soportar la productividad del animal. En el pasado, el valor energético de la harina de canola se ha infravalorado (NRC, 2001; NRC, 2015) y sigue siendo un error en muchas publicaciones. Varios programas populares de formulación de alimentos usan lignina para descontar la digestibilidad de la pared celular. Por ejemplo, las estimaciones de NRC (2001) de fibra detergente neutra (FDN) no disponible se acercan al 65%, con el FDN potencialmente disponible estimado en 35%. Dependiendo de la velocidad de paso, la cantidad real digerida sería aún menor.

Utilizando un nuevo procedimiento de digestibilidad de fibra detergente neutra (FDN), Cotanch et al. (2014) demostraron que el FDN no disponible en la harina de canola era del 32% del FDN total después de 120 horas de incubación en el rumen, y que la pared celular potencialmente digestible era, por lo tanto, del 68%. Nuevamente, la digestibilidad real sería menor debido a que la pared celular potencialmente digestible sale del rumen antes de que se complete la digestión.

Con base en los resultados de una encuesta de 4 años en 12 plantas de procesamiento (144 muestras), Paula et al. (2017b) determinaron que la digestibilidad del FDN a las 288 horas de incubación en el rumen es el 80.2% del FDN, y estimaron que la digestibilidad real en el rumen a 3 veces la ingesta de mantenimiento fue del 60.2%. Estos resultados corroboran algunos estudios anteriores que muestran que aproximadamente la mitad del FDN se digiere en vacas lecheras lactantes (Mustafa et al., 1996, 1997), y porcentajes más altos se digieren en ovejas (Hentz et al., 2012) y ganado vacuno. (Patterson et al., 1999a).

La harina de canola extraída con solvente tiene el mismo valor energético neto para el mantenimiento y ganancia que la cebada, según un estudio de ganado en cebadero (Nair et al., 2015). La harina de canola reemplazó a la cebada al 15 y 30% de la dieta MS, lo que permite el cálculo de la energía neta por sustitución. En un estudio que comparó los granos de los destilados, los granos de los destilados con alto contenido de proteína, la harina de soya y la harina de canola, no hubo diferencias en la leche corregida por energía /MS o cambios en la puntuación de la condición corporal (Christen et al., 2010). Además, Swanepoel et al. (2014) no vieron diferencias en el consumo de materia seca o condición corporal cuando la harina de canola reemplazó hasta un 20% los granos de los destilados de maíz con alto contenido de proteína. La producción de energía en la leche fue mayor con las dietas que contenían harina de canola, lo que indica que el valor energético de la harina de canola era al menos tan alto como los granos de los destilados con alto contenido de proteína. En base a estos resultados más recientes, el valor energético de la harina de canola se proporciona en la Tabla 1.

Proteína y Aminoácidos en la Harina de Canola para Rumiantes

La harina de canola ha sido apreciada en raciones para rumiantes por su valor proteico. El perfil de aminoácidos de la harina se reconoció desde el principio para ajustarse más a los requisitos de mantenimiento y producción de leche que otras proteínas vegetales (Schingoethe, 1991).

Tabla 1. Energía media de la harina de canola (Base de Materia Seca)

	METODO DE PROCESAMIENTO DE HARINA DE CANOLA	
	POR SOLVENTE	POR EXPULSORA
Nutrientes digestibles totales (NDT), %	68.2	74.6
Energía digestible (ED), Mcal/kg	3.20	3.61
Energía metabolizable (EM) Mcal/kg	2.69	2.96
Energía neta de lactación (EN-L 3X), Mcal/kg	1.71	1.93
Energía neta de mantenimiento (EN-M), Mcal/kg	1.84	2.01
Energía neta de ganancia (EN-G), Mcal/kg	1.20	1.36

Tabla 2. Composición de los aminoácidos esenciales en la harina de canola y en la fracción PNDR determinada por la Universidad de Cornell usando el método de Ross[1]

	% DE LA MATERIA SECA		% DE LA PROTEINA	
	FRACCIÓN PNDR	HARINA INTACTA	FRACCIÓN PNDR	HARINA INTACTA
Arginina	2.23	2.17	6.19	6.03
Histidina	0.91	0.92	2.53	2.56
Isoleucina	1.28	1.24	3.56	3.44
Leucina	2.68	2.52	7.44	7.00
Lisina	1.76	1.84	4.89	5.11
Metionina	1.55	1.27	4.31	3.53
Fenilalanina	1.49	1.44	4.14	4.00
Treonina	1.51	1.47	4.19	4.09
Triptófano	0.51	0.48	1.42	1.33
Valina	1.54	1.44	4.28	4.00

[1]Ross, 2015

Los valores dados en la Tabla 2 se obtuvieron para la fracción de proteína no degradada en el rumen (PNDR), así como para la harina de canola intacta usando el procedimiento desarrollado por Ross et al. (2013), basado en un subconjunto de resultados de la encuesta 2011-2014. Estos resultados muestran que la harina de canola aporta una cantidad significativa de metionina, que a menudo es el primer aminoácido limitante en la producción.

Proteína no Degradable en el Rumen de la Harina de Canola

Muchas publicaciones, desconocen tener valores de ingredientes incorrectos para proteína no degradable en el rumen (PNDR) y proteína degradable en el rumen (PDR), y se están haciendo cambios lentos para corregirlos. En el pasado, se suponía que la proteína soluble se degradaba en gran medida en el rumen. De hecho, la degradabilidad ruminal de la proteína soluble es muy variable.

Investigaciones más recientes reconocen que una porción de proteína soluble de los ingredientes del alimento permanece sin degradar, y que esto varia con la fuente de proteína. Para la harina de canola, la fracción soluble no degradada es alta. Las dos principales proteínas de almacenamiento en la canola son la napina y la cruciferina. La napina es una proteína de bajo peso molecular que es soluble (Perera et al., 2016) pero aparentemente no se degrada fácilmente.

Hedqvist y Udén (2006) revelaron por primera vez que las partes de la fracción de proteína soluble no se degradaban en el rumen para algunas proteínas vegetales. Desde entonces, esto ha sido confirmado por varios otros investigadores en diferentes instituciones (Bach et al., 2008; Stefanski et al., 2013; Ross et al., 2013) demostraron que el grado de degradación de la fracción soluble para la harina de canola y la harina de colza promediaba solo el 40% del total, y la fracción soluble no degradada contribuía al componente PNDR de la proteína de la harina (Tabla 3).

Tabla 3. Degradación de la proteína soluble como fracción de la proteína total de la harina de canola o colza

REFERENCIA	DEGRADADA, % DE SOLUBLE	NO DEGRADABLE % DE SOLUBLE
Bach et al., 2008	37	63
Hedqvist y Uden, 2006	44	56
Stefanski et al., 2013	43	57

Por lo tanto, el contenido de proteína no degradable en el rumen (PNDR) de la harina de canola depende mucho del sistema de análisis utilizado. Los métodos más antiguos, como la pérdida de saco (bolsa de nylon), no tienen en cuenta la contribución de la fracción de proteína solubles a la PNDR disponible para el animal (Tabla 3), o pequeñas partículas que pueden ser lavadas /o salir de las bolsas (Maxin et al., 2013b). Los sistemas más modernos de modelado y análisis que hora se están adaptando para estas contribuciones al PNDR. Esta información actualizada sobre el metabolismo ruminal de la proteína ha permitido que las dietas se formulen con concentraciones más bajas de proteína. La harina de canola ha sido particularmente ventajosa para soportar la producción de leche y el crecimiento cuando las dietas se formulan sobre la base de los valores correctos de PNDR.

Aún más relevantes para el valor de alimentación de la harina de canola son las comparaciones de los valores de PNDR entre la harina de canola y otras proteínas, en particular la harina de soya. La Tabla 4 proporciona valores de PNDR (% de la proteína) para la harina de canola extraída con solvente en relación con la harina de soya de varios estudios recientes. Cada referencia localizada representa un método de análisis ligeramente diferente. En general, la PNDR de la harina de canola como porcentaje de la proteína tiende a ser algo más alta que la de la harina de soya, y la relación entre los valores de PNDR de estas dos proteínas se puede usar para ajustar los programas de formulación para que la harina de canola esté representada con mayor precisión.

.

Tabla 4. Proteína no degradable en el rumen - PNDR (% de valores proteicos para la harina de canola y la harina de soya según lo determinado por varios nuevos métodos de análisis)

REFERENCIA	HARINA DE CANOLA	HARINA DE SOYA	RELACIÓN CANOLA/ SOYA
Broderick et al., 2016	46.3	30.5	1.51
Hedqvist y Uden, 2006	56.3	27.0	2.07
Jayasinghe et al., 2014	42.8	31.0	1.38
Maxin et al., 2013b	52.5	41.5	1.27
Ross,2015[1]	53.2	45.2	1.18
Tylutki et al., 2008	41.8	38.3	1.09

[1]Resultados de 27 muestras de harina de canola, presentadas como un subconjunto de muestras de encuestas

Producción de Proteína Microbiana en el Rumen

Varios estudios han proporcionado resultados para la síntesis de proteína microbiana cuando la harina de canola se incluyó en la dieta. Brito y col. (2007) y Paula et al. (2018) midieron el flujo abomasal de nutrientes y proteína microbiana. En ambos estudios, se determinó que no había diferencias en el rendimiento de proteína microbiana cuando la harina de canola se usó para reemplazar la harina de soya como fuente de proteína. De manera similar, Paula et al. (2017a) determinaron que no hubo diferencias en el rendimiento de proteína microbiana para las dietas de harina de soya o de canola en un estudio de fermentación de doble flujo. Krizsan et al. (2017) notaron que aumentando las concentraciones de harina de canola tratada con calor dio como resultado mayores cantidades de proteína de escape ruminal y menores cantidades de proteína microbiana ruminal. Sin embargo, la harina de canola tratada térmicamente reemplazó a la cebada en las dietas, y esto alteró el almidón disponible necesario para apoyar el crecimiento microbiano.

Ácidos Grasos de Canola en el Rumen

Los ácidos grasos insaturados en el rumen tienen el potencial de permitir la acumulación de productos intermedios de biohidrogenación que pueden interferir con la síntesis de grasa de la leche, así como inhibir el crecimiento microbiano.

Sin embargo, no todos los ácidos grasos insaturados son equivalentes en su efecto. Como se señaló en el Capítulo 2, la harina de canola extraída con solvente contiene aproximadamente 3.5% de extracto etéreo, una cantidad mayor que la encontrada en algunas otras proteínas vegetales comunes. Esta fuente altamente insaturada de ácidos grasos está compuesta principalmente por el ácido graso monoinsaturado, ácido oleico (C18: 1). Es menos probable que el ácido oleico produzca ácidos grasos intermedios que producen la depresión de la grasa de la leche. He y Armentano, (2011) agregaron grandes cantidades de aceites vegetales (5% de MS) que varían en la composición de ácidos grasos a la dieta de las vacas lactantes. El rendimiento de grasa disminuyó de 1.14 kg / vaca / día a 1.02 kg / vaca / día para las dietas agregando C18: 1 y ácido linolénico (C18: 3) pero bajó a 0.86 kg / vaca / día con ácido linoleico (C18: 2). Es un estudio de seguimiento, con altas concentraciones de grasa agregada, He et al. (2012) determinaron que C18: 2 era un ácido graso más potente que C18: 1 para causar depresión de la grasa de la leche. Stoffel y col. (2015) proporcionaron a las vacas una serie de dietas que diferían en la composición de ácidos grasos, pero las fuentes de grasa añadidas se proporcionaron en niveles que serían típicos de situaciones prácticas de alimentación. Los efectos sobre el porcentaje de grasa de leche y los rendimientos de grasa de leche fueron notablemente diferentes para las dietas. Los rendimientos de grasa de leche fueron 1.44 kg/vaca/día con la dieta alta C18: 1 en comparación con 1.31 kg / vaca / día para la dieta alta C18: 2. El rendimiento de grasa con la dieta baja en control de aceite fue de 1.41 kg / vaca / día.

Minerales y Vitaminas

El perfil de minerales y vitaminas para la harina de canola se ha abordado anteriormente en el Capítulo 2 y los valores tabulados se pueden encontrar allí. Hay algunos puntos clave relativos al contenido mineral que merecen ser destacados.

Fósforo

La harina de canola es una rica fuente de fósforo, con la mayoría de este mineral en forma de fitatos.

A diferencia de los animales monogástricos, esta forma está disponible para los rumiantes, debido a la presencia de fitasas bacterianas en el rumen que degradan rápidamente los fitatos (Spears, 2003).

De hecho, los estudios han demostrado que los fitatos están altamente más disponibles para los rumiantes que el fósforo no fítico. Garikipati (2004) proporcionó dietas a las vacas lecheras en las que aproximadamente la mitad del fósforo estaba en forma de fósforo fítico. La digestibilidad general del fósforo fue del 49%. Sin embargo, la digestibilidad de los fitatos fue del 79%.

Skrivanova y col. (2004) también encontraron que la digestibilidad del fósforo en terneros de 10 semanas de edad era del 72%, con el 97% de la porción fítica digerible.

Yodo

El yodo ha sido reconocido durante mucho tiempo como un mineral que se puede agregar al alimento y aplicarse tópicamente para combatir una serie de organismos infecciosos que causan problemas del casco y la mastitis. Sin embargo, el aumento de la ración de yodo generalmente da como resultado mayores concentraciones que ingresan a la leche, siendo el alto contenido de yodo en la leche una preocupación para la nutrición humana. Las plantas crucíferas como la canola y la colza contienen glucosinolatos que reducen la absorción de yodo por la glándula tiroides y la glándula mamaria (Flackowsky et al., 2014).

A pesar de que los niveles de glucosinolatos son extremadamente bajos en la harina de canola actual y en la harina de colza doble cero, varios estudios han demostrado que las concentraciones de yodo en la leche se reducen cuando estas fuentes de proteína se proporcionan a niveles más altos de ingesta (Vesely et al., 2009, Troan et al., 2018). Troan y col. (2018) proporcionaron a las vacas dietas que contenían 0, 6, 14 o 20% de harina de colza expulsada, que contenía un total de 1.07 µmol / g de glucosinolatos. Determinaron que la proporción de yodo consumido que se transfirió a la leche fue del 25, 19, 13 y 10% para las cuatro dietas respectivas.

El beneficio de esto se demostró en un estudio de Weiss et al. (2015), al alimentar con 13.9% de harina de canola en la dieta de prueba y 2.0 mg de yodo. Los resultados indicaron que los niveles de yodo en la leche eran cercanos a los encontrados cuando se proporcionaron 0.5 mg / kg de yodo en las dietas donde se excluyó la harina de canola. Sin embargo, las concentraciones de yodo en el suero sanguíneo fueron mucho más altas con la harina de canola (Tabla 5) y esto permitiría que se manifestaran los beneficios de una mayor inclusión de yodo, sin producir niveles inaceptables de yodo en la leche.

Diferencia Cationes y Aniones Dietéticos

La diferencia de catión-anión en la dieta (DCAD) proporciona un cálculo de la diferencia entre los principales aniones (azufre y cloro) y cationes (sodio y potasio) en la dieta. Cuando hay cantidades iguales de estos en una base molecular, entonces la dieta es neutral.

Tabla 5. Efectos de la alimentación de harina de canola sobre las concentraciones de yodo en el suero sanguíneo y leche (µg / L)[1]

	CONCENTRACIÓN DE YODO EN LA DIETA, MG/KG MS					
	0.5			2.0		
Harina de Canola, % de MS	0	3.9	13.9	0	3.9	13.9
Yodo en el suero de la sangre, µg/L	99	142	148	175	251	320
Yodo en la leche, µg/L	358	289	169	733	524	408

[1]Weiss et al., 2015

Es deseable tener un exceso de aniones en el primer período seco, ya que esto puede ser beneficioso para reducir la incidencia de fiebre de la leche al momento del parto. El drenaje repentino de calcio en la sangre cuando comienza la lactancia debe compensarse con una mayor absorción de calcio, así como con la movilización de calcio del hueso.

Se ha demostrado que las dietas negativas de DCAD ayudan a mantener los niveles de calcio en la sangre al ayudar a liberar el calcio del hueso.

Se pueden agregar sales aniónicas a la dieta, pero a veces reducen la palatabilidad de la dieta y reducen la ingesta de MS. Debido a que los aniones y cationes en la dieta se originan en los ingredientes ofrecidos así como en los suplementos minerales, la selección de ingredientes puede ser beneficiosa para lograr el equilibrio deseado, y reducir la necesidad de agregar sales aniónicas. Los ingredientes que aportan grandes cantidades de cationes a la dieta aumentan la necesidad de grandes cantidades de sales aniónicas. Como se muestra en la Tabla 6 a continuación, la harina de canola es una opción ideal, ya que el valor de DCAD para este ingrediente ya es negativo y ayudará a reducir la necesidad de agregar sales aniónicas.

Tabla 6. Comparación de catión (potasio y sodio), anión (cloro y azufre) y DCAD (mEq / kg de materia seca) para algunos ingredientes alimenticios comunes [1]

	K	Na	Cl	S	DCAD
Maíz grano	+107	+9	-23	-63	31
Destilados de maíz	+281	+130	-28	-275	109
Harina de Soya	+775	+13	-155	-244	389
Harina de canola	+361	+30	-11	-456	-76
Silaje de maíz	+307	+4	-82	-88	142
Silaje de alfalfa	+775	+13	-155	-188	445
Silaje de forraje	+795	+22	-181	-131	505
Silage de cebada	+621	+57	-106	-106	369

[1]Erdman and Iwaniuk, 2017

Alimentación de Harina de Canola Extraída con Solvente para Vacas Lactantes

Meta Análisis del valor alimenticio

Desde 2011, se han realizado cuatro meta-análisis que comparan la harina de canola con otras proteínas vegetales en las dietas para vacas lecheras lactantes. Estos estudios respaldan el hecho de que el valor de la proteína no degradable en el rumen (PNDR) de la harina de canola es alto y tiene un perfil de aminoácidos único que respalda de manera eficiente la producción de proteína de la leche.

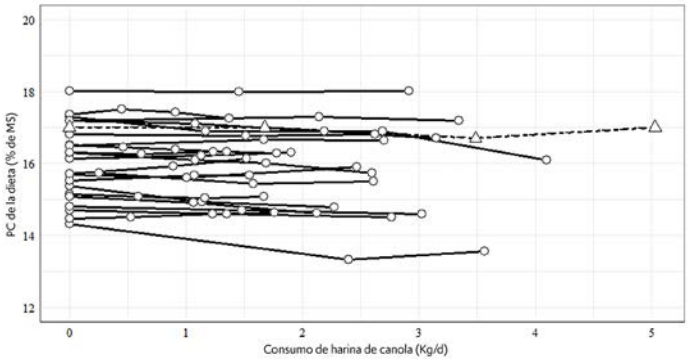
Huhtanen y col. (2011) evaluaron los resultados de 122 estudios en los que se suministró proteína adicional ya sea con harina de soya o harina de canola. En todos los casos, la proteína añadida reemplazó al grano y los forrajes se mantuvieron constantes. El análisis reveló que, por cada aumento de kg en la proteína cruda consumida, la producción de leche aumentó en 3.4 kg con harina de canola y 2.1 kg con harina de soya. Los investigadores concluyeron que la harina de canola generalmente estaba infravalorada en comparación con la harina de soya.

Utilizando criterios de selección de datos algo diferentes, Martineau et al. (2013) compararon los efectos de reemplazar las proteínas vegetales en la dieta con la misma cantidad de proteína de la harina de canola. En el nivel de inclusión promedio (2.3 kg por día) de harina de canola, el rendimiento de la leche aumentó en 1.4 kg en los 49 estudios utilizados en el análisis. En una evaluación adicional, Martineau et al. (2014) compararon la respuesta en los aminoácidos plasmáticos con los cambios en la fuente de proteína en la dieta. Los aminoácidos esenciales fueron más altos y el nitrógeno de urea de la leche fue más bajo cuando las vacas recibieron harina de canola en comparación con todas las demás fuentes de proteína. Estas diferencias reflejan la importancia del perfil de aminoácidos de la harina de canola en relación con las necesidades de la vaca lechera lactante.

Para incorporar los hallazgos de investigación más recientes, Martineau et al. (2019) realizaron un meta-análisis final para comparar los resultados de alimentación de estudios limitados a

aquellos en los que se comparó la harina de canola con otra proteína en su totalidad y en parte. Varios estudios de investigación han demostrado que mezclando otras proteínas vegetales con harina de canola aumenta el valor de la fuente de proteína que no contenía canola, pero no estaba claro si las proteínas sin canola aumentaban el valor de la harina de canola. Este estudio exhaustivo indica que mezclar otras proteínas vegetales con harina de canola no mejorará la producción de leche. El estudio también mostró que la harina de canola se puede proporcionar en dietas de hasta el 19% de la MS sin pérdidas en la producción de leche y sin efectos negativos sobre la ingesta (Figura 1).

Figura [1]. Efectos de aumentar la harina de canola en la dieta sobre ingesta de MS según lo determinado en numerosos estudios (Martineau et al., 2019). Las ingestas más altas de harina de canola no reducen la ingesta de MS.



Ensayos de Alimentación Individual

La Tabla 7 muestra los resultados de los estudios comparativos que se han publicado recientemente para comparar la harina de canola con otras fuentes comunes de proteína vegetal. Como lo ilustra la tabla, la harina de canola se desempeñó tan bien o mejor que las harinas alternativas evaluadas para el potencial de producción de leche en la mayoría de los estudios publicados.

Ensayos Chinos de Alimentación

La industria láctea en China ha estado creciendo constantemente, y con ella, la necesidad de ingredientes proteicos confiables.

En reconocimiento de esta necesidad, el "Consejo Canadiense de la Canola" apoyó varios ensayos de alimentación en China en 2011. Todos los estudios incluyeron rebaños bien administrados, y la producción de leche promedió 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 la Tabla 8. Incluso a tasas de inclusión bastante bajas, cuando la harina de canola reemplazó a los ingredientes proteicos de alto precio, la producción de leche se mantuvo o aumentó.

Tabla 8. Ensayos realizados en China en los que la harina de canola fue sustituida por otra fuente de proteína

LOCALIZACIÓN	DETALLES	CAMBIOS EN LA LECHE
Granja 1	352 vacas; estudio de conmutación; sustitución directa de harina de soya por harina de canola (1.7 kg / vaca / día)	-0.2 L
Granja 2	352 vacas; estudio de conmutación; sustitución directa de harina de soya por harina de canola (1.7 kg / vaca / día)	-0.2 L
Granja 3	320 vacas; estudio de conmutación; sustitución directa de harina de soya por harina de canola (0.7 kg / vaca / día)	+0.3 L
Granja 4	1,700 vacas; igualado por producción y alimentadas por 80 días; sustitución directa de harina de soya por harina de canola (2.4 kg/vaca/dia)	+1.0 L
Granja 5	330 vacas; igualado por producción; sustitución directa de harina de soya y harina de algodón por harina de canola (1.7 kg / vaca / día)	+1.2 L

Tabla 7. Comparación de la producción de leche (Kg) por vacas que recibieron dietas donde la fuente principal de proteína suplementaria fue suministrada por harina de canola extraída con solvente u otra proteína vegetal.

REFERENCIA	HARINA DE CANOLA	ALTERNATIVA	DIFFERENCIA
		HARINA DE SOYA	
Brito y Broderick, 2007	41.1	40.0	+1.1
Broderick et al., 2012	40.7	39.7	+1.0
Broderick et al., 2015	39.5	38.5	+1.0
Broderick y Faciola, 2014	38.8	38.2	+0.6
Christen et al., 2010	31.7	31.7	0
Faciola y Broderick, 2013	37.3	36.4	+0.9
Galindo et al., 2017	46.0	43.7	+2.3
Gidlund et al., 2015	30.2	29.5	+0.7
Maxin et al., 2013a	30.9	31.9	-1.0
Moore y Kalscheur, 2016	55.7	51.2	+4.5
Paula et al., 2015	40.3	39.4	+0.9
Paula et al., 2018	44.1	42.9	+1.2
Weiss et al., 2015	39.4	37.6	+1.8
		HARINA DE ALGODÓN	
Brito y Broderick, 2007	41.1	40.5	+0.6
Maesoomi et al., 2006	28.0	27.0	+1.0
White et al., 2000	22.3	21.8	+0.5
		DDGS DE MAÍZ	
Acharya et al., 2015	34.9	35.5	-0.6
Christen et al., 2010	31.7	31.2	+0.5
Maxin et al., 2013a	30.9	32.2	-1.3
Mulrooney et al., 2009	35.2	34.3	+0.9
Swanepoel et al., 2014	47.9	44.9	+3.0
Abeysekara y Mutsvangua, 2016	40.4	40.2	+0.2
Chibisa et al., 2012	45.0	45.0	0
Maxin et al., 2013a	30.9	30.8	+0.1
Mutsvangwa et al., 2016	43.4	42.4	+1.0
		HARINA DE GIRASOL	
Beauchemin et al., 2009	27.0	26.7	+0.3
Vincent et al., 1990	26.7	25.1	+1.6
		HARINA DE LINAZA	
Beauchemin et al., 2009	27.0	26.8	0.2
		GRANOS DE CERVECERÍA	
Moate et al., 2011	23.4	22.3	+1.1
		HARINA DE COLZA	
Hristov et al., 2011	47.1	45.0	+2.1

Alimentación de Harina de Canola de Expulsora a Vacas Lactantes

Como era de esperar, el valor nutricional de la harina de expulsora de canola es similar al de la harina extraída con solvente, excepto por sus valores de energía más altos debido al mayor contenido de grasa, así como un valor de proteína no degradable en el rumen (PNDR) potencialmente más alto debido a los métodos de procesamiento. Theodoridou y Yu (2013), determinaron que usando espectroscopía molecular, las proteínas de la harina de canola de expulsora se alteraron en mayor medida por el calor que la harina de canola extraída con solvente, y por lo tanto el valor de la proteína no degradable en el rumen (PNDR) es ligeramente mayor para la harina de expulsora.

Además, Heim y Krebs (2018) determinaron que la PNDR era mayor para la harina húmeda de expulsora tratada con calor que para

la prensa en frío y aumentaba linealmente con la duración del tratamiento con presión de calor húmedo.

Debido a que se produce menos harina de expulsora, y debido a que es muy buscada para su uso en dietas de no rumiantes, hay menos apoyo de investigación disponible para este ingrediente que para la harina de canola extraída con solvente. Al igual que la harina de canola extraída con solvente, la harina de canola de expulsora es un ingrediente adecuado para la alimentación del ganado. La Tabla 9 compara los efectos sobre la producción de leche alimentando con harina de canola, harina de canola de expulsora o harina de canola de expulsora calentada. La harina de canola de expulsora y su efecto sobre la producción de leche en vacas lecheras lactantes se estudió en la Universidad de Saskatchewan (Beaulieu et al., 1990; Jones et al., 2001), y más recientemente en la Universidad Estatal de Pennsylvania (Hristov et al., 2011). Los resultados indican que la inclusión de harina de canola de expulsora en las dietas para vacas lecheras en lactancia produce rendimientos de leche que son tan buenos o incluso numéricamente más altos que los obtenidos con harina de canola extraída con solvente.

La harina de canola de expulsora también se ha comparado favorablemente con otras proteínas vegetales y se ha demostrado que mejora el perfil de ácidos grasos de la grasa de la leche. Johansson y Nadeau (2006) examinaron los efectos de reemplazar un suplemento de proteína comercial con harina de canola de expulsora en las dietas orgánicas, y observaron un aumento en la producción de leche de 35.4 kg a 38.4 kg / día. En este estudio y otros, la alimentación de harina de canola de expulsora tendió a reducir el contenido de grasa saturada de la leche y a aumentar la concentración de ácido oleico (C18: 1) en la grasa de la leche. Se observó una reducción en el contenido de ácido palmítico (C16: 0) de 30.3% a 21.9% de la grasa, y un aumento en C18: 1 de 15.7% a 20.9%. Del mismo modo, Jones et al. (2001) observaron un cambio en el perfil de ácidos grasos cuando se alimentó con harina de canola de expulsora. Hristov y col. (2011) reemplazaron la ración convencional con harina de canola de expulsora en dietas para vacas lecheras lactantes.

Tabla 9. Producción de leche de vacas alimentadas con dietas que contienen harina de canola, harina de canola de expulsora o harina de canola de expulsora tratada térmicamente.

REFERENCIA	PARIDAD	ETAPA DE LACTANCIA	TRATAMIENTO	LECHE,KG
Beaulieu et al., 1990	Mezcla	Mediana	Harina canola con solvente	28.0
			Harina de canola de expulsora	28.0
Hristov et al., 2011	Multi-parto	Temprana	Harina de canola con solvente	41.7
			Harina de canola de expulsora	41.7
Jones et al., 2001	Multi-parto	Pasado el pico	Harina de canola con solvente	28.6
			Harina de canola de expulsora	30.0
			Harina de canola de expulsora calentada	30.0
Jones et al., 2001	Primeriza	Pasado el pico	Harina de canola con solvente	23.6
			Harina de canola de expulsora	24.0
			Harina de canola de expulsora calentada	25.2

La harina de la expulsora disminuyó los ácidos grasos saturados y aumentó el contenido de C18: 1 de grasa de la leche. Esto sugeriría que la grasa que queda en la harina de expulsora es algo resistente a la biohidrogenación en el rumen, y por lo tanto, una porción se absorbe directamente desde el intestino delgado.

Si bien se han llevado a cabo menos estudios para evaluar la harina de canola de expulsora Canadiense, hay una serie de experimentos que se han completado en Europa, utilizando colza doble cero. Rinne et al. (2015) compararon la harina de soya de expulsora y harina de colza de expulsora agregada en incrementos a las vacas que recibieron una dieta de silaje de trébol. La leche corregida por energía (ECM) aumentó en una cantidad mayor en cada incremento de la adición con la harina de colza de expulsora en comparación con la harina de soya de expulsora. Gidlund et al. (2017) determinaron que la inclusión de la harina de colza de expulsora en las dietas de lactancia redujo las emisiones de metano. En otro estudio (Puhakka et al., 2016) se determinó que el reemplazo de habas con harina de colza expulsada redujo la ingesta y pérdida de producción de leche.

Alimentación de Semilla de Canola y Aceite de Canola a Vacas Lecheras

En general, se usan muy poco semilla y aceite en las dietas para vacas lecheras. En el pasado, ha habido interés en alimentar el aceite de canola protegido del rumen y la semilla de canola para la producción de carne y leche de diseño. Un estudio de Chicholowski et al. (2005) demostraron los beneficios de alimentar a los rumiantes con semilla de canola molida en comparación con la harina de canola prensada con expulsora. La suplementación con semilla de canola molida dio como resultado una relación reducida de omega-6 a omega-3 y una mayor proporción de ácido linoleico conjugado (ALC) y ácido trans-vaccénico (precursor de ALC) en la leche, lo que sugiere que de esta manera se puede producir un producto más saludable, sin tener ningún impacto en la producción de leche.

Johnson y col. (2002) también observaron un aumento de ALC y ácido oleico en la leche cuando las dietas se complementaron con canola entera y semilla de algodón. Bayourthe y col. (2000) observaron reducciones significativas en la grasa saturada en la leche cuando las vacas lecheras fueron alimentadas con semilla de canola entera, molida o extruida. También observaron reducciones similares en el contenido de ácidos grasos saturados de la leche cuando se agregaron a la dieta sales de calcio de ácidos grasos de canola. Con la excepción de la semilla de canola entera, la suplementación con productos de canola con alto contenido de grasa también mejoró la producción de leche, lo que indica que agregar semilla de canola procesada o aceite de canola protegido es un método efectivo para alterar el perfil de ácidos grasos de los productos lácteos.

Recientemente, se han investigado los ácidos grasos para evaluar su influencia en la salud y la reproducción. La semilla de canola en las dietas preparto se ha evaluado en un intento fallido de mejorar la salud de los terneros al nacer, la salud de las vacas y los rasgos reproductivos (Salehi et al., 2016a, 2016b). Las vacas recibieron dietas de control, o dietas con semilla de canola (una fuente de ácido oleico C18: 1) o semilla de girasol (una fuente de ácido linoleico C18: 2) durante el período seco, y todas las vacas recibieron la misma dieta de lactancia después del parto. El peso de los terneros al nacer fue mayor con las semillas oleaginosas en comparación con el control. Agregar semillas oleaginosas a la dieta antes del parto tiende a aumentar los trastornos reproductivos. La calidad del calostro mejoró cuando las vacas recibieron semilla de girasol antes del parto, pero no semilla de canola.

El metano es un gas de efecto invernadero producido por los microbios del rumen que representa una pérdida de energía para la vaca. Beauchemin y col. (2009) investigaron los efectos de los ácidos grasos de cadena larga en la producción de metano en el rumen mediante la incorporación de semilla de lino, girasol o canola trituradas en las dietas de lactancia. Las semillas de lino y girasol son fuentes de ácidos grasos poliinsaturados, mientras que la canola es una fuente de ácidos grasos monoinsaturados. Todas las fuentes de ácidos grasos redujeron el metano en relación con el control. La digestibilidad de la materia seca se redujo con las dietas de lino y semilla de girasol, pero no con la dieta que contenía

semilla de canola. Las vacas habían alcanzado el pico de lactancia al comienzo del estudio, y no hubo diferencias en la producción de leche entre los tratamientos.

Productos de Canola en Raciones para Ganado Vacuno de Carne

La harina de canola ha sido demostrada como una fuente de proteína adecuada para ganado de carne, capaz de reemplazar varios otros productos de proteína vegetal. Como se señaló anteriormente, la harina de canola tiene un valor energético similar a la cebada (Nair et al., 2015, 2016) y se ha demostrado que es una valiosa fuente de energía para el engorde y finalización del ganado (Damiran y McKinnon, 2018).

En un estudio anterior, Petit y Veira (1994) determinaron que la suplementación de silaje de forraje con harina de canola aumentaba el peso en el crecimiento de novillos. El mismo grupo de investigadores suplementó el alimento con canola a novillos durante la etapa de finalización y observaron un aumento diario de ganancia de peso y menos días de alimentación. He et al. (2013) alimentado dietas de finalización de ganado que contenían 15 y 30% de harina de canola en lugar de grano de cebada. Tanto la harina de expulsora como la harina extraída con solvente se evaluaron a estos niveles de inclusión. No hubo diferencias en ganancia promedio diaria. Las dietas con el nivel más alto de harina de canola aumentaron el consumo de MS y redujeron la eficiencia alimenticia en relación con el nivel más bajo y la dieta de control de cebada. Damiran y McKinnon (2018) reemplazaron el 10% y el 20% de la cebada en una dieta de acabado equilibrada con harina de canola, y no encontraron diferencias en el rendimiento de la dieta de control. Si bien es poco común alimentar con niveles tan altos de harina de canola, el estudio mostró que el ganado no tenía aversión a esos niveles de harina.

La harina de canola se ha utilizado para complementar la proteína en vacas de carne gestantes y lactantes. Patterson y col. (1999a, 1999b) evaluaron frijoles, la harina de girasol o la harina de canola como un suplemento proteico para vacas de carne que se alimentaron en pastos de baja calidad. Los resultados para el peso al nacer de los terneros, peso al destete y cambio de la condición de la vaca fueron similares para todos los tratamientos. La pérdida de peso durante la gestación fue más baja con la harina de canola. Un estudio realizado por Auldist et al. (2014) revelaron que las vacas en pastoreo producían más leche cuando la harina de canola reemplazaba parcialmente el trigo en el suplemento alimenticio. Esto se confirmó en un estudio posterior (Damiran et al., 2016).

En un estudio de crecimiento de vaquillas, Llewellyn et al. (2015) complementaron una dieta basada en forraje con harina de canola procesada en la granja, harina de camelina procesada en la granja o harina de soya. Las ganancias promedio diarias fueron 0.5, 0.34 y 0.42 kg / día para las dietas de harina de canola, camelina y soya, respectivamente.

Además de la harina de canola, los granos de trigo secos de destilería con solubles (wDDGS) están disponibles en el oeste de Canadá. Li y col. (2014) utilizaron dietas para vaquillas de engorde suplementadas con harina de canola, wDDGS, DDGS de maíz o DDGS de maíz con alto contenido de proteína con urea. Todos los suplementos de proteína mejoraron el rendimiento y aumentaron el consumo de MS en relación con un control bajo en proteína. La digestibilidad total del tracto fue más alta con la harina de canola, y la proteína total que ingresó al duodeno fue más alta para los DDGS de maíz con alto contenido proteico con urea en la dieta. Good et al. (2017) compararon 4 fuentes de proteína: harina de canola, harina de soya, 50% de harina de canola y 50% de wDDGS y, finalmente, 50% de harina de soya y 50% de wDDGS en dietas para el crecimiento / finalización del ganado. No hubo diferencia en la ganancia de peso corporal o en la conversión alimenticia entre las dietas que contenían harina de canola, harina de soya o harina de canola más wDDGS.

Sin embargo, la mezcla de harina de soya con wDDGS tuvo un efecto negativo sobre el marmoleo y clasificación. Yang y col. (2013) encontraron que la suplementación con harina de canola mejoró la ingesta y el aumento de peso en novillos de crecimiento.

Los novillos que recibieron harina de canola tuvieron el promedio de ganancia diaria numéricamente más altas que los que recibieron DDGS de maíz, y ganancias estadísticamente mayores que los

novillos que recibieron wDDGS.

Además, se ha demostrado que el aceite de canola mejora el perfil de ácidos grasos de la grasa en los animales de carne. Rule et al. (1994) demostraron que la canola entera aumentó el contenido de ácidos grasos monoinsaturados y omega-3 de la grasa subcutánea y grasa muscular de la carne de res. He y col. (2013) revelaron de manera similar un perfil mejorado de ácidos grasos en la carne de res en asociación con la fracción de lípidos de la harina.

Productos de Canola en Raciones para Terneros

Solo hay unas pocas publicaciones que revisan el uso de la harina de canola en las dietas para terneros antes del destete. En un estudio Canadiense, Miller-Cushon et al. (2014) descubrieron que los terneros antes del destete a los que se les ofreció gránulos de iniciación bajos en proteína de harina de canola o de soya, optaron por consumir más gránulos de soya que de harina de canola. Hadam y col. (2016) proporcionaron a los terneros destetados dietas que contenían 24% de harina de soya, 12.5% de harina de soya más 16.5% de harina de canola o 35% de harina de canola. Hubo 12 terneros por tratamiento.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las ingestas iniciales durante los primeros 35 días de vida. Sin embargo, las ingestas fueron numéricamente más bajas con las dos dietas que contenían harina de canola. Aunque nuevamente no fue estadísticamente significativo, la eficiencia alimenticia favoreció la dieta de harina de soya. Los investigadores sugirieron que un agente saborizante podría haber mejorado la ingesta con la dieta más alta de harina de canola.

La harina de canola se puede administrar a los terneros de leche o de carne en crecimiento sin restricción. Anderson y Schoonmaker (2004) compararon la harina de canola con las legumbres (guisantes de campo, garbanzos y lentejas) como proteínas para terneros de carne después del destete. Las dietas contenían 16% de proteína cruda. Los terneros que recibieron la dieta de harina de canola ganaron un poco menos (1.67 en comparación con 1.89 kg / día), pero tuvieron mejor eficiencia alimenticia (4.1 vs. 3.8) con la dieta que contenía 9.4% de harina de canola. En un estudio reciente de terneros lecheros, Terré y Bach (2014) evaluaron la ingesta de dietas iniciadoras de 18% de proteína cruda en las tasas de crecimiento de los terneros que recibieron dietas en las que la fuente primaria de proteína era la harina de canola o la harina de soya. Las ingestas y las tasas de ganancia fueron similares para las dos dietas. Los investigadores concluyeron que no se requerían agentes saborizantes para los terneros que recibieron dietas con harina de canola después del destete. Los DDGS de maíz solo podrían usarse parcialmente para reemplazar la harina de canola en las dietas para novillas en crecimiento a partir de los 12 meses de edad (Suarez-Mena et al., 2015) antes de que la digestibilidad y la retención de nitrógeno disminuyeran.

A diferencia de la harina de canola, la harina de soya contiene altas concentraciones de fitoestrógenos. Los fitoestrógenos pueden imitar la acción del estrógeno y alterar los ciclos hormonales (Woclawek-Potocka et al., 2005; Cools et al., 2014). Gordon y col. (2012) proporcionaron dietas que contenían harina de soya o de canola a vaquillas lecheras de 8 a 24 semanas de edad. Las vaquillas fueron sometidas a una dieta común hasta las 60 semanas de edad, momento en el que fueron servidas. Las tasas de preñez fueron del 66.7% para las novillas que recibieron harina de canola durante el desarrollo prepuberal, pero solo el 41.7% para las novillas que recibieron harina de soya. Las proteínas con bajos niveles de fitoestrógenos, como la harina de canola, podrían proporcionar una alternativa si surgen dificultades de reproducción.

Uso de Harina de Canola para Pequeños Rumiantes

La harina de canola es un suplemento ideal para la producción de lana y mohair (lana de cabra de angora), debido al requerimiento de aminoácidos con alto contenido de azufre de estos animales (Reis et al., 1990). Además, se ha demostrado que la harina de canola ayuda al aumento de peso en estos animales de carne. Los altramuces han sido tradicionalmente la proteína vegetal preferida para los corderos en Australia, pero Wiese (2004) determinó que la harina de canola es superior a los altramuces en soportar el aumento de peso (272 frente a 233 gramos / día) y la eficiencia alimenticia. Recientemente, Malau-Aduli et al. (2009) también encontraron que la harina de canola era superior a los altramuces para el aumento de peso en

corderos. En un estudio Canadiense (Agbossamey et al., 1998), la harina de canola fue superior a la harina de pescado en las dietas para corderos en crecimiento.

La harina de canola también favorece el crecimiento en pequeños rumiantes. Mandiki y col. (1999) alimentaron con dietas de cordero que contenían hasta un 30% de harina de colza con calidad de canola (6.3 µmoles / g de glucosinolatos en el concentrado). No hubo efectos sobre el aumento de peso o la ingesta de alimento, a pesar de que el peso de la tiroides fue marginalmente mayor y la producción de hormona tiroidea fue marginalmente menor en los niveles más altos de inclusión de harina de colza en la dieta. Asadollahi et al. (2017) determinaron que una dieta con semilla tostada de canola al 7% mejoró las tasas de crecimiento, la grasa intramuscular, el área del ojo del lomo y las características sensoriales de los corderos en comparación con una dieta estándar. La incorporación del aceite de canola en la dieta de las cabras en crecimiento aumentó el ácido graso omega-3 muscular, redujo la grasa visceral y mejoró la estabilidad oxidativa de la carne en relación con el aceite de palma (Karami et al., 2013).

La harina de canola también se puede utilizar en dietas de lactancia de pequeños rumiantes. Andrade y Schmidely (2006) proporcionaron a las cabras lactantes dietas que contenían 0 o 20% de semilla de canola triturada. La producción de leche aumentó con la semilla de canola. Debido a que la composición de aminoácidos de la leche de cabra es similar a la leche de vaca, la harina de canola debe ser adecuada para la lactancia.

Niveles prácticos de inclusión de harina de canola en dietas para rumiantes

TIPO DE DIETA	NIVEL DE INCLUSIÓN
Pre-destete (terneros)	Hasta 35%. Un saborizante puede ser útil
Terneros en crecimiento, corderos y cabras	Sin límite
Vacas y cabras lactantes	Sin límite
Crecimiento de vacunos de carne	Sin límite
Finalización de vacunos de carne	Sin límite

CAPÍTULO 4. VALOR DE LA HARINA DE CANOLA EN LA DIETA PARA CERDOS

La harina de canola es bien aceptada por los cerdos, y con mejoras en la formulación, se puede incluir a niveles cada vez más altos en su alimentación durante todas las fases de crecimiento y reproducción. La adopción generalizada de sistemas de evaluación de alimentos más precisos para energía y aminoácidos, junto con un mayor conocimiento de la composición nutricional de la harina de canola aseguran resultados de alimentación precisos. Los aminoácidos caracterizados como aminoácidos digeribles ileales estandarizados o verdaderos, junto con el uso del sistema de energía neta (EN), caracterizan con mayor precisión el valor de la harina de canola en relación con otros ingredientes. La harina de canola es totalmente diferente a la harina de colza debido a la mejora genética y se ha convertido en un ingrediente convencional para los cerdos.

Palatabilidad y Consumo de Alimento

El efecto de un ingrediente alimenticio en la ingesta de alimento en cerdos es difícil de evaluar objetivamente, dados los muchos factores involucrados. Las variables como la palatabilidad básica del ingrediente, el nivel de inclusión en la dieta, otros ingredientes en la mezcla del alimento, la energía del alimento, el contenido de fibra (densidad aparente) y el balance mineral del alimento influirán en el consumo de alimento.

Para la harina de canola, existen varios factores con el potencial de reducir la ingesta de alimento, como glucosinolatos, taninos, sinapina, fibra y equilibrio mineral, que se explican con más detalle en el Capítulo 2 de esta guía. Ciertamente, los glucosinolatos representan una influencia negativa importante en la ingesta de alimento en los cerdos. Los glucosinolatos tienen un sabor amargo que puede hacer que el alimento sea rechazado por muchos animales. La harina de canola producida en Canadá, con sus niveles muy bajos de glucosinolatos (3.57 µmol / g), tiene un sabor muy neutro. Como se mencionó en el Capítulo 2, la harina de colza tradicional puede tener niveles de glucosinolatos de más de 100 µmol / g. Estos niveles tan altos dan como resultado un ingrediente que solo se puede utilizar en cantidades mínimas para evitar problemas con el consumo de alimento.

Heyer et al. (2018) reemplazaron el 20% de la harina de soya en la dieta de control con harina de canola extraída con solvente, o harina de canola que había sido sometida a una intensidad de extrusión baja, media o alta. Aunque la extrusión redujo aún más el contenido de glucosinolatos de la harina, no hubo diferencias en el consumo de alimento de los cerdos destetados. La ingesta de alimento, el aumento de peso y la relación de alimentación a ganancia no fueron diferentes para ninguno de los tratamientos, incluido el control. Este estudio mostró que una mayor reducción de los glucosinolatos en la harina de canola no beneficiaría el consumo de alimento y que los cerdos destetados alimentados con harina de canola consumieron tanto como los cerdos alimentados con harina de soya.

Landero y col. (2018) realizaron pruebas de preferencia de ingredientes con cerdos destetados, ya sea con la opción de harina de soya o de canola. Se observó una fuerte preferencia por la harina de soya, que concuerda con la literatura previa; sin embargo, cuando no se dio otra opción, la harina de canola podría incluirse hasta en un 20% en la dieta sin afectar la ingesta de alimento o el crecimiento.

Las restricciones para los niveles de inclusión de la harina de canola pueden permanecer en la práctica, pero los investigadores las cuestionan y desaprueban continuamente. La información inadecuada sobre la evaluación de la calidad del alimento para los nutrientes digeribles en la harina de canola ha resultado en el pasado con algunos problemas de rendimiento deficiente en cerdos.

Los datos actuales muestran claramente que las dietas que contienen harina de canola, cuando se formulan adecuadamente, soportan altos niveles de crecimiento eficiente. El valor nutricional de la harina de canola para los cerdos se entiende cada vez mejor, y la principal limitación para el valor y la inclusión es el contenido de energía disponible, especialmente cuando se mide como energía neta. En última instancia, la relación entre el costo de los ingredientes y el contenido de nutrientes determinará el nivel apropiado de inclusión de la harina de canola en las dietas bien formuladas.

Energía para Cerdos

La harina de canola es un coproducto que contiene una cantidad relativamente alta de fibra y una matriz compleja de carbohidratos con digestibilidad limitada. La formulación de la dieta basada en EN permite la inclusión adecuada de la harina de canola en las dietas porcinas para no afectar el rendimiento. Los valores de energía publicados por el National Research Council (NRC, 2012) dados en la Tabla 1 se basan en información histórica, y han sido también incluidos valores más precisos obtenidos últimamente. Si bien parece haber un rango en valores determinados, Kim et al. (2018) revisaron recientemente los métodos disponibles para calcular el EN y descubrieron que los resultados oscilaban entre 1,960 y 2,233 kcal / kg para la harina de canola sin considerar humedad. Por lo tanto, es probable que los diversos métodos en uso se sumen a la variabilidad de los valores publicados.

Tabla 1. Valores de energía para harina de canola extraída con solvente, sin considerar humedad, Kcal / kg

REFERENCIA	ENERGÍA DIGESTIBLE	ENERGÍA METABOLIZABLE	ENERGÍA NET
Berrocoso et al., 2015	3,084	2,922	1,928[1]
Heo et al., 2014	2,901	2,692	1,850
Kim et al., 2018	3,180	2,925	2,099
Le et al., 2017	2,605	2,409	1,765
Liu et al., 2014	2,883	2,681	1,769
Liu et al., 2016	2,630	2,303	1,520[1]
Liu et al., 2014	2,972	2,724	1,798[1]
NRC, 2012	3,154	2,903	1,821

[1]Calculado como EM ∗0.66 (Kil et al., 2013)

El valor energético de la harina de expulsora y la harina de canola prensada en frío varía con la cantidad de extracto etéreo en el alimento. Woyengo y col. (2016) proporcionaron la siguiente ecuación para permitir el ajuste de los valores netos de energía:

EN, kcal / kg = 0.700 × ED + 1.61 × EE + 0.48 × almidón - 0.91 × PC - 0.87 × FDA, donde EN = energía neta, ED = energía digestible, EE = extracto etéreo, PC = proteína cruda y FDA = Fibra detergente ácida

Enzimas para Mejorar la Energía.

La adición de enzimas es una vía para aumentar la energía disponible en las dietas que incluyen harina de canola. Las enzimas multi-carbohidrasas se han desarrollado y utilizado como un medio para extraer energía de la pared celular de los polisacáridos sin almidón. Sanjayan y col. (2014) incluyeron enzimas de múltiples carbohidratos en las dietas de cerdos destetados alimentados con inclusiones crecientes de harina de canola. El rendimiento del crecimiento no mejoró, pero la adición de enzimas aumentó la digestibilidad total aparente del tracto (DTAT) de la proteína cruda con una inclusión de 20% y 25% de harina de canola en las dietas experimentales. Recientemente, Velayudhan et al. (2018) notaron aumentos numéricos en DTAT para materia seca (3.6%) y energía bruta (3.3%) cuando se incluyó una enzima multi-carbohidrasa en las dietas con harina de canola para cerdas lactantes. Las cerdas perdieron menos peso (5.3 frente a 3.3 kg) sin aumento en la ingesta con la dieta suplementada con enzima.

Las mejoras en los estudios anteriores se aplicaron a toda la dieta, y se podría esperar que varíen dependiendo de la cantidad de harina de canola incluida en la dieta. Los análisis in vitro son útiles porque permiten analizar el ingrediente sin el resto de la dieta. La digestión in vitro de la materia seca tanto de la harina de canola extraída con solvente como de la canola de expulsora se mejoró en 8.7 y 9.2% respectivamente con suplemento de enzima (Lee et al., 2018).

Aminoácidos para Cerdos

Digestibilidad de Aminoácidos

Las dietas porcinas se formulan habitualmente para niveles de aminoácidos digestibles en lugar de aminoácidos totales. Recientes ensayos de alimentación con harina de canola en alimentos de inicio, crecimiento y finalizador, en los que las dietas se equilibraron a los mismos niveles de lisina digestible, dieron como resultado una tasa de crecimiento equivalente a la que se encuentra típicamente con la harina de soya como fuente primaria de proteína, incluso a muy altos niveles de inclusión de harina de canola. Esto se revisa más adelante en la sección a continuación titulada Harina de Canola en Dietas de Inicio.

Experimentos han demostraron que los aminoácidos en las dietas porcinas deberían formularse sobre la base de aminoácidos digestibles verdaderos o estándar (Nyachoti et al., 1997). La digestibilidad ileal estándar (DIE) de los aminoácidos es ahora la unidad de medida preferida para los cerdos (Stein et al., 2007). El uso de DIE corrige de manera confiable las pérdidas endógenas basales relacionadas con el proceso digestivo del animal, así como la porción indigestible relacionada con el ingrediente. La Tabla 2a proporciona resultados de estudios recientes realizados para determinar la digestibilidad ileal estándar de aminoácidos para la harina de canola extraída con solvente y la Tabla 2b muestra los resultados para la harina de canola de expulsora.

Si bien algunas de las referencias han impuesto una variedad de tratamientos, los valores proporcionados en las Tablas 2a y 2b son para la harina de canola Brassica napus, como estaría disponible de las plantas de procesamiento Canadienses.

Tabla 2a. Digestibilidad ileal estándar (DIE) de los aminoácidos en harina de canola extraída por solvente para cerdos en crecimiento.[1]

AMINOÁCIDO	PROMEDIO, %[2]	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
ESENCIAL		
Arginina	87.19	2.92
Histidina	77.46	9.11
Isoleucina	78.55	3.83
Leucina	81.20	2.96
Lisina	77.23	3.71
Metionina	85.44	3.18
Fenilalanina	80.48	5.61
Treonina	74.59	4.52
Triptófano	82.93	4.08
Valina	76.46	3.95
NO ESENCIAL		
Alanina	78.72	3.68
Aspartato + Asparagina	74.76	4.42
Cisteína	73.16	6.67
Glutamato + Glutamina	85.23	2.32
Glicina	77.63	6.77
Prolina	82.83	8.51
Serina	77.25	4.44
Tirosina	78.47	4.75

[1]Adewole et al., 2017; Almeida et al., 2014; Berrocoso et al., 2015; Flavero et al., 2014; le et al., 2017; Maison and Stein, 2014; Mejicanos and Nyachoti, 2018; Sanjayan et al., 2014; Trindade Neto et al., 2012

[2]Media de 29 valores

Tabla 2b. Digestibilidad ileal estándar (DIE) de los aminoácidos de harina de canola de expulsora para cerdos en crecimiento[1]

AMINOÁCIDO	PROMEDIO, %[2]	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
ESENCIAL		
Arginina	85.83	4.70
Histidina	83.77	2.32
Isoleucina	78.77	2.27
Leucina	77.13	7.21
Lisina	77.63	2.40
Metionina	83.73	4.55
Fenilalanina	78.77	4.89
Treonina	71.50	3.98
Triptófano	84.30	2.40
Valina	74.07	6.53
NO ESENCIAL		
Alanina	76.63	5.89
Aspartato + Asparagina	73.50	5.82
Cisteína	72.43	5.15
Glutamato + Glutamina	81.73	5.99
Glicina	68.40	13.50
Prolina	90.80	-
Serina	74.80	4.01
Tirosina	76.33	3.72

[1]Seneviratne et al., 2011; Grageola et al., 2013; Woyengo et al., 2016

[2]Media de 3 valores

Perfil de Aminoácidos

Se ha demostrado que el perfil de aminoácidos de la harina de canola satisface las necesidades de aminoácidos de los cerdos de una manera muy eficiente, siendo la lisina el primer aminoácido limitante. Debido a que la lisina sintética está fácilmente disponible, la adición de lisina a las dietas a base de harina de canola da como resultado una proteína que satisface fácilmente las necesidades de los cerdos.

El acuerdo utilizado para evaluar los perfiles de aminoácidos de los ingredientes es determinar los porcentajes de cada aminoácido esencial en relación con la lisina. Curiosamente, ya sea utilizando el NRC (2012) o el modelo del Instituto Nacional de Investigación Agronómica Europea (INRA) (van Milgen y Dourmad, 2015) para evaluar los requisitos de aminoácidos, la harina de canola se alinea casi a la perfección (Tabla 3), particularmente si la lisina, el primer aminoácido limitante, es aumentado. Esto significa que los cerdos pueden usar los aminoácidos de canola de manera eficiente para soportar la producción de tejido muscular.

Tabla 3. Perfil ideal de aminoácidos basado en dos modelos y valores para la harina de canola (% de lisina)

	VALORES MODELO		HARINA DE CANOLA	
AMINOÁCIDO	INRA	NRC	SIN CONSIDERAR HUMEDAD	LISINA AÑADIDA[1]
Metionina	30	29	33	30
Metionina +cistina	60	56	63	58
Treonina	65	61	74	67
Valina	70	65	73	67
Isoleucina	55	52	59	54
Leucina	100	101	123	113
Fenilalanina	50	60	69	63
Fenilalanina + Tirosina	95	94	109	100
Histidina	32	34	56	51
Arginina	42	46	108	99

[1] Contenido de lisina de la harina de canola incrementada por 9% (lisina ×1.09)

Extracto Etéreo

La porción de lípidos de la harina de canola ha demostrado ser altamente digerible por los cerdos. Seneviratne y col. (2011) encontraron que el componente lípido de la harina de canola de expulsora fue un 93.6% digestible. La digestibilidad del aceite de canola es alta debido a que está compuesto principalmente de ácidos grasos monoinsaturados y bajos en ácidos grasos saturados.

Minerales y Vitaminas

El perfil mineral y vitamínico de la harina de canola se detalla en el Capítulo 2. Además, han habido algunos estudios esclarecedores realizados específicamente en cerdos con respecto al calcio y el fósforo.

La harina de canola es una rica fuente de fósforo. Al igual que muchas harinas de semillas oleaginosas, una gran parte del fósforo en la harina de canola está unida por el ácido fítico. Es una práctica común agregar la enzima fitasa para mejorar la digestibilidad del fósforo y reducir la necesidad de agregar este nutriente a la dieta. Los resultados de tres estudios (Akinmusire y Adeola, 2009; Flavelo et al., 2014; Adhekari et al., 2016) demostraron que la digestibilidad del fósforo se puede aumentar en la harina de canola con el uso de fitasa a un promedio de 34 a 61%. Recientemente, Maison et al. (2015) analizaron cinco muestras de harina de canola y determinaron un valor mayor de digestibilidad para el fósforo del 45%, un valor que es mayor que el determinado por estudios anteriores. La suplementación con fitasa aumentó la digestibilidad del fósforo al 64%, similar a los hallazgos anteriores.

Un beneficio adicional de la suplementación con fitasa es la mejora en la digestibilidad del calcio. González-Vega y col. (2013) demostraron que la adición de la enzima fitasa aumentó la disponibilidad de calcio en la harina de canola del 47 al 70%. De manera similar, Adhikari et al. (2016) vieron una mejora en la digestibilidad del calcio del 58% al 75%.

Tolerancia a los Glucosinolatos

Los glucosinolatos son los principales factores antinutricionales que se encuentra en la harina de canola para los cerdos. En los primeros años de uso de harina de canola en la alimentación, varios investigadores definieron el nivel máximo de glucosinolatos que los cerdos podían tolerar en la dieta. Bell (1993) propuso un nivel máximo en las dietas de cerdos de 2.0 a 2.5 µmol de glucosinolatos / g de dieta. Dos estudios posteriores respaldaron esta recomendación (Schöne et al., 1997a, 1997b). En el primero de estos dos estudios, los cerdos en crecimiento que pesaban aproximadamente 20–50 kg fueron alimentados con una variedad de dietas que contenían los mismos niveles de harina de canola, pero que variaban en contenido de glucosinolato total de 0–19 µmol / g (Schöne et al., 1997a). Una concentración superior a 2.4 µmol / g de glucosinolatos en la dieta tuvo efectos negativos en la ingesta de alimento, la tasa de crecimiento y la función tiroidea. En el segundo estudio, el nivel máximo seguro de glucosinolato se determinó en 2.0 µmol / g de dieta (Schöne et al., 1997b). Debido a que la harina de canola Canadiense contiene, en promedio, 3.6 µmol / g de glucosinolatos, esto correspondería a un nivel máximo de inclusión de harina de canola de 55 a 69% en dietas de cerdos en crecimiento, un valor mayor que el necesario para que la formulación comercial cumpla con los requisitos de aminoácidos para una dieta a base de cereales. Estudios recientes han demostrado que los cerdos en crecimiento-finalización tendrán un buen rendimiento en dietas que contengan hasta un 30% de harina de canola (Smit et al., 2014a), y los cerdos iniciadores rinden bien con dietas que contengan un 40% de harina de canola (Parr et al., 2015). La concentración máxima tolerable de glucosinolatos en las dietas porcinas sigue siendo de interés, pero los niveles actuales de glucosinolatos no demuestran limitaciones para la inclusión de la harina de canola en las dietas de crecimiento y finalización.

Alimentación con Canola Extraída con Solvente

Harina de Canola en Dietas de Inicio

Históricamente las guías de alimentación sugirieron que el rendimiento se vería afectado cuando los cerdos jóvenes recibían dietas en las que la harina de canola representara más del 5% del total (Bourdon y Aumaître, 1990; Lee y Hill, 1983). Sin embargo, una nueva investigación ha sacado a la luz una historia muy diferente sobre la inclusión de la harina de canola en dietas de cerdos durante el inicio. Landero et al. (2011) alimentaron con harina de canola a cerdos destetados con un peso inicial promedio de 8.1 kg a niveles de inclusión de hasta 200 g / kg sin afectar negativamente el rendimiento. Esto se demostró nuevamente en 2014 por Sanjayan et al., en un estudio donde se incluyó harina de canola al 25% de la dieta para cerdos destetados (peso corporal inicial de 7.26 kg), con resultados de rendimiento altamente aceptables después de la primera semana de la prueba. Para determinar si la fuente de grano incluida en la dieta de la harina de canola podría hacer una diferencia, Mejicanos et al. (2017) proporcionaron dietas a los lechones (peso inicial de 6.7 kg en promedio) con un 20% de harina de soya en comparación con un 20% de harina de canola y trigo o maíz como grano primario. El rendimiento de los cerdos con dietas de harina de canola fue igual al de las dietas de harina de soya. La principal diferencia en estos tres estudios, en comparación con el trabajo anterior, es que los investigadores formularon dietas basadas en energía neta (EN) y digestibilidad ileal estabilizada (DIE) de los aminoácidos.

Wang y col. (2017) alimentaron cerdos recién destetados con dietas que contenían 20% de harina de canola. Las 4 fuentes de harina de canola utilizadas se seleccionaron para mostrar diferencias en las características de calidad que podrían ocurrir con diferentes extremos en la temporada de crecimiento. Hubo diferencias en la digestibilidad total aparente del tracto digestivo entre las dietas de harina de soya y de canola, pero no hubo diferencias en la digestibilidad entre las 4 dietas de harina de canola.

En otro estudio, Parr et al. (2015) proporcionaron a los lechones dietas que contenían 10, 20, 30 o 40% de harina de canola, reemplazando la harina de soya en las dietas. Hubo un aumento lineal en la relación ganancia por unidad de alimento a medida que aumentaba la inclusión de la harina de canola. Este importante estudio muestra que, con la formulación correcta de la dieta, se puede incluir hasta un 40% de harina de canola en las dietas iniciales para lechones.

La Tabla 4 proporciona comparaciones entre la harina de canola y la harina de soya como se determinó en estudios recientes para la harina extraída con solvente. En general, hubo pocos efectos de tratamiento estadísticamente significativos en la ganancia diaria promedio (GD) y la ganancia de peso por unidad de alimento.

Harina de Canola en Dietas de Crecimiento y Finalización

La Tabla 5 muestra los resultados de tres estudios recientes de crecimiento y finalización. No hubo diferencias en el rendimiento en los dos estudios en los que se comparó la harina de canola con la harina de soya extraída con solvente. Recientemente, Smit et al. (2018) compararon la harina de canola extraída con solvente con la harina de soya de expulsora y observaron mejores tasas de ganancia y conversión alimenticia (ganancia sobre consumo de alimento) con la dieta de la harina de soya de expulsora. Los autores señalaron que la dieta de crecimiento, que contenía un 25% de harina de canola, se introdujo abruptamente en los cerdos, y sufrieron una reducción en el consumo de alimento durante un corto período de tiempo. El consumo de alimento se recuperó, sin embargo, las ganancias de peso y la conversión alimenticia se mantuvieron significativamente diferentes. Si la dieta de los cerdos va a ser modificada a niveles muy altos de harina de canola, podría ser necesario hacer los cambios por etapas.

Ensayos de Alimentación Mexicanos

Se realizaron tres ensayos de alimentación en tres estados Mexicanos: Nuevo León, Sonora y Michoacán (Hickling, 1996). El objetivo era replicar el rendimiento encontrado en los ensayos de alimentación Canadienses realizados anteriormente (Tabla 6), pero utilizando ingredientes Mexicanos (dos de los ensayos de alimentación utilizaron sorgo como base de grano en la dieta y un ensayo utilizó maíz) y las condiciones Mexicanas (ambiente, genética y manejo de cerdos).

Tabla 4. Estudios que evalúan la harina de canola extraída con solvente en las dietas iniciales en comparación con las dietas de control de harina de soya

REFERENCIA		HARINA DE CANOLA	CONTROL	VALOR P
Landero et al., 2011	Inclusión %	20	20	
	GD, g	493	488	0.592
	Ganancia/ Alimento	0.70	0.73	0.087
Mejicanos et al., 2017	Inclusión %	20	20	
	GD, g	408	408	0.459
	Ganancia/ Alimento	0.61	0.59	0.024
Parr et al., 2015	Inclusión %	40	28	0.951
	GD, kg	0.57	0.56	0.001
	Ganancia/ Alimento	0.68	0.59	
Sanjayan et al., 2015	Inclusión %	15	20	
	GD, g	453	452	0.979
	Ganancia/ Alimento	0.60	0.60	0.714
Seneviratne et al., 2011	Inclusión %	15	15	
	GD, g	445	469	0.870
	Ganancia/ Alimento	0.71	0.71	0.323
Wang et al., 2017	Inclusión %	20	20	
	GD, g	664	660	0.457
	Ganancia/ Alimento	0.66	0.65	0.047

Además, la harina de canola utilizada en los ensayos fue producida a partir de semillas de canola Canadiense por procesadores Mexicanos de semillas oleaginosas. El diseño fue muy similar a los ensayos Canadienses. Se utilizaron tres tratamientos dietéticos: un control, una dieta baja en harina de canola y una dieta alta en harina de canola. Las dietas se equilibraron para obtener aminoácidos digestibles mínimos, proteína ideal y niveles iguales de energía.

Tabla 5. Estudios que evalúan la harina de canola extraída con solvente en dietas de crecimiento-finalización en comparación con las dietas de control de harina de soya.

REFERENCIA		HARINA DE CANOLA	CONTROL	VALOR P
Kim et al., 2015	Inclusión %	11.3	27.3	
	GD, g	700	725	0.102
	Ganancia/ Alimento	0.46	0.44	0.196
Little et al., 2015	Inclusión %	27.3/23.2	21.0/18.0	
	GD, kg	0.94	0.93	0.700
	Ganancia/ Alimento	0.36	0.37	0.020
Smit et al., 2018[1]	Inclusión %	25/20	15/12.5	
	GD, g	0.988	1.025	0.001
	Ganancia/ Alimento	0.361	0.373	0.001

[1]La dieta control fue basada en harina de soya de expulsora

Las dietas y los resultados se muestran en la Tabla 7. Al igual que los resultados de clima templado, se observó un crecimiento, eficiencia alimenticia y rendimiento de la calidad de la canal equivalentes en los tres tratamientos dietéticos.

El rendimiento entre ubicaciones varió debido principalmente a la genética porcina y los efectos estacionales.

Tabla 6. Resultados originales del ensayo de alimentación Canadiense: rendimiento promedio de cerdos en crecimiento (20–60 kg) y cerdos en finalización (60–100 kg) alimentados con dietas suplementadas con harina de soya (SBM) y harina de canola (CM)[1]

	CRECIMIENTO			FINALIZACIÓN		
INGREDIENTES	HARINA DE SOYA	BAJA EN CANOLA	ALTA EN CANOLA	HARINA DE SOYA	BAJA EN CANOLA	ALTA EN CANOLA
Cebada	62	53	48	60	48	40
Trigo	13	20	24	19	29	35
Harina de soya	20	16	13	16	10	5
Harina de canola	-	6	10	-	8	15
Aceite de canola	1	1	1	1	1	1
L-Lisina	0.04	0.07	0.06	0.12	0.12	0.15
Minerales/vitaminas	4	4	4	4	4	4
RENDIMIENTO						
Consumo medio diario, kg	1.91	1.93	1.89	3.06	3.11	3.08
Ganancia media diaria, kg	0.76	0.76	0.77	0.84	0.83	0.82
Alimento/ganancia	2.52	2.52	2.46	3.64	3.75	3.75

RENDIMIENTO NETO	HARINA DE SOYA	BAJA EN CANOLA	ALTA EN CANOLA
Consumo medio diario, kg	2.46	2.50	2.47
Ganancia media diaria, kg	0.80	0.80	0.80
Alimento/ganancia	3.08	3.13	3.10
Rendimiento de canal , %	78	78	78
Índice de grasa dorsal	107	107	107

[1]Hickling, 1994

Tabla 7. Resultados de la prueba de alimentación Mexicana: rendimiento promedio de cerdos en crecimiento (20–60 kg) y cerdos en finalización (60–100 kg) alimentados con dietas suplementadas con harina de soya (SBM) y harina de canola (CM)[1]

	CRECIMIENTO			FINALIZACIÓN		
INGREDIENTES	HARINA DE SOYA	BAJA EN CANOLA	ALTA EN CANOLA	HARINA DE SOYA	BAJA EN CANOLA	ALTA EN CANOLA
Sorgo o maíz	72	68	67	76	72	70
Harina de soya	24	19	16	20	13	10
Harina de canola	-	8	12	-	10	15
Grasa	-	1	2	-	1	2
L-Lisina	-	0.33	0.47	-	0.5	0.7
Minerales/vitaminas	4	4	4	4	4	4
RENDIMIENTO						
Consumo medio diario, kg	2.17	2.23	2.18	3.22	3.21	3.12
Ganancia media diaria, kg	0.78	0.77	0.76	0.85	0.83	0.82
Alimento/ganancia	2.78	2.87	2.86	3.79	3.85	3.79

RENDIMIENTO NETO	HARINA DE SOYA	BAJA EN CANOLA	ALTA EN CANOLA
Consumo medio diario, kg	2.72	2.74	2.67
Ganancia media diaria, kg	0.82	0.81	0.80
Alimento/ganancia	3.32	3.39	3.35
Rendimiento de carne , %	48.6	48.8	49.3
Grasa dorsal en canal , cm	2.38	2.33	2.15

[1]Hickling, 1996

Harina de Canola en Dietas de Gestación y Lactación

Los primeros estudios mostraron que la harina de canola se acepta fácilmente en las dietas para cerdas adultas y primerizas. Flipot y Dufour (1977) no encontraron diferencias en el rendimiento reproductivo entre cerdas alimentadas con dietas con o sin 10% de harina de canola añadida. Lee y col. (1985) no encontraron diferencias significativas en el rendimiento reproductivo de las primerizas a través de una camada. Los estudios en la Universidad de Alberta (Lewis et al., 1978) no han mostrado diferencias en el rendimiento reproductivo de las primerizas a través de dos ciclos reproductivos cuando se alimentan con dietas que contienen hasta 12% de harina de canola. Otros estudios indicaron que los niveles de 20% de harina de canola no afectaron el rendimiento de las cerdas lactantes (King et al., 2001). Estos resultados sugieren que la harina de canola puede representar la principal fuente de proteína suplementaria en las dietas de cerdas adultas y primerizas.

Recientemente, Velayudhan y Nyachoti (2017) proporcionaron a las cerdas dietas que contenían 0, 15 o 30% de harina de canola desde el momento en que fueron trasladadas a la sala de partos hasta el destete a los 21 días de lactancia. Los investigadores determinaron que no hubo efectos del tratamiento sobre el cambio de peso corporal o el cambio en el grosor de la grasa dorsal, y que tanto el crecimiento de los lechones como la composición de la leche no fueron influenciados por las dietas. Tampoco hubo diferencias en el intervalo entre el destete y el estro. Los investigadores concluyeron que se puede incluir hasta un 30% de harina de canola en las dietas para cerdas sin pérdida de rendimiento de las cerdas o sus camadas. Un estudio de seguimiento (Velayudhan et al., 2018) confirmó que el rendimiento de la cerda era óptimo cuando se incluía hasta un 30% de harina de canola en la dieta.

En otro estudio reciente (Liu et al., 2018) a las cerdas se les asignaron dietas que reemplazaron 0, 50 o 100% de la harina de soya en la dieta desde el día 7 de gestación hasta el destete. El nivel más alto de harina de canola fue el 23.3% en la dieta de gestación y el 35.1% en la dieta de lactancia. La supervivencia de los lechones fue significativamente mayor con las dietas que contenían harina de canola, pero el intervalo entre el destete y el estro fue ligeramente mayor con la dieta de harina de canola más alta que con la dieta de control (Tabla 8).

Tabla 8. Rendimiento de la cerda y la camada[1]

PARÁMETROS	DIETA			VALOR P
	HARINA DE SOYA	HARINA SOYA/ CANOLA	HARINA DE CANOLA	
Número de cerdas	40	37	37	
Paridad media	2.33	2.32	2.33	
Pérdida de peso corporal, kg	28.2	27.2	32.8	0.22
Cerdos nacidos vivos/camada	12.5	11.9	12.2	0.76
Peso de camada al nacimiento, kg	18.7	19.1	19.2	0.65
Supervivencia, %	80.2	87.0	87.0	<0.05
Destete al estro, días	5.42	5.22	5.80	<0.05

[1]Liu et al., 2018

Alimentación de Harina Canola de Expulsora

Como se esperaría, no hay pérdida de rendimiento cuando los cerdos reciben harina de canola de expulsora. Seneviratne y col. (2011) proporcionaron a los cerdos destetados dietas enriquecidas con 15% de harina de canola de expulsora a cambio de 15% de harina de soya (Tabla 9). No hubo diferencias en GD o la relación ganancia / alimentación en ese estudio. Landero et al., 2012 utilizaron dietas que contienen 5, 10, 15 y 20% de harina de canola, sustituidas por harina de soya para cerdos, comenzando a los 26 días de edad y continuando hasta los 54 días de edad. No hubo diferencias en el rendimiento de ninguno de los tratamientos.

Las dietas se formularon a los mismos niveles de energía neta (NE) y digestibilidad ileal estándar (DIE). La digestibilidad aparente total del tracto de la proteína y la energía disminuyeron linealmente a medida que aumentó el nivel de inclusión de la harina de canola.

Tabla 9. Estudios que evalúan la harina de canola de expulsora en las dietas iniciales en comparación con las dietas de control de harina de soya

REFERENCIA		HARINA DE CANOLA	CONTROL	VALOR P
Landero et al., 2015	Inclusión %	20	20	
	GD, g	455	454	0.933
	Ganancia/ Alimento	0.71	0.72	0.757
Seneviratne et al., 2011	Inclusión %	15	15	
	GD, g	445	469	0.870
	Ganancia/ Alimento	0.72	0.71	0.323

Alimentando Semilla de Canola y Aceite

El aceite de canola se utiliza rutinariamente en la alimentación de todo tipo de cerdos. El aceite de canola crudo es a menudo una fuente de energía económica, así como un supresor de polvo en el alimento. La semilla de canola también se utiliza como una fuente de proteína y energía, aunque generalmente se limita al 10% de inclusión en la dieta, ya que niveles más altos darán como resultado una grasa más blanda en la carcasa (Kracht et al., 1996). La semilla de canola se debe moler antes de alimentar. Puede alimentarse efectivamente sin procesar, aunque el tratamiento térmico puede resultar beneficioso siempre que no se utilice calor excesivo durante el proceso, lo que reduciría la digestibilidad de los aminoácidos. También se debe realizar un análisis de los nutrientes en la semilla de canola, ya que puede ser semilla que no es adecuada para los procesadores de canola.

Montoya y Leterme (2010) estimaron un contenido de EN de las semillas de canola entera de 3.56 Mcal / kg (base de MS), pero notaron una posible subestimación debido a una reducción demostrada en el consumo de alimento y el rendimiento a niveles de inclusión en la dieta superiores al 10% para los cerdos en crecimiento.

Niveles prácticos de inclusión de harina de canola en dietas porcinas

TIPO DE DIETA	NIVEL DE INCLUSIÓN	RAZÓN
Dietas de inicio	40%	Alto rendimiento reportado hasta un 40%
Dietas de crecimiento y acabado	25%	No hay datos prácticos disponibles a más de 25%
Cerdas en gestación	25%	No hay datos prácticos disponibles a más de 25%
Cerdas en lactación	35%	Alto rendimiento reportado hasta un 35%

CAPÍTULO 5. VALOR DE LA HARINA DE CANOLA EN LAS DIETAS PARA AVES

La harina de canola se utiliza en la alimentación de todo tipo de aves en todo el mundo. La harina proporciona un excelente perfil de aminoácidos y es una alternativa o complemento de otros ingredientes proteicos como la harina de soya. La harina de canola es de un valor excelente en las dietas donde el mayor énfasis en la formulación se pone en el equilibrio de aminoácidos. La harina de canola también puede ser una alternativa rentable a otras proteínas en las dietas de engorda de alta energía. Se debe tener cuidado al formular dietas sobre una base de aminoácidos digestibles para asegurar que el rendimiento sea óptimo cuando la harina de canola se incluye en las dietas para aves.

Palatabilidad y Consumo de Alimento

En general, las aves mantendrán niveles apropiados de ingesta de alimento cuando se les dan dietas altas en harina de canola que estén formuladas para aminoácidos disponibles. Sin embargo, los estudios sobre la cría de aves sugieren que la harina de canola podría necesitar restringirse durante el período de inicio al 20% para pollos de engorda y pavos, y al 10% para aves más exóticas como patos, gansos y codornices. Las concentraciones del 30% al 40% de la dieta se toleran fácilmente en las últimas etapas de crecimiento. Oryschak y Beltranena (2013) y Rogiewicz et al. (2015) demostraron que la formulación adecuada de la dieta puede permitir que la harina de canola se incluya al 20% de la dieta sin ningún efecto sobre el consumo de alimento en la dieta de las gallinas ponedoras. El consumo de alimento se mantuvo para los pollos de engorda alimentados hasta un 20% de harina de canola desde los días 1 a 35 de vida (Naseem et al., 2006), y en dietas de crecimiento de pollos de engorda pueden recibir dietas hasta un 30% de harina de canola (Newkirk y Classen, 2002; Ramesh et al., 2006).

Energía para Aves

La harina de canola tiene un valor energético más bajo para las aves en comparación con la fuente de proteína vegetal más común, la harina de soya. En ciertas dietas, como la de los pollos de engorda, el mayor énfasis puesto en el valor de la energía puede limitar la inclusión de la harina de canola. Las dietas de ponedoras y las dietas de pavo de alto contenido proteico en fase temprana basadas en la formulación de menor costo incluyen la harina de canola en la ración inclusive a un precio más alto. Recientes investigaciones que se muestran en la Tabla 1 sugieren que el valor energético de la harina de canola para pollos de engorda en la etapa de crecimiento / finalización es 200 kcal / kg mayor que lo publicado anteriormente.

Enzimas para Aumentar la Energía.

El uso de enzimas dietéticas es común en los alimentos de aves, especialmente aquellos que contienen cebada y trigo, y se ha demostrado que estos mejoran la digestibilidad de los carbohidratos. La harina de canola contiene una porción significativa de componentes de la pared celular que no son digeridos por las aves. Varios investigadores han alimentado enzimas dietéticas en un intento por aumentar la digestibilidad de los carbohidratos de la harina 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 examinaron la inclusión de celulasa o de enzimas degradantes de polisacáridos sin almidón (PSA) para mejorar la digestibilidad de la harina de canola han demostrado beneficios limitados. Meng y Slominski (2005) examinaron los efectos de agregar un complejo multienzimático (xilanasa, glucanasa, pectinasa, celulasa, mananasa y galactonasa) en las dietas de engorda. La combinación de enzimas aumentó la digestibilidad total de los PSA de la harina de canola en el tracto digestivo, pero no se observaron mejoras en otros valores de digestibilidad de nutrientes o rendimiento animal. Jia y col. (2012) alimentaron dietas de engorda que contenían harina de canola y enzimas múltiples de carbohidrasas para determinar su efecto sobre los valores de energía metabolizable aparente (EMAn), y encontraron un aumento del 6% en la EMAn. Gallardo y col. (2017) calcularon una mejora del 8% en el valor energético de la harina de canola. Sin embargo, Rad-Spice (2017) y Jayaraman et al. (2016) observaron aumentos en la EMAn de solo 2.5% y 2.9% con el uso de enzimas múltiples de carbohidrasas. Aunque los datos no son completamente concluyentes, puede producirse una mejora moderada de la digestión de la harina de canola, y las enzimas también pueden mejorar la digestibilidad de otros ingredientes dietéticos.

Tabla 1. Valores energéticos de la harina de canola para aves (EMAn, Kcal / kg)

REFERENCIA	ESPECIES	BASADO EN 12% DE HUMEDAD	EN BASE SECA
Adewole et al., 2017	Pollos de engorda	1777	2019
Chen et al., 2015	Pollos de engorda	1983	2254
Gallardo et al., 2017	Pollos de engorda	1822	2071
Gorski et al., 2017	Pollos de engorda	1851	2217
Jayaraman et al., 2016	Pollos de engorda	2144	2437
Jia et al., 2012	Pollos de engorda	1810	2057
Rad-Spice, 2017	Pollos de engorda	1834	2084
Rahmani et al., 2017	Pollos de engorda	1789	2032
Jia et al., 2012	Gallinas ponedoras	1936	2200
Jia et al., 2012	Pavos	1766	2007
Kozlowski et al., 2018	Pavos	1886	2143
Wickramasuriya et al., 2015	Patos	1885	2142
Mandal et al., 2005	Codornices	1852	2105

Aminoácidos para Aves

La clave para la inclusión de altos niveles de harina de canola en las dietas para aves es equilibrar las dietas en función de los aminoácidos digestibles. En los últimos tiempos se ha llevado a cabo una extensa investigación para determinar la digestibilidad ileal estándar (DIE) de los aminoácidos de la harina de canola. Los resultados para pollos de engorda se proporcionan en la Tabla 2.

Tabla 2. Digestibilidad ileal estándar (DIE) de los aminoácidos en harina de canola extraída por solvente para pollos de engorda[1]

AMINOÁCIDO	PROMEDIO, %[2]	DESVIACIÓN ESTANDAR
Esencial		
Arginina	87.26	2.64
Histidina	71.21	13.86
Isoleucina	81.08	2.99
Leucina	83.96	2.32
Lisina	78.77	2.17
Metionina	88.88	2.59
Fenilalanina	84.00	2.02
Treonina	76.21	3.25
Triptófano	90.68	5.83
valina	78.60	1.93
No esencial		
Alanina	82.34	2.42
Aspartato + Asparagina	78.59	3.35
Cisteína	75.69	4.97
Glutamato + Glutamina	87.84	3.39
Glicina	79.71	3.13
Prolina	78.17	3.23
Serina	77.95	2.50
Tirosina	85.15	5.90

[1]Adewole et al., 2017, Chen et al., 2015, Gallardo et al., 2017,Kim et al., 2012, Kong and Adeola, 2013

[2]Promedio de 24 valores

Hay menos valores disponibles para otras clases de aves (Tabla 3). Es posible utilizar los valores de digestibilidad ileal estándar (DIE) de los pollos de engorda para especies en las que los datos no se han determinado. Huang y col. (2006) encontraron que no había diferencias en la digestibilidad ileal aparente (DIA) de los aminoácidos entre los pollos de engorda, las gallinas ponedoras y los gallos adultos, lo cual no es el caso para todos los ingredientes en los alimentos (Adedokun et al., 2009; Huang et al., 2006).

Tabla 3. Digestibilidad ileal estándar (DIE) de los aminoácidos en harina de canola extraída con solvente para aves

AMINOÁCIDO	PONEDORAS[1]	PAVOS[2]	PATOS[3]
Esencial			
Arginina	88.0	88.0	86.1
Histidina	83.0	73.5	81.0
Isoleucina	77.5	71.5	81.0
Leucina	80.5	75.0	86.5
Lisina	81.0	77.5	75.8
Metionina	88.5	79.0	86.5
Fenilalanina	81.0	85.0	85.6
Treonina	71.5	74.5	75.9
Triptófano	77.5	-	87.4
Valina	78.0	70.5	79.0
No esencial			
Alanina	79.0	78.0	81.3
Aspartato + Asparagina	76.0	80.0	75.8
Cisteína	79.0	69.5	-
Glutamato + Glutamina	87.0	84.0	87.4
Glicina	76.0	84.0	76.1
Prolina	-	72.0	85.5
Serina	72.0	81.5	86.6
Tirosina	78.0	73.0	81.3

[1]Saki et al., 2017b; Huang et al., 2006
[2]Koslowski et al., 2011; Koslowski et al., 2018; Huang et al., 2006
[3]Kong y Adeola, 2013

Minerales y Vitaminas

El perfil completo de minerales y vitaminas de la harina de canola se proporciona en el Capítulo 2. Estos valores se pueden usar como pautas en las formulaciones.

Fósforo

La harina de canola es una fuente notablemente rica en fósforo, que es un nutriente crítico para todas las clases de aves. En el pasado, se suponía que solo estaba disponible la porción sin fitato del fósforo en la harina de canola, que es aproximadamente el 35% del fósforo total de la harina. Sin embargo, utilizando la técnica de digestibilidad ileal, Mutucumarana et al. (2014) calcularon que el 47% del fósforo en la harina de canola era digestible, y que una porción del fósforo fitato era digerida por las aves. Las enzimas fitasas pueden ser agregadas al alimento, pero los resultados con fitasa en aves han sido en gran medida decepcionantes (Slominski, 2011; Kong y Adeola, 2011). Por el contrario, se ha demostrado que la fitasa es efectiva para mejorar la biodisponibilidad de fósforo en variedades de harina de colza (Czerwiński et al., 2012).

Balance de Cationes-aniones

Formular dietas basadas en un balance catiónico-aniónico es una práctica común. La harina de canola es alta en azufre, lo que puede interferir con la absorción de calcio. Complementar la dieta con calcio adicional ayuda en cierta medida, pero se recomienda tener cuidado, ya que demasiado calcio en la dieta puede reducir la ingesta de alimento. Agregar bicarbonato de potasio a las dietas es una mejor alternativa, ya que esto corrige el problema en su origen. La harina de canola contiene menos potasio (1.2%) que la harina de soya (1.9%), por lo que el balance de electrolitos es más bajo en una dieta basada en harina de canola que en una dieta basada en harina de soya.

Pollos de Engorda

A diferencia de la harina de colza, no es necesario restringir la harina de canola en función de la contribución de glucosinolatos a la dieta. Los niveles muy bajos de glucosinolatos que están presentes en la harina de canola Canadiense han eliminado la preocupación por estos antinutrientes en situaciones prácticas de alimentación.

Recientes mejoras en el conocimiento de los requerimientos de los pollos de engorda han dirigido el desarrollo de procedimientos de formulación de rutina que han permitido que se incluyan mayores cantidades de harina de canola en las dietas actuales para pollos de engorda. Como se señaló, ahora es una práctica común formular dietas basadas en el equilibrio catiónico-aniónico. La ingesta de alimento en los pollos de engorda se ha correlacionado con el equilibrio catiónico-aniónico de la dieta basado en algunas investigaciones pioneras sobre la alimentación de harina de canola en aves (Summers y Bedford, 1994).

Además, la formulación de dietas sobre la base de digestibilidad ileal estándar (DIE) han resultado en un aumento de peso que es casi idéntico a los encontrados con otros ingredientes proteicos, particularmente durante el período de crecimiento. Recientes investigaciones sugieren que se puede utilizar hasta un 30% de harina de canola en las dietas de engorda. Gorski et al. (2017) proporcionaron dietas de inicio (1-21 días de edad) a pollos de engorda que contenían 0, 10, 20, 30 y 40% de harina de canola. Las ganancias de peso se redujeron con las tasas de inclusión de 30 y 40%, debido a la menor ingesta de alimento para estas dietas. Las dietas de crecimiento suministradas de 21 a 37 días de edad, contenían 0, 10, 20 o 30% de harina de canola. No se encontró diferencia en el promedio de ganancia diaria o el consumo de alimento entre las dietas durante el período de crecimiento.

Gopinger y col. (2014) formularon dietas con 0, 10, 20, 30 y 40% de harina de canola, que se proporcionó a las aves de 7 a 35 días de edad. Las tasas de crecimiento fueron mayores con las dietas de 10, 20 y 30% de harina de canola que con el control de harina de soya, pero disminuyeron con la dieta de 40% de harina de canola. No se encontró reducción en las tasas de crecimiento de 15 a 35 días de edad con el nivel más alto de harina de canola en la dieta. Al observar estos dos estudios, parece que es posible niveles de inclusión de harina de canola de 20% durante 0-7 días, 30% de 7-14 días y 40% a partir de esa edad.

De manera similar, Ariyibi (2019) alimentó dietas a los pollos de engorda que contenían 6 niveles de incremento de harina de canola con rangos de 0 al 15% de 1 a 7 días de edad, del 0 al 18% de 7 a 14 días, del 0 al 25% de 14 hasta los 21 días de edad, y del 0 al 35% desde los 21 hasta los 28 días de edad. El aumento de los niveles de harina de canola no tuvo efecto en el crecimiento. Estos resultados están de acuerdo con estudios anteriores (Newkirk y Classen, 2002; Naseem et al., 2006) y demuestran la versatilidad de la harina de canola para los pollos de engorda.

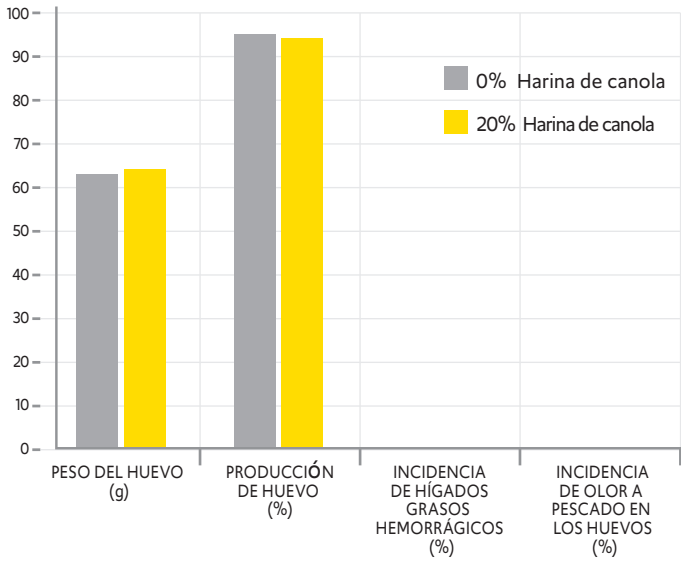
Gallinas Ponedoras

La harina de canola es un ingrediente comúnmente utilizado y económicamente efectivo en las dietas de gallinas ponedoras. Al igual que con la formulación de la dieta de pollos de engorda, se deben considerar los aminoácidos digestibles ileales estándar (DIE). La investigación inicial, donde las dietas se formularon sobre una base de proteína cruda, mostró una reducción en el peso del huevo cuando la harina de canola fue sustituida por la harina de soya. La formulación de dietas sobre una base de proteína cruda resultó en un contenido insuficiente de lisina en la dieta de la harina de canola (Kaminska, 2003). Investigaciones previamente publicadas por Novak et al. (2004) apoyaron la hipótesis de que insuficiente lisina puede afectar el peso del huevo. Estos investigadores aumentaron la ingesta de lisina de 860 mg / día a 959 mg / día y observaron un aumento en el peso del huevo de 59.0 a 60.2 gramos.

Tradicionalmente, la utilización de la harina de canola en las dietas de gallinas ponedoras se limitaba a un máximo del 10%, debido a una posible asociación entre la mortalidad por hemorragia hepática y el uso de variedades más antiguas de harina de canola (Butler et al., 1982; Campbell y Slominski, 1991). Los autores sugirieron que esto podría haber sido el resultado del contenido residual de glucosinolatos encontrados en estas variedades más antiguas de canola (Campbell y Slominski, 1991). El fitomejoramiento ha reducido de manera constante el nivel de glucosinolatos hasta el punto de que actualmente son menos de un tercio de los que se encontraron en las primeras variedades de canola que se utilizaron en esos estudios. Recientes estudios en gallinas ponedoras han demostrado un excelente rendimiento con altos niveles de inclusión de harina de canola en la dieta.

Oryschak y Beltranena (2013) demostraron que la formulación adecuada de la dieta puede permitir que la harina de canola se incluya en el 20% de la dieta sin efectos negativos en la producción, la calidad o el contenido de ácidos grasos del huevo. Como muestra la Figura 1, el peso del huevo y el porcentaje de puesta se mantuvieron durante el estudio de 36 semanas. Tampoco se encontraron diferencias en la hemorragia hepática en las gallinas, y no se detectó olor a pescado en los huevos. Rogiewicz y col. (2015) demostraron un rendimiento excelente en las gallinas alimentadas con 15–20% de harina de canola. Gorski (2015) alimentó gallinas de 33 a 49 semanas de edad con dietas que contenían 0 (control de harina de soya) 8, 16 o 24% de harina de canola. No encontraron diferencias entre los tratamientos en el consumo de alimento, la producción de huevo, el peso del huevo o el cambio en el peso de las gallinas en el transcurso del estudio de 16 semanas.

Figura 1. Efecto sobre producción de huevo, peso de huevo, incidencia de síntoma de hígado graso hemorrágico y presencia de olor a pescado en los huevos. (Promedio sobre 36 semanas de producción)[1]



[1]Oryschak y Beltranena, 2013

En otro estudio (Savary et al., 2017), alimentaron gallinas con dietas en las cuales harina de soya era la principal fuente de proteína, o 10 o 20% de harina de canola. El experimento se analizó durante 4 períodos de alimentación: 30 a 41, 42 a 49, 50 a 61 y 62 a 78 semanas de edad. No se encontraron diferencias en la producción de huevo, la eficiencia alimenticia o la mortalidad en ninguna de las fases de alimentación. Además, los investigadores notaron que no había diferencias en la calidad del huevo o el peso de las gallinas.

En base a estos recientes hallazgos, la harina de canola se puede utilizar de manera efectiva a niveles elevados en las dietas de gallinas ponedoras sin afectar negativamente la producción, el peso del huevo, la calidad o el contenido de ácidos grasos del huevo, siempre que las dietas se formulen con un contenido de aminoácidos digestibles. Las gallinas ponedoras han demostrado repetidamente la capacidad de utilizar altos niveles de harina de canola.

Reproductores de Pollos de Engorda

Hay nuevas y limitadas investigaciones sobre el uso de la harina de canola en las reproductoras de engorda, probablemente porque gran parte de los resultados de las gallinas ponedoras son aplicables a estas aves. El alto contenido de proteína y fibra de la harina de canola la convierte en un ingrediente ideal para controlar el aumento de peso en aves reproductoras de pollos de engorda. Previas investigaciones mostraron que la harina de canola no tiene efectos negativos sobre la fertilidad o la incubabilidad de los huevos de gallinas Leghorn (Kiiskinen, 1989; Nasser et al., 1985). Un estudio más reciente de Ahmadi et al. (2007) evaluaron los efectos de agregar 0%, 10%, 20% o 30% de harina de colza a la dieta de las reproductoras de pollos de engorda, no está claro cuál era el contenido de glucosinolatos de las dietas. Sin embargo, concluyeron que la harina de colza se puede usar de manera efectiva en las dietas de reproductores de pollos de engorda sin afectar la producción, el peso del huevo o la calidad del pollito BB. El uso de harina de canola para las reproductoras de pollos de engorda puede justificarse debido a la amplia información disponible para gallinas ponedoras y otras aves.

Pavos

La harina de canola es una excelente fuente de proteína para el crecimiento de pavos. Comercialmente es común el uso de altas concentraciones de harina de canola en la alimentación de pavos en crecimiento y finalización.

Desde hace tiempo se conoce que la clave para usar la harina de canola para pavos con éxito es asegurarse de que las dietas estén equilibradas para los aminoácidos. Al principio, Waibel (1992) demostró que cuando se agregaba harina de canola al 20% en la dieta sin mantener niveles iguales de energía y aminoácidos esenciales, la eficiencia del crecimiento y la conversión alimenticia disminuían. Sin embargo, cuando se agregó grasa adicional 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 se formulen sobre una base de aminoácidos digestibles.

Recientemente, Kozlowski et al. (2018) verificaron que las dietas de inicio y crecimiento con 20% de harina de canola dieron como resultado tasas de crecimiento similares a las obtenidas con la harina de soya. Se encontró que la conversión alimenticia era ligeramente más alta en la fase inicial para la dieta de la harina de canola (1.43 para la harina de canola en comparación con 1.36 para la harina de soya), pero esto podría reducirse a 1.37 con la inclusión de enzimas de carbohidrasas múltiples. No hubo diferencias en el promedio de la ganancia diaria, el consumo de alimento o la eficiencia alimenticia debido al tratamiento durante el estudio de 8 semanas de duración. Del mismo modo, Noll et al. (2017) proporcionaron dietas iniciadoras a pavos que contenían 0 (control de harina de soya), 8, 16 o 24% de harina de canola. Los investigadores no encontraron diferencias en los parámetros de los rendimientos medidos. Un estudio de seguimiento más corto, realizado durante las primeras 3 semanas de vida, señaló que se podía proporcionar hasta un 24% de harina de canola en raciones de inicio para pavos (Noll et al., 2017).

Comercialmente, la harina de canola se incluye frecuentemente en la dieta de pavos en niveles superiores al 20%.

En este caso, es importante asegurarse de que el equilibrio de electrolitos en la dieta final esté en el rango apropiado. El balance de electrolitos en la dieta de la harina de canola (Na + K – Cl) es de aproximadamente 307 mEq / kg. Sin embargo, la harina de canola contiene una cantidad significativa de azufre, y esto también debe considerarse: (Na + K) - (Cl + S) = 103 mEq / kg) (Khajali y Slominski, 2012).

Patos y Gansos

Los patos y gansos representan la tercera fuente más grande de carne de aves, y estas aves también son apreciadas por sus huevos y plumas. La harina de canola se utiliza comúnmente en patos y gansos sin haberse reportado problemas por dicho uso.

Wickramasuriya y col. (2015) determinaron que el primer aminoácido limitante para los patos es la metionina, y descubrieron que la harina de canola representaba un perfil de aminoácidos bien equilibrado para estas aves. Además, el fósforo disponible más alto en comparación con la harina de soya es un atributo deseable. Bernadet y col. (2009) estudiaron los efectos de la harina de colza en el crecimiento de los patos mulard y señalaron que el nivel de inclusión sería limitado debido a los glucosinolatos, que no se midieron en su estudio. Sin embargo, sí determinaron que las concentraciones de 7% de harina de colza en el período inicial y 21% en el período de crecimiento y finalización permitieron un excelente desarrollo. Esto sugiere que al menos estas cantidades de harina de canola se pueden incluir en las dietas para patos.

Los gansos tienen una mayor capacidad digestiva que otros tipos de aves y parecen digerir la harina de canola de manera eficiente (Jamroz et al., 1992). La digestibilidad de los aminoácidos de la harina de canola en los patos se muestra en la Tabla 3. La harina de canola y la harina de soya tienen una digestibilidad de aminoácidos similar en los patos (Kluth y Rodehutscord, 2006).

Codornices

Las codornices se crían para huevos y carne. Saki y col. (2017b) evaluaron la harina de canola para las codornices ponedoras al 10, 20 o 30% de la dieta desde 46 a 56 semanas de edad. La producción disminuyó en el nivel de inclusión del 20 y 30%, pero no se encontraron diferencias en el rendimiento con la utilización del 10%. Los autores señalaron que esto permitiría reemplazar 1/3 de la harina de soya por harina de canola. En un estudio anterior (Sarıçiçek et al., 2005), los investigadores reemplazaron 0, 25 o 50% de la harina de soya en la dieta de codornices ponedoras (0, 9.25 o 18.5% de la dieta total como harina de canola). En este estudio de 126 días de duración, no hubo diferencias en el cambio de peso corporal de las ponedoras, la eficiencia de la alimentación, el porcentaje de puesta o la masa del huevo.

Sarıçiçek y col. (2005) también compararon la harina de canola con la harina de soya en un estudio de crecimiento de codornices (Tabla 4). Nuevamente, 0, 25 o 50% de la proteína de harina de soya fue reemplazada por proteína de harina de canola, resultando dietas con 0, 12.15 y 24.3% de harina de canola. Además, se evaluaron las enzimas de múltiples carbohidrasas y fitasas por su capacidad para mejorar la digestibilidad. Las tasas de crecimiento con la harina de canola al 50% fueron más bajas que el control cuando no se agregaron enzimas a la dieta. Cuando se suministraron los tratamientos con enzimas, no se encontraron diferencias en el crecimiento, la ingesta de alimento o conversión alimenticia de los tres tratamientos.

Tabla 4. Crecimiento de codorniz en un estudio que involucra harina de canola en comparación con harina de soya[1]

	DIETA		
	CONTROL	BAJA EN HARINA DE CANOLA	ALTA EN HARINA DE CANOLA
Porcentaje de la proteína	0	25	50
Porcentaje de la dieta	0	12.15	24.3
	Sin enzimas		
Ganancia de peso, g	150	144	132
Consumo de alimento, g	761	751	740
Conversión Alimento/ ganancia	5.06	5.22	5.59
	Con enzimas		
Ganancia de peso, g	143	142	147
Consumo de alimento, g	738	753	755
Conversión Alimento/ ganancia	5.16	5.13	5.16

[1]Sarıçiçek et al., 2005

Harina de Canola de Expulsora para Aves

La harina de canola es una excelente fuente de proteína para las aves, pero el contenido energético de la harina de canola extraída con solvente puede limitar su uso en las dietas de aves de rápido crecimiento. Debido al contenido de aceite restante, la harina de canola de expulsora contiene más energía que la harina extraída con solvente, y puede incluirse como la única fuente de proteína en la dieta sin grasa adicional. Se han realizado una serie de estudios recientes para determinar el valor de energía metabolizable aparente (EMAn) de la harina de canola de expulsora para pollos de engorda en crecimiento (Tabla 5). Como se puede ver en la tabla, el contenido de aceite de la harina de expulsora puede variar según la fuente, y el valor de la energía aumenta con el contenido de aceite. La harina de expulsora proporciona un alto nivel de ácido graso esencial, ácido linoleico, superando así los requisitos de las aves sin la necesidad de grasas suplementarias de otras fuentes.

Oryschak y Beltranena (2013) alimentaron con un 20% de harina de canola prensada con expulsora a las gallinas Brown Nick, y demostraron una excelente producción de huevo, calidad del huevo y contenido de ácidos grasos del huevo.

La harina de canola de expulsora también se puede utilizar como una fuente de proteína efectiva para los pavos. Palander y col. (2004) estudiaron los efectos de alimentar con harina de canola de expulsora en pavos en crecimiento sobre la digestibilidad de la proteína, y encontraron coeficientes de digestibilidad similares a la harina extraída con solvente.

Tabla 5. Energía metabólica aparente (EMAn) determinada para la harina de canola de expulsora para pollos de engorda (Kcal / kg)

REFERENCIA	ACEITE, % DE MS	EMAn, EN BASE A 12% DE HUMEDAD	EMAn EN BASE A MS
Bryan et al., 2017	10.1	2,053	2,333
Bryan et al., 2017	14.2	2,294	2,607
Kong y Adeola, 2016	13.9	2,376	2,697
Toghyani et al., 2014	8.3	1,987	2,258
Woyengo et al., 2010	12.0	2,370	2,694
Alimento/ Ganancia	5.16	5.13	5.16

Debe tenerse en cuenta que el contenido de aceite de la harina de expulsora se debe a la eficiencia del tipo de prensa utilizada, por lo que el producto debe ser analizado y el valor de la energía adecuadamente equilibrada. Cada porcentaje de grasa proporciona aproximadamente 80 kcal de energía adicional.

Como ilustra la tabla 6, la digestibilidad de los aminoácidos en la harina de canola de expulsora es similar a los valores obtenidos con la harina extraída con solvente, siempre que no se aplique un calentamiento excesivo. Bryan et al. (2017) demostraron que sometiendo la harina a altas temperaturas puede disminuir la digestibilidad de los aminoácidos.

Semilla de Canola y Aceite

La semilla de canola es rica en aceite y puede utilizarse como fuente de energía. Toghyani et al. (2017) analizaron seis muestras de semillas, representando el rango en la composición. La EMAn para pollos de engorda en crecimiento varió de 4,501 a 4,791 y dio un promedio de 4,554 kcal / kg (base de materia seca). La variación podría explicarse en gran medida por la variabilidad en el contenido de aceite, que varió de 40.8 a 47.9% de la semilla. Este valor energético recientemente determinado para la semilla fue similar al valor previamente determinado (Barekatain et al., 2015) de 4,691 kcal / kg de materia seca.

El aceite de canola es utilizado de forma rutinaria como una fuente de energía para pollos de engorda. Además de su valor energético, es una excelente fuente de ácidos grasos insaturados. Kanakri et al. (2018) alimentaron pollos de engorda con dietas que contenían aproximadamente un 3% de grasa añadida de sebo de res, aceite de linaza, aceite de maíz, aceite de canola, aceite de macadamia o aceite de coco. Si bien no hubo diferencia en el crecimiento entre los diferentes tipos de grasa proporcionados, las composiciones de ácidos grasos en los tejidos de las aves reflejaron las diversas fuentes de grasa utilizadas. Los tejidos musculares de las aves que recibieron aceite de canola tuvieron las concentraciones más bajas de ácidos grasos saturados, y solo fueron superados por las aves alimentadas con aceite de linaza en el contenido de ácido graso omega 3 del músculo.

La proporción de ácido linoleico (omega 6) a ácido linolénico (omega 3) es aproximadamente 2: 1, en comparación con 7: 1 para el aceite de soja y 50: 1 para el aceite de maíz. Esto es de importancia, ya que una enzima común desaturasa se utiliza para alargar ambos ácidos grasos. Las aves tienen la capacidad de alargar el ácido linolénico al ácido docosahexaenoico (DHA). Exceso de ácido linoleico limita la conversión (Cachaldora et al., 2008).

Con la capacidad de las gallinas para sintetizar DHA a partir del ácido linolénico, los huevos comúnmente proporcionan un suministro dietético importante y económico de ácidos grasos omega 3 de cadena larga. El perfil de ácidos grasos de la dieta base es la clave del éxito de la producción de huevos enriquecidos con DHA cuando las dietas se complementan con ácido linolénico de fuentes como el aceite de lino o aceite de chía, y las dietas a base de canola han demostrado ser superiores a las dietas donde los ingredientes principales contribuyen al ácido linoleico competidor (Gonzalez-Esquerra y Leeson, 2001; Goldberg et al., 2016). Además,

Rowghani et al. (2007) mostraron que agregar entre 3 y 5% de aceite de canola a las dietas de harina de maíz y soya resultó en concentraciones de DHA más de 8 veces mayores que las dietas sin adición de aceite.

Tabla 6. Digestibilidad ileal estándar (DIE) de los aminoácidos en la harina de expulsora para pollos de engorda[1]

AMINOÁCIDO	PROMEDIO[2]	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Esencial		
Arginina	83.60	3.65
Histidina	71.01	12.15
Isoleucina	76.23	6.77
Leucina	78.93	2.67
Lisina	79.55	1.00
Metionina	85.18	2.91
Fenilalanina	80.38	2.03
Treonina	76.68	4.20
Triptófano	80.00	5.77
valina	77.33	4.43
No esencial		
Alanina	80.40	1.76
Aspartato + Asparagina	77.80	2.91
Cisteína	75.80	2.17
Glutamato + Glutamina	84.13	6.66
Glicina	81.78	5.41
Prolina	74.98	1.74
Serina	77.95	3.26
Tirosina	74.50	6.14

[1]Woyengo et al., 2010; Toghyani et al., 2014; Toghyani et al., 2015; Bryan et al., 2017

[2]N = 16

Niveles de uso práctico de harina de canola en dietas para aves

TIPO DE DIETA	NIVEL DE INCLUSIÓN	RAZÓN
Iniciador de engorda	20%	La ingesta puede reducirse con una inclusión más alta
Crecimiento de engorda	30%	Resultados de alto rendimientos reportados a 30% de inclusión
Finalizador de engorada	40%	Resultados de alto rendimientos reportados a 40% de inclusión
Ponedoras	24%	No hay datos disponibles a más de 24%
Reproductoras de engorda	30%	Datos disponibles limitados
Iniciador de pavos	24%	No hay datos disponibles con más de 24%
Crecimiento de pavos	24%	No hay datos disponibles con más de 24%
Iniciador de patos y gansos	7%	Datos disponibles limitados
Crecimiento de patos y gansos	21%	No hay datos disponibles con más de 21%
Codornices	18.5%	Datos disponibles limitados

CAPÍTULO 6. VALOR DE LA HARINA DE CANOLA EN DIETAS PARA ACUACULTURA

La harina de canola se ha convertido en un ingrediente importante en las dietas de peces en todo el mundo. Debido a que muchas especies de peces de cultivo son carnívoras, las existencias mundiales de harina de pescado están disminuyendo, presionando así a la industria a encontrar proteínas alternativas a base de vegetales que puedan proporcionar aminoácidos para sus altos requerimientos de proteína. Si bien quedan algunos desafíos, se ha demostrado que la harina de canola se adapta bien en muchas dietas de peces.

Palatabilidad y Consumo de Alimento

La harina de canola es una fuente apetecible de proteína para las dietas de peces. En algunos estudios anteriores, así como en experimentos de alimentación con harina de colza, la palatabilidad a veces se redujo debido al amargor que transmiten los glucosinolatos. Como muestra el Capítulo 2, los niveles de glucosinolatos en la harina de canola ahora son bastante bajos. En claro contraste con estudios anteriores, el concentrado soluble de proteína de canola se ha utilizado con éxito como un atrayente para las dietas en las que las concentraciones de harina de pescado se han reducido (Hill et al., 2013). Hill y col. (2013) informaron que la inclusión de concentrado soluble de proteína de canola al 1% en las dietas de lubina blanca aumenta significativamente la ingesta de alimento y el aumento de peso.

Tabla 1. Niveles promedio de inclusión de harina de canola en dietas de peces carnívoros sin comprometer el rendimiento sobre la dieta estándar.

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	PROMEDIO DE INCLUSIÓN
Carnívoros de mar		
Rainbow trout[1]	Oncorhynchus mykiss	20
Atlantic Salmon[2]	Salmo salar	10
Barramundi[3]	Lates calcarifer	30
European Sea bass[4]	Dicentrarchus labrax	25
Japanese seabass[5]	Lateolabrax japonicus	15
Carnívoros de agua dulce		
Angelfish de agua dulce[6]	Pterophyllum scalare	8
Piavucu [7]	Leporinus macrocephalus	38
Sunshine bass[8]	Morone chrysops	20

[1]Thiessen et al., 2003; Thiessen et al., 2004; Yigit et al., 2012; Collins et al., 2012; Collins et al., 2013. [2]Burr et al., 2013; Collins et al., 2013. [3]Ngo et al., 2016. [4]Lanari and D'Agaro, 2005. [5]Cheng et al., 2010 [6]Erdogan and Olmez, 2009. [7]Galdioli et al., 2001; Soares et al., 2000. [8]Webster et al., 2000

En lugar de que el factor limitante de consumo de la harina de canola sea la palatabilidad, la ingesta de harina de canola a menudo está limitada por los requerimientos de nutrientes de las especies para las cuales se están formulando los alimentos. Por ejemplo, los peces carnívoros tienen requerimientos muy altos de proteína y una baja tolerancia a los carbohidratos. Las especies omnívoras, por otro lado, tienen una mayor tolerancia a los carbohidratos. Como muestra la Tabla 1, los niveles de inclusión pueden estar limitados al 30% o menos para especies carnívoras, pero se ha demostrado que las inclusiones son considerablemente mayores para varias especies omnívoras comercialmente importantes (Tabla 2).

Tabla 2. Niveles promedio de inclusión de harina de canola en dietas de peces omnívoros sin comprometer el rendimiento sobre la dieta estándar.

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	PROMEDIO DE INCLUSIÓN
Omnívoros de mar		
Australasian snapper[1]	Pagrus auratus	60
Omnívoros de agua dulce		
Silver perch[2]	Bidyanus bidyanus	60
Streaked prochilod[3]	Prochilodus lineatus	8
Rohu (carp)[4]	Labeo rohita	20
Wuchang bream[5]	Megalobrama amblycephala	35
Nile tilapia[6]	Oreochromis niloticus	33
Black carp[7]	Mylopharvngodon piceus	11
Grass carp[8]	Ctenopharyngodon idella	37
Pacu[9]	Piaractus mesopotamicus	19
Mori[10]	Cirrhinus mrigala	24
Pangasius catfish[11]	Pangasius sutchi	30

[1]Glencross et al., 2004. [2]Booth and Allan, 2003.: [3]Galdioli et al., 2002; [4]Iqbal et al., 2015; Umer and Ali, 2009; Parveen et al., 2012; Umer et al., 2011. [5]Zhou et al., 2018. [6]Yigit and Olmez, 2009; Zhou and Yue, 2010; Luo et al., 2012; Mohammadi et al., 2016; Fangfang et al., 2014; Soares et al., 2001. [7]Huang et al., 2012.

Energía y Fibra

Las proporciones de proteína a energía en las dietas de peces son altas en comparación con las de aves y mamíferos, y por lo tanto, estas dietas son típicamente más altas en proteína cruda que las dietas para cerdos o aves. Por ejemplo, las dietas de salmónidos típicamente contienen más del 40% de proteína cruda. Debido a que la harina de canola contiene menos del 40% de proteína cruda sin considerar humedad, esto limita el porcentaje de inclusión factible de la harina de canola a menos del 20% al formular dietas prácticas para especies carnívoras como los salmónidos. Sin embargo, en peces omnívoros o herbívoros, como la carpa y la tilapia, los requerimientos de proteína cruda en la dieta son considerablemente menores, y esta limitación no se aplica.

La digestibilidad de la materia seca (tablas 3 y 4) y la energía (tablas 5 y 6) en la harina de canola es muy variable, debido a los variados sistemas digestivos de las especies de peces cultivadas en todo el mundo. Además, los sistemas de procesamiento utilizados en la fabricación de fuentes de proteína vegetal influyen en el grado de digestibilidad, y estos han variado ampliamente de un estudio a otro.

Al igual que con los cerdos y las aves, el método de formulación afecta el valor nutritivo y alimenticio de la harina de canola. El valor energético también variará un poco debido a la cantidad de lípidos que están presente en la harina. NRC (2011) enumera la digestibilidad aparente de la energía en la harina de colza al 76% para la trucha arcoíris, el 57% para la tilapia del Nilo y el 83% para la cobia. Burel y col. (2000) determinaron que la digestibilidad de la harina de colza para la trucha arcoíris era del 69% para la harina extraída con solvente y del 89% para la harina tratada con calor después de la extracción.

Allan y col. (2000) encontraron que la digestibilidad de la energía en la harina de canola extraída con solvente y de expulsora fue de 58.1% y 58.6%, respectivamente, para la perca plateada. En animales monogástricos la fibra no se digiere en ningún grado apreciable, y esto también se aplica a las especies acuícolas.

La fibra vegetal se puede dividir en dos categorías: fibra soluble (oligosacáridos) que aumenta la viscosidad intestinal y fibra insoluble que aumenta el volumen. La harina de canola contiene aproximadamente la mitad de fibra soluble que la harina de soya (Mejicanos et al., 2016). Cantidades modestas de fibra insoluble pueden mejorar el tiempo de tránsito y la ingesta de alimento, pero grandes cantidades resultan en demasiado volumen, dependiendo de las especies de peces disponibles. La eliminación de la fracción de fibra de la harina de canola podría mejorar su valor en los alimentos acuícolas densos en nutrientes, aumentando así la densidad de nutrientes de la harina.

Tabla 3. Digestibilidad aparente promedio de la materia seca (%) de harina de canola para peces carnívoros y omnívoros de mar según lo determinado en estudios publicados desde 2000

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	DIGESTIBILIDAD
Carnívoros de mar		
Rainbow trout[1]	Oncorhynchus mykiss	73.4
Atlantic Salmon[2]	Salmo salar L	76.2
Arctic Char[3]	Salvelinus alpinus	46.8
Turbot[4]	Scophthalmus maximus	57.1
Barramundi[5]	Lates calcarifer	41.2
European sea bass[6]	Dicentrarchus labrax	71.2
Yellowfin sea bream[7]	Acanthopagrus (Sparus) latus	33.5
Cobia[8]	Rachycentron canadum	58.5
Atlantic cod[9]	Gadus morhua	49.6
Meagre[10]	Argyrosomus regius	44.1
Omnívoros de mar		
Haddock[11]	Melanogrammus aeglefinus	58.9
Australasian snapper[12]	Pagrus auratus	19.6⋆

[1]Mwachireya et al., 2000; Burel et al., 2000; Dalsgaard et al., 2012. [2]Burel et al., 2000; Dalsgaard et al., 2012. [3]Burr et al., 2011. [4]Burel et al., 2000. [5]Ngo et al., 2015. [6]Igbal et al., 2015. [7]Wu et al., 2006. [8]Zhou et al., 2004. [9]Tibbets et al., 2006. [10]Rodrigues Olim, 2012. [11]Tibbetts et al., 2004. [12]Glencross et al., 2004a.
⋆ Value may be in error, as digestibility of protein alone would exceed 30% of the dry matter

Tabla 4. Digestibilidad aparente media de la materia seca (%) de harina de canola para peces omnívoros de agua dulce según lo determinado en estudios publicados desde 2000

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	DIGESTIBILIDAD
Omnívoros-de agua dulce		
Silver perch[1]	Bidyanus bidyanus	51.9
Rohu (carp)[2]	Labeo rohita	51.3
Nile Tilapia[3]	Oreochromis niloticus	54.0

[1]Allan et al., 2000.
[2]Hussain et al., 2015.
[3]Borgeson et al., 2006

Tabla 5. Digestibilidad de la energía aparente promedio (%) de harina de canola para peces carnívoros y omnívoros de mar según lo determinado en estudios publicados desde 2000.

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	DIGESTIBILIDAD
Carnivoros		
Rainbow trout[1]	Oncorhynchus mykiss	78.9
Atlantic Salmon[2]	Salmo salar L	49.0
Arctic Char[3]	Salvelinus alpinus	46.8
Turbot[4]	Scophthalmus maximus	69.3
Barrimundi[5]	Lates calcarifer	47.6
Australasian snapper[6]	Pagrus auratus	19.6
European Sea bass[7]	Dicentrarchus labrax	91.7
Yellowfin seabream[8]	Acanthopagrus (Sparus) latus	56.3
Cobia[9]	Rachycentron canadum	83.1
Atlantic cod[10]	Gadus morhua	60.6
Meagre[11]	Argyrosomus regius	73.6
Omnívoros		
Haddock[12]	Melanogrammus aeglefinus	60.1

[1]Mwachireya et al., 2000; Burel et al., 2000; Thiessen et al., 2004; Cheng and Hardy, 2002. [2]Burr et al., 2011. [3]Burr et al., 2011. [4]Burel et al., 2000. [5]Ngo et al., 2015. [6]Glencross et al., 2004a. [7]Lanari and D'Agaro, 2005. [8]Wu et al., 2006. [9]Zhou et al., 2004. [10]Tibbets et al., 2006. [11]Rodrigues Olim, 2012. [12]Tibbetts et al., 2004. [13]Glencross et al., 2004a.

Tabla 6. Digestibilidad de la energía aparente promedio (%) de harina de canola para peces omnívoros de agua dulce según lo determinado en estudios publicados desde 2000.

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	DIGESTIBILIDAD
Omnívoros de agua dulce		
Silver perch[1]	Bidyanus bidyanus	58.1
Rohu (carp)[2]	Labeo rohita	51.3
Nile Tilapia[3]	Oreochromis niloticus	68.0

[1]Allan et al., 2000.
[2]Hussain et al., 2015.
[3]Borgeson et al., 2006

Disponibilidad de Proteína y Aminoácidos

La digestibilidad de la proteína de la harina de canola es alta para la mayoría de las especies de peces. NRC (2011) enumera la digestibilidad aparente de la proteína en la harina de colza para las siguientes especies: 91% para la trucha arcoíris, 85% para la tilapia azul del Nilo y 89% para la cobia. Hajen y col. (1993) determinaron que la digestibilidad de la proteína de la harina de canola por el salmón chinook era del 85%, que era más alta que la digestibilidad de la harina 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 harina de canola es beneficiosa, pero la presencia de fibra limita la cantidad que se puede incluir en las formulaciones. Los resultados de los estudios publicados desde el 2000 se proporcionan en las Tablas 7 y 8 para especies carnívoras y omnívoras.

El equilibrio de aminoácidos de la proteína de canola es la mejor de las fuentes comerciales de proteínas vegetales disponibles actualmente. Como muestra la Tabla 9, el valor del índice de aminoácidos esenciales para la harina de canola es superior al de la harina de soya, y está a la par con la harina de pescado (Burel y Kaushik, 2008). Drew (2004) señaló que el perfil de aminoácidos de la proteína de canola podría compararse con la carne picada de res.

Con el uso de la relación de eficiencia de proteína (REP; o aumento de peso por gramo de proteína alimentada) como medida, la proteína de canola tiene un REP de 3.29 en comparación con 1.60 para la harina de soya y 3.13 para la caseína (Drew, 2009).

Tabla 7. Digestibilidad de la proteína (%) de harina de canola para peces carnívoros según lo determinado en estudios publicados desde 2000.

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	DIGESTIBILIDAD
Carnívoros de mar		
Rainbow trout[1]	Oncorhynchus mykiss	96.5
Atlantic Salmon[2]	Salmo salar L	86.2
Arctic Char[3]	Salvelinus alpinus	72.8
Turbot[4]	Scophthalmus maximus	82.9
European Sea bass[5]	Dicentrarchus labrax	89.8
Barramundi[6]	Lates calcarifer	85.4
Yellowfin seabream[7]	Acanthopagrus (Sparus) latus	84.7
Cobia[8]	Rachycentron canadum	89.0
Atlantic cod[11]	Gadus morhua	76.0
Meagre[11]	Argyrosomus regius	93.9
Carnívoros de agua dulce		
Angelfish de agua dulce[10]	Pterophyllum scalare	86.5

[1]Mwachireya et al., 2000; Burel et al., 2000; Dalsgaard et al., 2012; Gaylord et al., 2008; Gaylord et al., 2010; Thiessen et al., 2004; Cheng and Hardy, 2002. [2]Burr et al., 2011. [3]Burr et al., 2011. [4]Burel et al., 2000. [5]Lanari and D'Agaro, 2005. [6]Ngo et al., 2015. [7]Wu et al., 2006. [8]Zhou et al., 2004. [9]Rodrigues Olim, 2012. [10]Erdogan and Olmez, 2010. [11]Tibbets et al, 2006.

Minerales y Vitaminas

La harina de canola proporciona una fuente rica de fósforo, aunque gran parte del fósforo está en forma de ácido fítico, que no está disponible para la mayoría de los peces criados en granjas. Debido a esto, muchas dietas para peces están formuladas para contener fitasa (NRC, 2011), la enzima necesaria para separar el fósforo del ácido fítico y mejorar la disponibilidad de fósforo.

Tabla 8. Digestibilidad de la proteína (%) de harina de canola para peces omnívoros como se determina en estudios publicados desde 2000.

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	DIGESTIBILIDAD
Omnívoros de mar		
Haddock[1]	Melanogrammus aeglefinus	83.0
Australasian snapper[2]	Pagrus auratus	82.3
Omnívoros de agua dulce		
Silver perch[3]	Bidyanus bidyanus	83.0
Rohu (carp)[4]	Labeo rohita	49.9
Nile Tilapia[5]	Oreochromis niloticus	82.0

[1]Tibbetts et al., 2004. [2]Glencross et al., 2004a. [3]Allan et al., 2000.[4]Hussain et al., 2015. [5]Borgeson et al., 2006

La investigación también mostró que la fitasa aumenta la disponibilidad de otros minerales, incluidos calcio, magnesio y manganeso (Cheng y Hardy, 2002; Vandenberg et al., 2011; Hussain et al., 2015), reduciendo la necesidad de suplementar estos minerales. Recientes investigaciones de Habib et al. (2018) mostraron que el ácido cítrico, como la fitasa, es beneficioso para liberar minerales del ácido fítico.

Propiedades Antinutricionales de la Harina de Canola

La harina de canola contiene pequeñas cantidades de factores antinutricionales termolábiles (glucosinolatos) y termoestables (ácido fítico, compuestos fenólicos, taninos, saponinas y fibra) (Capítulo 2). Los glucosinolatos parecen ser mejor tolerados por muchas especies de peces, por ejemplo la carpa, que los cerdos y las aves. La harina de canola Canadiense actualmente contiene cantidades muy limitadas de glucosinolatos restantes (3.2 µmol / g). Varias publicaciones han identificado límites superiores de inclusión de glucosinolatos en la dieta para peces. El límite más conservador, establecido en 1.4 µmol / g de dieta para trucha, aún permitiría una inclusión relativamente alta de harina de canola (40%).

Tabla 9. Índice de aminoácidos esenciales (IAAE) para varias fuentes de proteínas utilizadas en peces[1]

FUENTE DE PROTEÍNA	IAAE	PRINCIPALES AMINOÁCIDOS LIMITANTES PARA LA CARPA Y TRUCHA ARCOIRIS
Proteína de cuerpo entero de pescado	97	Treonina
Músculo de pescado	97	Treonina
Harina de arenque entero	94	Treonina
Harina de soya	91	Metionina, cisteína, treonina lisina
Harina de canola	95	Lisina
Proteína concentrada de canola	94	Lisina

[1]Burel y Kaushik, 2008

Los carbohidratos pueden considerarse antinutricionales para algunas especies y abre la posibilidad de incluir carbohidrasas en las formulaciones de alimentos. La adición de enzimas carbohidrasas en las dietas acuíferas se han estudiado brevemente. En 1997, Buchanan, et al. demostraron que la adición de una enzima carbohidrasa en una dieta que contenía harina de canola y alimentada a langostinos tigre negro aumentó la digestibilidad y el crecimiento.

Si bien la presencia de factores antinutricionales en la canola requiere consideración para su uso en algunas dietas de acuicultura, la proteína y el aceite de canola también tienen ventajas significativas sobre el uso de harina y aceite de pescado, ya que la harina de canola es más baja en dibenzodioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados. (PCDD / F), así como bifenilos policlorados tipo dioxina (DL-PCB). Cuando la harina de pescado y el aceite de pescado se reemplazaron por completo con concentrado de proteína de canola y aceite de canola, los niveles de PCDD / F y PCB se redujeron significativamente en las dietas (4.06 vs. 0.73 pg / g, como tal) y en los filetes (1.10 vs. 0.12 pg / g, como tal) de peces alimentados con estas dietas durante un ensayo de crecimiento de seis meses (Drew, et al., 2007).

Según el Comité Científico de Alimentos de la Comisión Europea, el consumo máximo recomendado para humanos de contaminantes organoclorados es de 14 pg / kg de peso corporal / semana. En base a estos niveles, una persona de 50 kg podría consumir de manera segura 640 g por semana de trucha alimentada con la dieta de harina y aceite de pescado, en comparación con 5,880 g por semana de la trucha alimentada con la dieta de proteína y aceite de canola. Esto sugiere que la disminución del nivel de harina y aceite de pescado presente en los alimentos para peces mediante el uso de aceite y harina de canola podría afectar significativamente la seguridad de los peces de granja y aumentar la aceptación del consumidor de estos productos.

Procesamiento de Valor Agregado

Se han realizado varios experimentos para evaluar el concentrado de proteína de canola. La harina de canola se puede convertir en concentrado de proteína de canola (CPC) mediante extracción acuosa de la proteína (Burr et al., 2013; Thiessen et al., 2004). El CPC contiene aproximadamente la misma concentración de proteína cruda que la harina de pescado, con un mejor perfil de aminoácidos que la harina de gluten de maíz y la harina de soya. Collins et al. (2012) determinaron que el CPC no tuvo efectos negativos en el crecimiento de la trucha arcoíris en comparación con la harina de pescado.

La extrusión de dietas para peces es común. Los resultados son inconsistentes para los efectos de la extrusión en la digestibilidad de la harina de canola. Burel y col. (2000) determinaron que la harina de colza extruida no tenía ningún efecto sobre la digestibilidad de la materia seca o la proteína para la trucha arcoíris, pero si mejoraba la digestibilidad de la materia seca y la proteína para el turbot, en relación con la harina extraída con solvente. La digestibilidad de la materia seca se redujo con la extrusión cuando se alimentó con perca plateada. Satoh y col. (1998) determinaron que la extrusión aumentaba la digestibilidad para el salmón chinook. Las condiciones de extrusión pueden necesitar ser determinadas por especies.

Harina de Canola para Peces Omnívoros

La harina de canola se usa cada vez más en las dietas de peces para especies como pez gato, carpa, tilapia, lubina, perca, dorada y turbot. Lim y col. (1997) encontraron que la harina de canola se puede incluir en las dietas de pez gato de canal hasta en un 31% sin efectos negativos en el rendimiento. Van Minh y col. (2013) alimentaron panga pez gato con 30% de harina de canola con excelentes resultados de rendimiento. La harina de canola y la harina de colza también se incluyen comúnmente en las dietas de carpa, que a menudo se basan en proteína vegetal (Cai et al., 2013). Veiverberg y col. (2010) reemplazaron la harina de carne y hueso con harina de canola en las dietas para la carpa-herbivora juvenil, y no encontraron diferencias en la tasa de crecimiento o la conversión alimenticia. El rendimiento del filete fue mayor con la dieta de harina de canola que con la de control.

A la tilapia se le suele dar dietas que contienen harina de canola. Abdul-Aziz, y col. (1999) alimentaron hasta un 25% de harina de canola en dietas de tilapia sin ningún efecto sobre el rendimiento. Fangfang y col. (2014) demostraron una inclusión del 30% en dietas de tilapia sin cambio en la tasa de 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) con harina de canola, y no observaron efectos adversos en la tasa de crecimiento. Si bien algunos cambios en los niveles de enzimas hepáticas fueron evidentes, los autores concluyeron que hasta el 75% de la harina de pescado se puede reemplazar con harina de canola, sin efectos nocivos.

Puede ser necesario tener en cuenta la palatabilidad al usar harina de canola en las dietas para la tilapia. Yigit y Olmez (2012) encontraron que las ingestas y las tasas de crecimiento se redujeron cuando la harina de canola sustituyó más del 10% de la harina de pescado de la dieta. Mohammadi et al. (2016) también encontraron que no hubo diferencias en la proporción de eficiencia de proteína (PEP) y la eficiencia alimenticia para las dietas que contenían hasta 40% de harina de canola, pero las ingestas y las ganancias de peso se redujeron en los niveles de inclusión de 20 y 40%. Esto sugiere que las dietas eran nutricionalmente adecuadas, pero no lograron atraer a los peces para que las consumieran. En estas situaciones, los productos atrayentes alimenticios pueden ser beneficiosos.

Varias especies de carpa se crían para el consumo en todo el mundo, y se está investigando más sobre los requisitos alimenticios de estas especies. Jiang y col. (2015) determinaron que la carpa (rohu) crecía bien con dietas que contenían 30% de harina de canola, 20% de harina de soya y 10% de harina de semilla de algodón, siempre que las dietas se complementaran con lisina y metionina. La harina de pescado podría reemplazarse totalmente con una combinación de harina de colza y algas Chlorella (Shi et al., 2017), lo que sugiere que se pueden esperar resultados similares con la harina de canola. Habib et al (2018) incluyeron fitasa o citrato en las dietas de harina de canola para carpa rohu, y determinaron que ambas opciones mejoraron la digestibilidad del calcio, fósforo, sodio, potasio y magnesio, permitiendo una menor suplementación de estos minerales. Carpa (rohu) recibiendo harina de canola como fuente de proteína tuvo tasas de crecimiento más altas que las que recibieron harina de semilla de algodón, harina de colza, harina de soya o harina de pescado (Iqbal et al., 2015).

Hubo similares hallazgos con otras especies de peces. Glencross (2003) descubrió que la harina de canola podría constituir hasta el 60% de la dieta para la dorada sin efectos perjudiciales sobre el rendimiento. Las tasas de crecimiento no fueron diferentes del control de la harina de pescado cuando se administraron dietas a la lubina con 20% de harina de canola, aunque la proporción de conversión de alimento fue elevada (Webster et al., 2000), Hung y Van Minh (2013) demostraron que la harina de canola podría reemplazar la harina de soya a un nivel de inclusión del 20% en las dietas de peces cabeza de serpiente sin ningún impacto negativo en el rendimiento.

Harina de Canola para Camarones y Langostinos

La harina de canola se ha utilizado con éxito en las dietas para camarones y langostinos en muchas partes del mundo.

En un estudio más antiguo realizado en China, Lim, et al. (1998) encontraron que el 15% de la harina de canola en las dietas de

camarones no produjo diferencias significativas de rendimiento, pero que los niveles de inclusión de 30% y 45% dieron como resultado una depresión en la tasa de crecimiento y en el consumo de alimento. Desde entonces, se ha adquirido nuevos conocimientos relacionado con los requerimientos de nutrientes de estas especies.

La investigación realizada en México (Cruz-Suárez et al., 2001) reveló que la harina de canola se puede incorporar a la dieta al 30%, reemplazando la harina de pescado, la harina de soya y el trigo, sin alterar el rendimiento del camarón azul juvenil. En Malasia, los investigadores encontraron que la harina de canola sola podría usarse para reemplazar el 20% de la harina de pescado sin alterar el rendimiento. Los mismos investigadores (Bulbul et al., 2016) determinaron que una mezcla de harina de canola y harina de soya (40:60) podría usarse para reemplazar completamente la harina de pescado en las dietas para camarones kumura, siempre que se incluyera un atrayente en el alimento. Investigadores en Australia (Buchanan et al., 1997) alimentaron dietas a langostinos con 0, 20 o 64% de harina de canola. Los resultados indicaron que se requería un cóctel de enzimas para el nivel más alto de harina de canola para producir tasas de crecimiento equivalentes a la dieta de control sin harina de canola. Safari y col. (2014) encontraron que la semilla de canola molida era un ingrediente prometedor para el cangrejo de río.

Una preocupación no nutricional sobre el uso de la harina de canola en los alimentos para camarones es el efecto negativo que tiene la fibra sobre la estabilidad del gránulo en el agua. Puede ser necesario un aglutinante de gránulos para compensar este efecto.

Aceite de Canola

Con la gran demanda de peces criados comercialmente, hay una escasez de aceite de pescado, y se espera que aumente en el futuro. El reemplazo del aceite de pescado con aceites vegetales ha sido ampliamente documentado, generalmente con muy poco efecto en el rendimiento del crecimiento de los peces (Glencross y Turchini, 2011). De acuerdo con Turchini et al. (2013), el aceite de canola y el aceite de colza son los aceites vegetales más utilizados en las dietas para el salmón y la trucha. El aceite de canola es muy deseado debido a sus bajos niveles de ácido graso linoleico (omega 6), lo que ayuda a mantener una proporción de omega 3: omega 6 que se encuentra naturalmente en el pescado. Turchini y col. (2013) reemplazaron hasta el 90% del aceite de pescado con aceite de canola en las dietas para la trucha arcoíris, sin pérdida de rendimiento y solo un cambio mínimo en la proporción total de omega 3: omega 6 en los filetes. De manera similar, Karayücel y Dernekbaşi (2010) no encontraron diferencias en el rendimiento cuando el 100% del lípido suplementario fue proporcionado por el aceite de canola en la trucha arcoíris.

Otro enfoque para usar aceite vegetal es proporcionarlo en dietas durante la fase de crecimiento, y luego proporcionar dietas altas en aceite de pescado durante la etapa final de crecimiento. Esto permite que los peces crezcan con aceites menos costosos y que depositen lípidos en los tejidos que más se asemejan al tejido de los peces en las etapas finales de crecimiento. Izquierdo, et al. (2005) proporcionaron a la dorada dietas ricas en aceite vegetal, luego cambiaron a aceite de pescado durante el período final. El aceite de canola utilizado durante la fase de crecimiento, seguido del aceite de pescado en la fase de finalización, permitió a la dorada desarrollar un perfil ideal de ácidos grasos en los tejidos, mientras que el pescado alimentado con harina de soya en la fase de crecimiento depositó cantidades significativas de ácido linoleico que no pudieron ser reducidas con la utilización de aceite de pescado en la fase final.

Referencias

PROCESAMIENTO

COPA, 2019. Canadian Oilseed Processors Association. Trading rules. https://copacanada.com/trading-rules/, Winnipeg, Manitoba

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

COMPOSICIÓN

Adewole, D.I., Rogiewicz, A., Dyck, B. and Slominski, B.A., 2016. Chemical and nutritive characteristics of canola meal from Canadian processing facilities. *Animal feed science and technology*, 222, pp.17-30.

Animal feed science and technology, 225, pp.97-108. Sauvant, D., Perez, J.M. and Tran, G, 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials. Wageningen Academic Publishers, INRA Editions.

Assadi, E., Janmohammadi, H., Taghizadeh, A. and Alijani, S., 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. *Journal of applied poultry research*, 20(1), pp.95-101.

Bell, J.M. and Keith, M.O., 1991. A survey of variation in the chemical composition of commercial canola meal produced in Western Canadian crushing plants. *Canadian journal of animal science*, 71(2), pp.469-480.

Bell, J.M., Rakow, G. and Downey, R.K., 1999. Mineral composition of oil-free seeds of Brassica napus, B. rapa and B. juncea as affected by location and year. *Canadian journal of animal science*, 79(3), pp.405-408.

Broderick, G.A., Colombini, S., Costa, S., Karsli, M.A. and Faciola, A.P., 2016. Chemical and ruminal in vitro evaluation of Canadian canola meals produced over 4 years. *Journal of dairy science*, 99(10), pp.7956-7970.

Chelikani, P.K., Bell, J.A. and Kennelly, J.J., 2004. Effects of feeding or abomasal infusion of canola oil in Holstein cows 1. Nutrient digestion and milk composition. *Journal of dairy research*, 71(3), pp.279-287.

Evonik, AminoDat Platinum. 2018. https://animal-nutrition.evonik.com/product/feed-additives/en/services/animal-nutrition/aminodat/

Gallardo, M.A., Pérez, D.D. and Leighton, F.M., 2012. Modification of fatty acid composition in broiler chickens fed canola oil. *Biological research*, 45(2), pp.149-161.

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

Gül, M., Yörük, M.A., Aksu, T., Kaya, A. and Kaynar, Ö., 2012. The effect of different levels of canola oil on performance, egg shell quality and fatty acid composition of laying hens. *International journal of poultry science*, 11(12), p.769.

Khajali, F. and Slominski, B.A., 2012. Factors that affect the nutritive value of canola meal for poultry. *Poultry science*, 91(10), pp.2564-2575.

Leterme, P., Kish, P. and Beaulieu, A.D., 2008. Digestibility energy determination of canola meal and full-fat canola seeds in pigs: limitations of the substitution method. *Journal of animal science*, 86 (Suppl. 2) pp. 186.

Mathison, G.W., 1978. Rapeseed gum in finishing diets for steers. *Canadian Journal of Animal Science*, 58(2), pp.139-142.

McCuaig, L.W. and Bell, J.M., 1981. Effects of rapeseed gums on the feeding value of diets for growing-finishing pigs. *Canadian journal of animal science*, 61(2), pp.463-467.

Montoya, C.A. and Leterme, P., 2010. Validation of the net energy content of canola meal and full-fat canola seeds in growing pigs. *Canadian journal of animal science*, 90(2), pp.213-219.

NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

NRC. 2012. Nutrient Requirements of Swine. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

Qiao, H. and Classen, H.L., 2003. Nutritional and physiological effects of rapeseed meal sinapine in broiler chickens and its metabolism in the digestive tract. *Journal of the science of food and agriculture*, 83(14), pp.1430-1438.

Radfar, M., Rogiewicz, A. and Slominski, B.A., 2017. Chemical composition and nutritive value of canola-quality Brassica juncea meal for poultry and the effect of enzyme supplementation.

Summers, J.D., Leeson, S. and Slinger, S.J., 1978. Performance of egg-strain birds during their commercial life cycle when continuously fed diets containing Tower rapeseed gums. *Canadian journal of animal science*, 58(2), pp.183-189.

Zambiazi, R. C., Przybylski, R., Zambiazi, M. W., & Mendonça, C. B. (2007). Fatty acid composition of vegetable oils and fats. *Boletim do centro de pesquisa de processamento de alimentos*, 25(1).

RUMIANTES

Abeysekara, S. and Mutsvangwa, T., 2016. Effects of feeding canola meal or wheat dried distillers' grains with solubles alone or in combination as the major protein sources on ruminal function and production in dairy cows.

major protein sources on ruminal function and production in dairy cows. Journal of animal science, 94, pp.755-756

Acharya, I.P., Schingoethe, D.J., Kalscheur, K.F. and Casper, D.P., 2015. Response of lactating dairy cows to dietary protein from canola meal or distillers' grains on dry matter intake, milk production, milk composition, and amino acid status. *Canadian journal of animal science*, 95(2), pp.267-279.

Agbossamey, Y.R., Petit, H.V., Seoane, J.R. and St-Laurent, G.J., 1998. Performance of lambs fed either hay or silage supplemented with canola or fish meals. *Canadian journal of animal science*, 78(1), pp.135-141.

Andrade, P.V.D. and Schmidely, P., 2006. Influence of percentage of concentrate in combination with rolled canola seeds on performance, rumen fermentation and milk fatty acid composition in dairy goats. *Livestock science*, 104(1-2), pp.77-90.

Asadollahi, S., Sari, M., Erafanimajd, N., Kiani, A. and Ponnampalam, E.N., 2017. Supplementation of sugar beet pulp and roasted canola seed in a concentrate diet altered carcass traits, muscle (longissimus dorsi) composition and meat sensory properties of Arabian fattening lambs. *Small ruminant research*, 153, pp.95-102.

Auldist, M.J., Marett, L.C., Greenwood, J.S., Wright, M.M., Hannah, M., Jacobs, J.L. and Wales, W.J., 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. *Animal production science*, 54(7), pp.869-878.

Bach, A., Ruiz Moreno, M., Thrune, M. and Stern, M.D., 2008. Evaluation of the fermentation dynamics of soluble crude protein from three protein sources in continuous culture fermenters. *Journal of animal science*, 86(6), pp.1364-1371.

Bayourthe, C., Enjalbert, F. and Moncoulon, R., 2000. Effects of different forms of canola oil fatty acids plus canola meal on milk composition and physical properties of butter. *Journal of dairy science*, 83(4), pp.690-696.

Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Benchaar, C. and Holtshausen, L., 2009. Crushed sunflower, flax, or canola seeds in lactating dairy cow diets: Effects on methane production, rumen fermentation, and milk production. *Journal of dairy science*, 92(5), pp.2118-2127.

Beaulieu, A.D., Olubobokun, J.A. and Christensen, D.A., 1990. The utilization of canola and its constituents by lactating dairy cows. *Animal feed science and technology*, 30(3-4), pp.289-300.

Brito, A.F., Broderick, G.A. and Reynal, S.M., 2007. Effects of Different Protein Supplements on Omasal Nutrient Flow and Microbial Protein Synthesis in Lactating Dairy Cows1. *Journal of dairy science*, 90(4), pp.1828-1841.

Broderick, G.A., Colombini, S., Costa, S., Karsli, M.A. and Faciola, A.P., 2016. Chemical and ruminal in vitro evaluation of Canadian canola meals produced over 4 years. *Journal of dairy science*, 99(10), pp.7956-7970.

Broderick, G.A. and Faciola, A.P., 2014. Effects of supplementing rumen-protected met and lys on diets containing soybean meal or canola meal in lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 97, (Suppl 1), pp.750-751.

Broderick, G.A., Faciola, A.P. and Armentano, L.E., 2015. Replacing dietary soybean meal with canola meal improves production and efficiency of lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 98(8), pp.5672-5687

Broderick. G.A, Faciola, A.P,. Nernberg, L., and Hickling D., 2012. Effect of replacing dietary soybean meal with canola meal on production of lactating dairy cows . Journal of dairy science. 95(Suppl 2): 249

Chibisa, G.E., Christensen, D.A. and Mutsvangwa, T., 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. *Journal of dairy science*, 95(2), pp.824-841.

Chichlowski, M.W., Schroeder, J.W., Park, C.S., Keller, W.L. and Schimek, D.E., 2005. Altering the fatty acids in milk fat by including canola seed in dairy cattle diets. *Journal of dairy science*, 88(9), pp.3084-3094.

Christen, K.A., Schingoethe, D.J., Kalscheur, K.F., Hippen, A.R., Karges, K.K. and Gibson, M.L., 2010. Response of lactating dairy cows to high protein distillers grains or 3 other protein supplements. *Journal of Dairy Science*, 93(5), pp.2095-2104.

Classen, R.M., Christensen, D.A. and Mutsvangwa, T., 2016. Effects of extruding wheat dried distillers grains with solubles with peas or canola meal on ruminal fermentation, microbial protein synthesis, nutrient digestion, and milk production in dairy cows. *Journal of dairy science*, 99(9), pp.7143-7158.

Cools, S., Van Den Broeck, W., Vanhaecke, L., Heyerick, A., Bossaert, P., Hostens, M. and Opsomer, G., 2014. Feeding soybean meal increases the blood level of isoflavones and reduces the steroidogenic capacity in bovine corpora lutea, without affecting peripheral progesterone concentrations. *Animal reproduction science*, 144(3-4), pp.79-89.

Cotanch, K.W., Grant, R.J., Van Amburgh, M.E., Zontini, A., Fustini, M., Palmonari, A. and Formigoni, A., 2014. Applications of uNDF in ration modeling and formulation. Proceedings Cornell Nutrition Conference pp.114-131.

Damiran, D., Lardner, H.A., Jefferson, P.G., Larson, K. and McKinnon, J.J., 2016. Effects of supplementing spring-calving beef cows grazing barley crop

residue with canola meal and wheat-based dry distillers grains with solubles on performance, reproductive efficiency, and system cost. *The professional animal scientist*, 32(4), pp.400-410.

Damiran, D. and McKinnon, J.J., 2018. Evaluation of wheat-based dried distillers grains with solubles or canola meal derived from Brassica napus seed as an energy source for feedlot steers. *Translational animal science*, 2(suppl_1), pp.S139-S144.

Erdman, R. and M. Iwaniuk. 2017. DCAD: It's not just for dry cows. Proc. Florida Nutrition Conf.

Faciola, A.P. and Broderick, G., 2013. Effects of replacing soybean meal with canola meal for lactating dairy cows fed three different ratios of alfalfa to corn silage. *Journal of dairy science*, 96,(E-Suppl 1) p.452.

Flachowsky, G., Franke, K., Meyer, U., Leiterer, M. and Schöne, F., 2014. Influencing factors on iodine content of cow milk. *European journal of nutrition*, 53(2), pp.351-365.

Galindo, C.E. , D.R. Ouellet, G. Maxin, R. Martneau, D.Pellerin and H.Lapierre. 2017. Effects of protein and forage sources on milk production, rumen parameters and intestinal digestibility in lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 100 (Suppl 1) p. 111.

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

Gidlund, H., Hetta, M. and Huhtanen, P., 2017. Milk production and methane emissions from dairy cows fed a low or high proportion of red clover silage and an incremental level of rapeseed expeller. *Livestock science*, 197, pp.73-81.

Gidlund, H., Hetta, M., Krizsan, S.J., Lemosquet, S. and Huhtanen, P., 2015. Effects of soybean meal or canola meal on milk production and methane emissions in lactating dairy cows fed grass silage-based diets. *Journal of dairy science*, 98(11), pp.8093-8106.

Good, A.C., McKinnon, J.J., Penner, G.B., McAllister, T.A. and Mutsvangwa, T., 2017. Evaluation of canola meal versus soybean meal as a protein supplement on performance and carcass characteristics of growing and finishing beef cattle. *Journal of animal science*, 95(Suppl 4), pp.125-126.

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

Hadam, D., Kański, J., Burakowska, K., Penner, G.B., Kowalski, Z.M. and Górka, P., 2016. Effect of canola meal use as a protein source in a starter mixture on feeding behavior and performance of calves during the weaning transition. *Journal of dairy science*, 99(2), pp.1247-1252.

He, M. and Armentano, L.E., 2011. Effect of fatty acid profile in vegetable oils and antioxidant supplementation on dairy cattle performance and milk fat depression. *Journal of dairy science*, 94(5), pp.2481-2491.

He, M.L., Gibb, D., McKinnon, J.J. and McAllister, T.A., 2013. Effect of high dietary levels of canola meal on growth performance, carcass quality and meat fatty acid profiles of feedlot cattle. *Canadian journal of animal science*, 93(2), pp.269-280.

He, M., Perfield, K.L., Green, H.B. and Armentano, L.E., 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. *Journal of dairy science*, 95(3), p.1447.

Hedqvist, H. and Udén, P., 2006. Measurement of soluble protein degradation in the rumen. *Animal feed science and technology*, 126(1-2), pp.1-21.

Heim, R. and Krebs, G., 2018. Expeller barrel dry heat and moist heat pressure duration induce changes in canola meal protein for ruminant utilisation. *Animals*, 8(9), p.147.

Hentz, F., Kozloski, G.V., Orlandi, T., Avila, S.C., Castagnino, P.S., Stefanello, C.M. and Pacheco, G.F.E., 2012. Intake and digestion by wethers fed a tropical grass-based diet supplemented with increasing levels of canola meal. *Livestock science*, 147(1-3), pp.89-95.

Hristov, A.N., Domitrovich, C., Wachter, A., Cassidy, T., Lee, C., Shingfield, K.J., Kairenius, P., Davis, J. and Brown, J., 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. *Journal of dairy science*, 94(8), pp.4057-4074.

Huang, X., Khan, N.A., Zhang, X. and Yu, P., 2015. Effects of canola meal pellet conditioning temperature and time on ruminal and intestinal digestion, hourly effective degradation ratio, and potential nitrogen to energy synchronization in dairy cows. *Journal of dairy science*, 98(12), pp.8836-8845.

Huhtanen, P., Hetta, M. and Swensson, C., 2011. Evaluation of canola meal as a protein supplement for dairy cows: a review and a meta-analysis. *Canadian journal of animal science*, 91(4), pp.529-543.

Jayasinghe, N., K. F. Kalscheur, J. L. Anderson, and D. P. Casper. 2014. Ruminal degradability and intestinal digestibility of protein and amino acids in canola meal. *Journal of dairy science* (E-Suppl.1), pp.566-577.

Johansson, B. and Nadeau, E., 2006. Performance of dairy cows fed an entirely organic diet containing cold-pressed rapeseed cake. *Acta agriculturae scand Section A*, 56(3-4), pp.128-136.

Johnson, K.A., Kincaid, R.L., Westberg, H.H., Gaskins, C.T., Lamb, B.K. and Cronrath, J.D., 2002. The effect of oilseeds in diets of lactating cows on milk production and methane emissions. *Journal of dairy science*, 85(6), pp.1509-1515.

Jones, R.A., Mustafa, A.F., Christensen, D.A. and McKinnon, J.J., 2001. Effects of untreated and heat-treated canola presscake on milk yield and composition of dairy cows. *Animal feed science and technology*, 89(1-2), pp.97-111.

Karami, M., Ponnampalam, E.N. and Hopkins, D.L., 2013. The effect of palm oil or canola oil on feedlot performance, plasma and tissue fatty acid profile and meat quality in goats. *Meat science*, 94(2), pp.165-169.

Krizsan, S.J., Gidlund, H., Fatehi, F. and Huhtanen, P., 2017. Effect of dietary supplementation with heat-treated canola meal on ruminal nutrient metabolism in lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 100(10), pp.8004-8017.

Li, C., Beauchemin, K.A. and Yang, W.Z., 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. *Journal of animal science*, 91(11), pp.5399-5409.

Liu, G., Ma, Z., Shan, A., Wang, L. and Bi, Z., 2016. Effects of dietary rumen-protected lysine on milk yield and composition in lactating cows fed diets containing double-low rapeseed meal. *International journal of dairy technology*, 69(3), pp.380-385.

Llewellyn, D.A., Rohwer, G., Norberg, O.S., Kimura, E., Neibergs, J.S. and Fransen, S.C., 2015. Case study: evaluating farm processed canola and camelina meals as protein supplements for beef cattle. *Journal of the national association of country agricultural agents*, 8(2).

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

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

Maesoomi, S.M., Ghorbani, G.R., Alikhani, M. and Nikkhah, A., 2006. Canola meal as a substitute for cottonseed meal in diet of midlactation Holsteins. *Journal of dairy science*, 89(5), pp.1673-1677.

Martineau, R., Ouellet, D.R. and Lapierre, H., 2013. Feeding canola meal to dairy cows: A meta-analysis on lactational responses. *Journal of dairy science*, 96(3), pp.1701-1714.

Martineau, R., Ouellet, D.R. and Lapierre, H., 2014. The effect of feeding canola meal on concentrations of plasma amino acids. *Journal of dairy science*, 97(3), pp.1603-1610.

Martineau, R., Ouellet, D.R. and Lapierre, K. 2019. Does blending canola meal with other protein sources improve production responses in lactating dairy cows? A multilevel mixed-effects meta-analysis. *Journal of dairy science* (in Press)

Maxin, G., Ouellet, D.R. and Lapierre, H., 2013a. Effect of substitution of soybean meal by canola meal or distillers grains in dairy rations on amino acid and glucose availability. *Journal of dairy science*, 96(12), pp.7806-7817.

Maxin, G., Ouellet, D.R. and Lapierre, H., 2013b. Ruminal degradability of dry matter, crude protein, and amino acids in soybean meal, canola meal, corn, and wheat dried distillers grains. Journal of dairy science, 96(8), pp.5151-5160.

Miller-Cushon, E.K., Terré, M., DeVries, T.J. and Bach, A., 2014. The effect of palatability of protein source on dietary selection in dairy calves. *Journal of dairy science*, 97(7), pp.4444-4454.

Moate, P.J., Williams, S.R.O., Grainger, C., Hannah, M.C., Ponnampalam, E.N. and Eckard, R.J., 2011. Influence of cold-pressed canola, brewers grains and hominy meal as dietary supplements suitable for reducing enteric methane emissions from lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 166, pp.254-264.

Moore, S.A. E. and K. J. Kalscheur. 2016. Canola meal in dairy cow diets during early lactation increases production compared with soybean meal. *Journal of dairy science* (Suppl 1) 99: 719.

Mulrooney, C.N., Schingoethe, D.J., Kalscheur, K.F. and Hippen, A.R., 2009. Canola meal replacing distillers grains with solubles for lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 92(11), pp.5669-5676.

Mustafa, A.F., Christensen, D.A. and McKinnon, J.J., 1996. Chemical characterization and nutrient availability of high and low fiber canola meal. *Canadian journal of animal science*, 76(4), pp.579-586.

Mustafa, A.F., Christensen, D.A. and McKinnon, J.J., 1997. The effects of feeding high fiber canola meal on total tract digestibility and milk production. *Canadian journal of animal science*, 77(1), pp.133-140.

Mutsvangwa, T., Kiran, D. and Abeysekara, S., 2016. Effects of feeding canola meal or wheat dried distillers grains with solubles as a major protein source in low-or high-crude protein diets on ruminal fermentation, omasal flow,

Nair, J., Penner, G.B., Yu, P., Lardner, H.A., McAllister, T.A., Damiran, D. and McKinnon, J.J., 2016. Evaluation of canola meal derived from Brassica juncea and Brassica napus on rumen fermentation and nutrient digestibility by feedlot heifers fed finishing diets. *Canadian Journal of animal science*, 96(3), pp.342-353.

Nair, J., Penner, G.B., Yu, P., Lardner, H.A., McAllister, T., Damiran, D. and McKinnon, J.J., 2015. Evaluation of canola meal derived from Brassica juncea and Brassica napus seed as an energy source for feedlot steers. *Canadian journal of animal science*, 95(4), pp.599-607.

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., Whittier, J.C., Rittenhouse, L.R., Larsen, L. and Howes, A.D., 1999. Effects of Cull Beans, Sunflower Meal, and Canola Meal as Protein Supplements to Beef Steers Consuming Grass Hay on In Situ Digestion Kinetics1. *The professional animal scientist*, 15(3), pp.185-190.

Paula, E.M., Danes, M.A.C., Lobos, N.E., Zanton, G.I., Broderick, G.A. and Faciola, A.P., 2015. Effects of replacing soybean meal with canola meal or treated canola meal on performance of lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 98(2), p.387.

Paula, E.M., Broderick, G.A., Danes, M.A.C., Lobos, N.E., Zanton, G.I. and Faciola, A.P., 2018. Effects of replacing soybean meal with canola meal or treated canola meal on ruminal digestion, omasal nutrient flow, and performance in lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 101(1), pp.328-339.

Paula, E.M., Monteiro, H.F., Silva, L.G., Benedeti, P.D.B., Daniel, J.L.P., Shenkoru, T., Broderick, G.A. and Faciola, A.P., 2017a. Effects of replacing soybean meal with canola meal differing in rumen-undegradable protein content on ruminal fermentation and gas production kinetics using 2 in vitro systems. *Journal of dairy science*, 100(7), pp.5281-5292.

Paula, E.M., Daniel, L.P., Silva, L.G., Costa H.H.A., and Faciola, A.P.2017b. Assessing potentially digestible NDF and energy content of canola meal from twelve Canadian crushing plants over four production years. *Journal of dairy science*, 100 (Suppl2) 329-330.

Perera, S.P., McIntosh, T.C. and Wanasundara, J.P., 2016. Structural properties of cruciferin and napin of Brassica napus (canola) show distinct responses to changes in pH and temperature. *Plants*, 5(3), p.36.

Petit, H.V. and Veira, D.M., 1994. Effect of post-weaning protein supplementation of beef steers fed grass silage on performance during the finishing phase, and carcass quality. *Canadian journal of animal science*, 74(4), pp.699-701.

Puhakka, L., Jaakkola, S., Simpura, I., Kokkonen, T. and Vanhatalo, A., 2016. Effects of replacing rapeseed meal with fava bean at 2 concentrate crude protein levels on feed intake, nutrient digestion, and milk production in cows fed grass silage–based diets. *Journal of dairy science*, 99(10), pp.7993-8006.

Rezamand, P., Hatch, B.P., Carnahan, K.G. and McGuire, M.A., 2016. Effects of alpha-linolenic acid-enriched diets on gene expression of key inflammatory mediators in immune and milk cells obtained from Holstein dairy cows. *Journal of dairy research*, 83(1), pp.20-27.

Rinne, M., Kuoppala, K., Ahvenjärvi, S. and Vanhatalo, A., 2015. Dairy cow responses to graded levels of rapeseed and soya bean expeller supplementation on a red clover/grass silage-based diet. *Animal*, 9(12), pp.1958-1969.

Ross,D. 2015. Personal communication.

Ross, D.A., Gutierrez-Botero, M. and Van Amburgh, M.E. 2013. Development of an in-vitro intestinal digestibility assay for ruminant feeds. Proceedings of the Cornell Nutrition Conference. pp. 190–202.

Salehi, R., Ambrose, D.J. and Oba, M., 2016. Effects of prepartum diets supplemented with rolled oilseeds on Brix values and fatty acid profile of colostrum. *Journal of dairy science*, 99(5), pp.3598-3601.

Salehi, R., Colazo, M.G., Oba, M. and Ambrose, D.J., 2016. Effects of prepartum diets supplemented with rolled oilseeds on calf birth weight, postpartum health, feed intake, milk yield, and reproductive performance of dairy cows. *Journal of dairy science*, 99(5), pp.3584-3597.

Shingfield, K.J., Vanhatalo, A. and Huhtanen, P., 2003. Comparison of heat-treated rapeseed expeller and solvent-extracted soya-bean meal as protein supplements for dairy cows given grass silage-based diets. *Animal Science*. 77,pp. 305-317.

Skrivanova, V., Marounek, M. and Dvorak, R., 2004. Digestibility of total and phytate phosphorus in young calves. *Veterinarni medicina-UZPI*, 49, 191-196.

Spears, J.W., 2003. Trace mineral bioavailability in ruminants. *The journal of nutrition*, 133(5), pp.1506S-1509S.

Stefański, T., Ahvenjärvi, S., Huhtanen, P. and Shingfield, K.J., 2013. Metabolism of soluble rapeseed meal (Brassica rapa L.) protein during incubations with buffered bovine rumen contents in vitro. *Journal of dairy science*, 96(1), pp.440-450.

Stefański, T., Ahvenjärvi, S., Huhtanen, P. and Shingfield, K.J., 2013. Metabolism of soluble rapeseed meal (Brassica rapa L.) protein during incubations with buffered bovine rumen contents in vitro. *Journal of dairy science*, 96(1), pp.440-450.

Stoffel, C.M., Crump, P.M. and Armentano, L.E., 2015. Effect of dietary fatty acid supplements, varying in fatty acid composition, on milk fat secretion in dairy cattle fed diets supplemented to less than 3% total fatty acids. *Journal of dairy science*, 98(1), pp.431-442.

Suarez-Mena, F.X., Lascano, G.J., Rico, D.E. and Heinrichs, A.J., 2015. Effect of forage level and replacing canola meal with dry distillers grains with solubles in precision-fed heifer diets: Digestibility and rumen fermentation. *Journal of dairy science*, 98(11), pp.8054-8065.

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

Swanepoel, N., Robinson, P.H. and Erasmus, L.J., 2015. Effects of ruminally protected methionine and/or phenylalanine on performance of high producing Holstein cows fed rations with very high levels of canola meal. *Animal Feed science and technology*, 205, pp.10-22.

Swanepoel, N., Robinson, P.H. and Erasmus, L.J., 2016. Impacts of adding ruminally protected phenylalanine to rations containing high levels of canola meal on performance of high producing Holstein cows. *Animal Feed science and technology*, 216, pp.108-120.

Theodoridou, K. and Yu, P., 2013. Application potential of ATR-FT/IR molecular spectroscopy in animal nutrition: revelation of protein molecular structures of canola meal and presscake, as affected by heat-processing methods, in relationship with their protein digestive behavior and utilization for dairy cattle. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(23), pp.5449-5458.

Trøan, G., Pihlava, J.M., Brandt-Kjelsen, A., Salbu, B. and Prestløkken, E., 2018. Heat-treated rapeseed expeller press cake with extremely low glucosinolate content reduce transfer of iodine to cow milk. *Animal feed science and technology*, 239, pp.66-73.

Tylutki, T.P., Fox, D.G., Durbal, V.M., Tedeschi, L.O., Russell, J.B., Van Amburgh, M.E., Overton, T.R., Chase, L.E. and Pell, A.N., 2008. Cornell Net Carbohydrate and Protein System: A model for precision feeding of dairy cattle. *Animal Feed science and technology*, 143(1-4), pp.174-202.

Veselý, A., Křížová, L., Třináctý, J., Hadrová, S., Navrátilová, M., Herzig, I. and Fišera, M., 2009. Changes in fatty acid profile and iodine content in milk as influenced by the inclusion of extruded rapeseed cake in the diet of dairy cows. *Czech journal of animal science*, 54 (9),pp.201-209.

Vincent, I.C., Hill, R. and Campling, R.C., 1990. A note on the use of rapeseed, sunflower and soyabean meals as protein sources in compound foods for milking cattle. *Animal science*, 50(3), pp.541-543.

Weiss, W.P., Wyatt, D.J., Kleinschmit, D.H. and Socha, M.T., 2015. Effect of including canola meal and supplemental iodine in diets of dairy cows on short-term changes in iodine concentrations in milk. *Journal of dairy science*, 98(7), pp.4841-4849.

Wiese, S.C., White, C.L., Masters, D.G., Milton, J.T.B. and Davidson, R.H., 2003. Growth and carcass characteristics of prime lambs fed diets containing urea, lupins or canola meal as a crude protein source. *Australian journal of experimental agriculture*, 43(10), pp.1193-1197.

Woclawek-Potocka, I., Acosta, T.J., Korzekwa, A., Bah, M.M., Shibaya, M., Okuda, K. and Skarzynski, D.J., 2005. Phytoestrogens modulate prostaglandin production in bovine endometrium: cell type specificity and intracellular mechanisms. *Experimental biology and medicine*, 230(5), pp.326-333.

CERDOS

Adewole, D.I., Rogiewicz, A., Dyck, B., Nyachoti, C.M. and Slominski, B.A., 2017. Standardized ileal digestible amino acid contents of canola meal from Canadian crushing plants for growing pigs. *Journal of animal science*, 95(6), pp.2670-2679.

Adhikari, P.A., Heo, J.M. and Nyachoti, C.M., 2016. High dose of phytase on apparent and standardized total tract digestibility of phosphorus and apparent total tract digestibility of calcium in canola meals from Brassica napus black and Brassica juncea yellow fed to growing pigs. *Canadian journal of animal science*, 96(2), pp.121-127.

Akinmusire, A.S. and Adeola, O., 2009. True digestibility of phosphorus in canola and soybean meals for growing pigs: Influence of microbial phytase. *Journal of animal science*, 87(3), pp.977-983

Almeida, F.N., Htoo, J.K., Thomson, J. and Stein, H.H., 2014. Effects of heat treatment on the apparent and standardized ileal digestibility of amino acids in canola meal fed to growing pigs. *Animal feed science and technology*, 187, pp.44-52.

Bell, J.M., 1993. Factors affecting the nutritional value of canola meal: a review. *Canadian journal of animal science*, 73(4), pp.689-697

Berrocoso, J.D., Rojas, O.J., Liu, Y., Shoulders, J., González-Vega, J.C. and Stein, H.H., 2015. Energy concentration and amino acid digestibility in high-protein canola meal, conventional canola meal, and soybean meal fed to growing pigs. *Journal of animal science*, 93(5), pp.2208-2217.

Bourdon, D. and Aumaitre, A., 1990. Low-glucosinolate rapeseeds and rapeseed meals: effect of technological treatments on chemical

composition, digestible energy content and feeding value for growing pigs. *Animal feed science and technology*, 30(3-4), pp.175-191

Favero, A., Ragland, D., Vieira, S.L., Owusu-Asiedu, A. and Adeola, O., 2014. Digestibility marker and ileal amino acid digestibility in phytase-supplemented soybean or canola meals for growing pigs. *Journal of animal science*, 92(12), pp.5583-5592.

Flipot, P. and Dufour, J.J., 1977. Reproductive performance of gilts fed rapeseed meal cv. Tower during gestation and lactation. *Canadian journal of animal science*,57(3), pp.567-571

González-Vega, J.C., Walk, C.L., Liu, Y. and Stein, H.H., 2013. Determination of endogenous intestinal losses of calcium and true total tract digestibility of calcium in canola meal fed to growing pigs. *Journal of animal science*, 91(10), pp.4807-4816

Grageola, F., Landero, J.L., Beltranena, E., Cervantes, M., Araiza, A. and Zijlstra, R.T., 2013. Energy and amino acid digestibility of expeller-pressed canola meal and cold-pressed canola cake in ileal-cannulated finishing pigs. *Animal feed science and technology*, 186(3-4), pp.169-176.

Heo, J.M., Adewole, D. and Nyachoti, M., 2014. Determination of the net energy content of canola meal from B rassica napus yellow and B rassica juncea yellow fed to growing pigs using indirect calorimetry. *Animal science journal*, 85(7), pp.751-756.

Heyer, C.M.E., Wang, L.F., Beltranena, E. and Zijlstra, R.T., 2018. Growth Performance of Weaned Pigs Fed Raw or Extruded Canola Meal with Low to High Extrusion Intensity. *Journal of animal science*, 96(suppl_2), pp.176-176.

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

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

Kil, D.Y., Kim, B.G. and Stein, H.H., 2013. Feed energy evaluation for growing pigs. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 26(9), p.1205.

Kim, K., Goel, A., Lee, S., Choi, Y. and Chae, B.J., 2015. Comparative ileal amino acid digestibility and growth performance in growing pigs fed different level of canola meal. *Journal of animal science and technology*, 57(1), p.21.

Kim, J.W., Koo, B. and Nyachoti, C.M., 2018. Net energy content of canola meal fed to growing pigs and effect of experimental methodology on energy values. *Journal of animal science*, 96(4), pp.1441-1452.

King, R.H., Eason, P.E., Kerton, D.K. and Dunshea, F.R., 2001. Evaluation of solvent-extracted canola meal for growing pigs and lactating sows. *Australian journal of agricultural research*, 52(10), pp.1033-1041.

Kracht, W., Jeroch, H., Matzke, W., Nürnberg, K., Ender, K. and Schumann, W., 1996. The influence of feeding rapeseed on growth and carcass fat quality of pigs. *Lipid/Fett*, 98(10), pp.343-351.

Landero, J.L., Beltranena, E., Cervantes, M., Morales, A. and Zijlstra, R.T., 2011. The effect of feeding solvent-extracted canola meal on growth performance and diet nutrient digestibility in weaned pigs. *Animal feed science and technology*, 170(1-2), pp.136-140.

Landero, J.L., Beltranena, E., Cervantes, M., Araiza, A.B. and Zijlstra, R.T., 2012. The effect of feeding expeller-pressed canola meal on growth performance and diet nutrient digestibility in weaned pigs. *Animal feed science and technology*, 171(2-4), pp.240-245.

Landero, J.L., Wang, L.F., Beltranena, E., Bench, C.J. and Zijlstra, R.T., 2018. Feed preference of weaned pigs fed diets containing soybean meal, Brassica napus canola meal, or Brassica juncea canola meal. *Journal of animal science*, 96(2), pp.600-611.

Le, M.H.A., Buchet, A.D.G., Beltranena, E., Gerrits, W.J.J. and Zijlstra, R.T., 2017. Digestibility and intestinal fermentability of canola meal from Brassica juncea and Brassica napus fed to ileal-cannulated grower pigs. *Animal feed science and technology*, 234, pp.43-53.

Lee, J.W., Patterson, R. and Woyengo, T.A., 2018. Porcine in vitro degradation and fermentation characteristics of canola co-products without or with fiber-degrading enzymes. *Animal feed science and technology*, 241, pp.133-140.

Lewis, A.J., Aherne, F.X. and Hardin, R.T., 1978. Reproductive performance of sows fed low glucosinolate (Tower) rapeseed meal. *Canadian journal of animal science*, 58(2), pp.203-208.

Little, K.L., Bohrer, B.M., Maison, T., Liu, Y., Stein, H.H. and Boler, D.D., 2015. Effects of feeding canola meal from high-protein or conventional varieties of canola seeds on growth performance, carcass characteristics, and cutability of pigs. *Journal of animal science*, 93(3), pp.1284-1297.

Liu, Y., Jaworski, N.W., Rojas, O.J. and Stein, H.H., 2016. Energy concentration and amino acid digestibility in high protein canola meal, conventional canola meal, and in soybean meal fed to growing pigs. *Animal feed science and technology*, 212, pp.52-62.

Liu, Y., Oliveira, M.S. and Stein, H.H., 2018. Canola meal produced from high-protein or conventional varieties of canola seeds may substitute soybean meal in diets for gestating and lactating sows without compromising sow or litter productivity. *Urbana*, 51, p.61801.

Liu, Y., Song, M., Maison, T. and Stein, H.H., 2014. Effects of protein concentration and heat treatment on concentration of digestible and metabolizable energy and on amino acid digestibility in four sources of canola meal fed to growing pigs. *Journal of animal science*, 92(10), pp.4466-4477.

Maison, T., Liu, Y. and Stein, H.H., 2015. Apparent and standardized total tract digestibility by growing pigs of phosphorus in canola meal from North America and 00-rapeseed meal and 00-rapeseed expellers from Europe without and with microbial phytase. *Journal of animal science*, 93(7), pp.3494-3502.

Maison, T. and Stein, H.H., 2014. Digestibility by growing pigs of amino acids in canola meal from North America and 00-rapeseed meal and 00-rapeseed expellers from Europe. *Journal of animal science*, 92(8), pp.3502-3514.

Mejicanos, G.A. and Nyachoti, C.M., 2018. Effect of tail-end dehulling of canola meal on apparent and standardized ileal digestibility of amino acids when fed to growing pigs. *Animal feed science and technology*, 243, pp.102-111.

Mejicanos, G.A., Regassa, A. and Nyachoti, C.M., 2017. Effect of high canola meal content on growth performance, nutrient digestibility and fecal bacteria in nursery pigs fed either corn or wheat based diets. *Animal feed science and technology*, 231, pp.59-66.

Mejicanos, G., Sanjayan, N., Kim, I.H. and Nyachoti, C.M., 2016. Recent advances in canola meal utilization in swine nutrition. *Journal of animal science and technology*, 58(1), pp.7-20.

Montoya, C.A. and Leterme, P., 2010. Validation of the net energy content of canola meal and full-fat canola seeds in growing pigs. *Canadian journal of animal science*, 90(2), pp.213-219.

NRC. 2012. Nutrient Requirements of Swine. 11th ed. National Academies Press, Washington, D.C.

Nyachoti, C.M., De Lange, C.F. and Schulze, H., 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. *Journal of animal science*, 75(12), pp.3206-3213.

Nyachoti, C.M., Zijlstra, R.T., De Lange, C.F.M. and Patience, J.F., 2004. Voluntary feed intake in growing-finishing pigs: A review of the main determining factors and potential approaches for accurate predictions. *Canadian journal of animal science*, 84(4), pp.549-566.

Parr, C.K., Liu, Y., Parsons, C.M. and Stein, H.H., 2015. Effects of high-protein or conventional canola meal on growth performance, organ weights, bone ash, and blood characteristics of weanling pigs. *Journal of animal science*, 93(5), pp.2165-2173.

Sanjayan, N., Heo, J.M. and Nyachoti, C.M., 2014. Nutrient digestibility and growth performance of pigs fed diets with different levels of canola meal from Brassica napus black and Brassica juncea yellow. *Journal of animal science*, 92(9), pp.3895-3905.

Schöne, F., Groppel, B., Hennig, A., Jahreis, G. and Lange, R., 1997a. Rapeseed meals, methimazole, thiocyanate and iodine affect growth and thyroid. Investigations into glucosinolate tolerance in the pig. *Journal of the science of food and agriculture*, 74(1), pp.69-80.

Schöne, F., Rudolph, B., Kirchheim, U. and Knapp, G., 1997. Counteracting the negative effects of rapeseed and rapeseed press cake in pig diets. *British journal of nutrition*, 78(6), pp.947-962.

Seneviratne, R.W., Beltranena, E., Newkirk, R.W., Goonewardene, L.A. and Zijlstra, R.T., 2011. Processing conditions affect nutrient digestibility of cold-pressed canola cake for grower pigs. *Journal of animal science*, 89(8), pp.2452-2461.

Smit, M.N., Landero, J.L., Young, M.G. and Beltranena, E., 2018. Effects of feeding canola meal or soy expeller at two dietary net energy levels on growth performance, dressing and carcass characteristics of barrows and gilts. *Animal feed science and technology*, 235, pp.166-176.

Smit, M.N., Seneviratne, R.W., Young, M.G., Lanz, G., Zijlstra, R.T. and Beltranena, E., 2014a. Feeding Brassica juncea or Brassica napus canola meal at increasing dietary inclusions to growing-finishing gilts and barrows. *Animal feed science and technology*, 198, pp.176-185.

Smit, M.N., Seneviratne, R.W., Young, M.G., Lanz, G., Zijlstra, R.T. and Beltranena, E., 2014b. Feeding increasing inclusions of canola meal with distillers dried grains and solubles to growing-finishing barrows and gilts. *Animal feed science and technology*, 189, pp.107-116.

Stein, H.H., Seve, B., Fuller, M.F., Moughan, P.J. and De Lange, C.F.M., 2007. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. *Journal of animal science*, 85(1), pp.172-180.

Trindade Neto, M.A.D., Opepaju, F.O., Slominski, B.A. and Nyachoti, C.M., 2012. Ileal amino acid digestibility in canola meals from yellow-and black-seeded Brassica napus and Brassica juncea fed to growing pigs. *Journal of animal science*, 90(10), pp.3477-3484.

Van Milgen, J. and Dourmad, J.Y., 2015. Concept and application of ideal protein for pigs. *Journal of animal science and biotechnology*, 6(1), p.1.

Velayudhan, D.E. and Nyachoti, C.M., 2017. Effect of increasing dietary canola meal inclusion on lactation performance, milk composition, and

nutrient digestibility of lactating sows . *Journal of animal science*, 95(7), pp.3129-3135.

Velayudhan, D.E. and Nyachoti, C.M., 2016. Effect of high dietary canola meal inclusion in lactating sows on nutrient digestibility and sow and piglet performance. *Journal of animal science*, 94(Suppl. 5), pp.228-229.

Velayudhan, D.E., Hossain, M.M., Regassa, A. and Nyachoti, C.M., 2018. Effect of canola meal inclusion as a major protein source in gestation and lactation sow diets with or without enzymes on reproductive performance, milk composition, fecal bacterial profile and nutrient digestibility *Animal feed science and technology* 241, pp.141-150.

Wang, L.F., Beltranena, E. and Zijlstra, R.T., 2017. Diet nutrient digestibility and growth performance of weaned pigs fed Brassica napus canola meal varying in nutritive quality. *Animal feed science and technology*, 223, pp.90-98.

Woyengo, T.A., Kiarie, E. and Nyachoti, C.M., 2010. Energy and amino acid utilization in expeller-extracted canola meal fed to growing pigs. *Journal of animal science*, 88(4), pp.1433-1441.

Woyengo, T.A., Sánchez, J.E., Yáñez, J., Beltranena, E., Cervantes, M., Morales, A. and Zijlstra, R.T., 2016. Nutrient digestibility of canola co-products for grower pigs. *Animal feed science and technology*, 222, pp.7-16.

AVES

Adedokun, S.A., Utterback, P., Parsons, C.M., Adeola, O., Lilburn, M.S. and Applegate, T.J., 2009. Comparison of amino acid digestibility of feed ingredients in broilers, laying hens and caecectomised roosters. *British poultry science*, 50(3), pp.350-358.

Adewole, D.I., Rogiewicz, A., Dyck, B. and Slominski, B.A., 2017. Effects of canola meal source on the standardized ileal digestible amino acids and apparent metabolizable energy contents for broiler chickens. *Poultry science*, 96(12), pp.4298-4306.

Ahmadi, A.S., Shivazad, M. ,Zagharim M and Shahneh, A.Z., 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 , Tehran, Iran. pp. 576–579.

Ariyibi, S. A. 2019. The effect of incremental dietary levels of canola (low-glucosinolate rapeseed) meal on growth performance of broiler chickens. Master of Science Thesis, University of Manitoba

Barekatain, M.R., Wu, S.B., Toghyani, M. and Swick, R.A., 2015. Effects of grinding and pelleting condition on efficiency of full-fat canola seed for replacing supplemental oil in broiler chicken diets. *Animal feed science and technology*, 207, pp.140-149.

Bell, J.M., 1993. Factors affecting the nutritional value of canola meal: a review. *Canadian journal of animal science*, 73(4), pp.689-697.

Bernadet MD, Peillod C, Lessire M, Guy G, 2009. Incorporation of Rapeseed meal in mule duck diets. *Proceedings of IV world waterfowl conference*, p.161.

Bryan, D.D., MacIsaac, J.L., Rathgeber, B.M., McLean, N.L. and Anderson, D.M., 2017. Meal residual oil level and heat treatment after oil extraction affects the nutritive value of expeller-pressed canola meal for broiler chickens. *Canadian journal of animal science*, 97(4), pp.658-667.

Butler, E.J., Pearson, A.W. and Fenwick, G.R., 1982. Problems which limit the use of rapeseed meal as a protein source in poultry diets. *Journal of the science of food and agriculture*, 33(9), pp.866-875

Cachaldora, P., Garcia-Rebollar, P., Alvarez, C., De Blas, J.C. and Mendez, J., 2008. Effect of type and level of basal fat and level of fish oil supplementation on yolk fat composition and n-3 fatty acids deposition efficiency in laying hens. *Animal feed science and technology*, 141(1-2), pp.104-114.

Chen, X., Parr, C., Utterback, P. and Parsons, C.M., 2015. Nutritional evaluation of canola meals produced from new varieties of canola seeds for poultry. *Poultry science*, 94(5), pp.984-991.

Czerwiński, J., Smulikowska, S., Mieczkowska, A., Konieczka, P., Piotrowska, A. and Bartkowiak-Broda, I., 2012. The nutritive value and phosphorus availability of yellow-and dark-seeded rapeseed cakes and the effects of phytase supplementation in broilers. *Journal of animal and feed sciences*, 21(4), pp.677-695.

Gallardo, C., Dadalt, J.C., Kiarie, E. and Trindade Neto, M.A., 2017. Effects of multi-carbohydrase and phytase on standardized ileal digestibility of amino acids and apparent metabolizable energy in canola meal fed to broiler chicks. *Poultry science*, 96(9), pp.3305-3313.

Goldberg, E.M., Ryland, D., Aliani, M. and House, J.D., 2016. Interactions between canola meal and flaxseed oil in the diets of White Lohmann hens on fatty acid profile and sensory characteristics of table eggs. *Poultry science*, 95(8), pp.1805-1812.

Gonzalez-Esquerra, R. and Leeson, S., 2001. Alternatives for enrichment of eggs and chicken meat with omega-3 fatty acids. *Canadian journal of animal science*, 81(3), pp.295-305.

Gopinger, E., Xavier, E.G., Elias, M.C., Catalan, A.A.S., Castro, M.L.S., Nunes, A.P. and Roll, V.F.B., 2014. The effect of different dietary levels of canola meal on growth performance, nutrient digestibility, and gut morphology of broiler chickens. *Poultry science*, 93(5), pp.1130-1136.

Gorski, M.F., 2015. Nutritional evaluation of canola meal produced from a new variety of canola seeds in broiler chickens and laying. Ph.D. Thesis, University of Illinois.

Gorski, M., Foran, C., Utterback, P. and Parsons, C.M., 2017. Nutritional evaluation of conventional and increased-protein, reduced-fiber canola meal fed to broiler chickens. *Poultry science*, 96(7), pp.2159-2167.

Huang, K.H., Li, X., Ravindran, V. and Bryden, W.L., 2006. Comparison of apparent ileal amino acid digestibility of feed ingredients measured with broilers, layers, and roosters. *Poultry science*, 85(4), pp.625-634.

Jamroz, D., Wiliczkiewicz, A. and Skorupinska, J., 1992. The effect of diets containing different levels of structural substances on morphological changes in the intestinal walls and the digestibility of the crude fibre fractions in geese (Part III). *Journal of animal feed science*, 1(3), pp.37-50.

Jayaraman, B., MacIsaac, J. and Anderson, D., 2016. Effects of derived meals from juncea (Brassica juncea), yellow and black seeded canola (Brassica napus) and multicarbohydrase enzymes supplementation on apparent metabolizable energy in broiler chickens. *Animal nutrition*, 2(3), pp.154-159.

Jia, W., Mikulski, D., Rogiewicz, A., Zduńczyk, Z., Jankowski, J. and Slominski, B.A., 2012. Low-fiber canola. Part 2. Nutritive value of the meal. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(50), pp.12231-12237

Jia, W., Slominski, B.A., Guenter, W., Humphreys, A. and Jones, O., 2008. The effect of enzyme supplementation on egg production parameters and omega-3 fatty acid deposition in laying hens fed flaxseed and canola seed. *Poultry science*, 87(10), pp.2005-2014.

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. *Journal of animal and feed sciences*, 12(1), pp.111-120.

Kanakri, K., Carragher, J., Hughes, R., Muhlhausler, B. and Gibson, R., 2018. The effect of different dietary fats on the fatty acid composition of several tissues in broiler chickens. *European journal of lipid science and technology*, 120(1), p.1700237.

Khajali, F. and Slominski, B.A., 2012. Factors that affect the nutritive value of canola meal for poultry. *Poultry science*, 91(10), pp.2564-2575.

Kiiskinen, T., 1989. Effect of long-term use of rapeseed meal on egg production. *Annals agriculture Fenniae*. 28, pp.385–396.

Kim, E.J., Utterback, P.L. and Parsons, C.M., 2012. Comparison of amino acid digestibility coefficients for soybean meal, canola meal, fish meal, and meat and bone meal among 3 different bioassays. *Poultry science*, 91(6), pp.1350-1355.

Kluth, H. and Rodehutscord, M., 2006. Comparison of amino acid digestibility in broiler chickens, turkeys, and Pekin ducks. *Poultry science*, 85(11), pp.1953-1960.

Kocher, A., Choct, M., Porter, M.D. and Broz, J., 2000. The effects of enzyme addition to broiler diets containing high concentrations of canola or sunflower meal. *Poultry science*, 79(12), pp.1767-1774.

Kong, C. and Adeola, O., 2011. Protein utilization and amino acid digestibility of canola meal in response to phytase in broiler chickens. *Poultry science*, 90(7), pp.1508-1515.

Kong, C. and Adeola, O., 2013. Comparative amino acid digestibility for broiler chickens and White Pekin ducks. *Poultry science*, 92(9), pp.2367-2374.

Kong, C. and Adeola, O., 2016. Determination of ileal digestible and apparent metabolizable energy contents of expeller-extracted and solvent-extracted canola meals for broiler chickens by the regression method. *Springer plus*, 5(1), p.693.

Kozłowski, K., Helmbrecht, A., Lemme, A., Jankowski, J. and Jeroch, H., 2011. Standardized ileal digestibility of amino acids from high-protein feedstuffs for growing turkeys–a preliminary study. *Archiv Geflügelk*, 75, pp.185-190.

Kozlowski, K., Mikulski, D., Rogiewicz, A., Zdunczyk, Z., Rad-Spice, M., Jeroch, H., Jankowski, J. and Slominski, B.A., 2018. Yellow-seeded B. napus and B. juncea canola. Part 2. Nutritive value of the meal for turkeys. *Animal feed science and technology*, 240, pp.102-116.

Mandal, A.B., Elangovan, A.V., Tyagi, P.K., Tyagi, P.K., Johri, A.K. and Kaur, S., 2005. Effect of enzyme supplementation on the metabolisable energy content of solvent-extracted rapeseed and sunflower seed meals for chicken, guinea fowl and quail. *British poultry science*, 46(1), pp.75-79.

Meng, X. and Slominski, B.A., 2005. Nutritive values of corn, soybean meal, canola meal, and peas for broiler chickens as affected by a multicarbohydrase preparation of cell wall degrading enzymes. *Poultry science*, 84(8), pp.1242-1251.

Meng, X., Slominski, B.A., Campbell, L.D., Guenter, W. and Jones, O., 2006. The use of enzyme technology for improved energy utilization from full-fat oilseeds. Part I: Canola seed. *Poultry science*, 85(6), pp.1025-1030.

Meng, X., Slominski, B.A., Nyachoti, C.M., Campbell, L.D. and Guenter, W., 2005. Degradation of cell wall polysaccharides by combinations of carbohydrase enzymes and their effect on nutrient utilization and broiler chicken performance. *Poultry science*, 84(1), pp.37-47.

Mutucumarana, R.K., Ravindran, V., Ravindran, G. and Cowieson, A.J., 2014. Measurement of true ileal digestibility and total tract retention of

phosphorus in corn and canola meal for broiler chickens. *Poultry science*, 93(2), pp.412-419.

Naseem, M.Z., Khan, S.H. and Yousaf, M., 2006. Effect of feeding various levels of canola meal on the performance of broiler chicks. *Journal of animal and plant sciences*, 16, pp.3-4.

Nassar, A.R., Goeger, M.P. and Arscott, G.H., 1985. Effect of canola meal in laying hen diets. *Nutrition reports international* 31,pp.1349-1355.

Newkirk, R.W. and Classen, H.L., 2002. The effects of toasting canola meal on body weight, feed conversion efficiency, and mortality in broiler chickens. *Poultry science*, 81(6), pp.815-825.

Novak, C., Yakout, H. and Scheideler, S., 2004. The combined effects of dietary lysine and total sulfur amino acid level on egg production parameters and egg components in Dekalb Delta laying hens. *Poultry science*, 83(6), pp.977-984.

Noll, S.L., Sernyk, J.L. and Hickling, D. 2017. University of Minnesota Research Update: Canola Meal Use in Market Turkey Diets. Proceedings of the Minnesota Nutrition Conference.

Oryschak, M.A. and Beltranena, E., 2013. Further Processing for Better Utilization of Co-products in Monogastrics. In Proceedings of the 34th Western Nutrition Conference pp. 48-61.

Palander, S., Näsi, M. and Ala-Fossi, I., 2004. Rapeseed and soybean products as protein sources for growing turkeys of different ages. *British poultry science*, 45(5), pp.664-671.

Radfar, M., Rogiewicz, A. and Slominski, B.A., 2017. Chemical composition and nutritive value of canola-quality Brassica juncea meal for poultry and the effect of enzyme supplementation. *Animal feed science and technology*, 225, pp.97-108.

Rad-Spice, M., 2017. Means to improve the utilization of canola meal by broiler chickens: new low-fiber canola and the use of exogenous enzymes .Ph.D. Thesis, University of Manitoba.

Ramesh, K.R., Devegowda, G. and Khosravinia, H., 2006. Effects of enzyme addition to broiler diets containing varying levels of double zero rapeseed meal. *Asian-Australian journal of animal sciences*, 19(9), p.1354.

Ravindran, V., Cabahug, S., Ravindran, G. and Bryden, W.L., 1999. Influence of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of feedstuffs for broilers. *Poultry science*, 78(5), pp.699-706

Rahmani, M., 2017. Chemical composition and available energy contents of canola meal from Canadian crushing plants. M.Sc Thesis, University of Manitoba.

Rowghani, E., Arab, M., Nazifi, S. and Bakhtiari, Z., 2007. Effect of canola oil on cholesterol and fatty acid composition of egg-yolk of laying hens. *International journal of poultry science*, 6(2), pp.111-114.

Saki, A.A., Goudarzi, S.M., Ranjbaran, M., Ahmadi, A. and Khoramabadi, V., 2017. Evaluation of biochemical parameters and productive performance of Japanese quail in response to the replacement of soybean meal with canola meal. *Acta scientiarum. Animal sciences*, 39(1), pp.51-56.

Sarıçiçek, B.Z., Kılıç, Ü. and Garipoğlu, A.V., 2005. Replacing soybean meal (SBM) by canola meal (CM): The effects of multi-enzyme and phytase supplementation on the performance of growing and laying quails. *Asian-australasian journal of animal sciences*, 18(10), pp.1457-1463.

Savary, R.K., MacIsaac, J.L., Rathgeber, B.M., McLean, N.L. and Anderson, D.M., 2017. Evaluating Brassica napus and Brassica juncea meals with supplemental enzymes for use in laying hen diets: production performance and egg quality factors. *Canadian journal of animal science*, 97(3), pp.476-487.

Simbaya, J., Slominski, B.A., Guenter, W., Morgan, A. and Campbell, L.D., 1996. The effects of protease and carbohydrase supplementation on the nutritive value of canola meal for poultry: In vitro and in vivo studies. *Animal feed science and technology*, 61(1-4), pp.219-234.

Slominski, B.A., 2011. Recent advances in research on enzymes for poultry diets. *Poultry science*, 90(9), pp.2013-2023.

Slominski, B.A. and Campbell, L.D., 1990. Non-starch polysaccharides of canola meal: Quantification, digestibility in poultry and potential benefit of dietary enzyme supplementation. *Journal of the science of food and agriculture*, 53(2), pp.175-184.

Summers, J.D. and Bedford, M., 1994. Canola meal and diet acid-base balance for broilers. *Canadian journal of animal science*, 74(2), pp.335-339.

Toghyani, M., Rodgers, N., Barekatain, M.R., Iji, P.A. and Swick, R.A., 2014. Apparent metabolizable energy value of expeller-extracted canola meal subjected to different processing conditions for growing broiler chickens. *Poultry science*, 93(9), pp.2227-2236.

Toghyani, M., Swick, R.A. and Barekatain, R., 2016. Effect of seed source and pelleting temperature during steam pelleting on apparent metabolizable energy value of full-fat canola seed for broiler chickens. *Poultry science*, 96(5), pp.1325-1333.

Waibel, P.E., Noll, S.L., Hoffbeck, S., Vickers, Z.M. and Salmon, R.E., 1992. Canola meal in diets for market turkeys. *Poultry science*, 71(6), pp.1059-1066.

Wickramasuriya, S.S., Yi, Y.J., Yoo, J., Kang, N.K. and Heo, J.M., 2015. A review of canola meal as an alternative feed ingredient for ducks. *Journal of animal science and technology*, 57(1), p.29.

Woyengo, T.A., Kiarie, E. and Nyachoti, C.M., 2010. Metabolizable energy and standardized ileal digestible amino acid contents of expeller-extracted canola meal fed to broiler chicks. *Poultry science*, 89(6), pp.1182-1189.

ACUACULTURA

Allan, G.L., Parkinson, S., Booth, M.A., Stone, D.A., Rowland, S.J., Frances, J. and Warner-Smith, R., 2000. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, Bidyanus bidyanus: I. Digestibility of alternative ingredients. *Aquaculture*, 186(3-4), pp.293-310.

Allan, G.L. and Booth, M.A., 2004. Effects of extrusion processing on digestibility of peas, lupins, canola meal and soybean meal in silver perch Bidyanus bidyanus (Mitchell) diets. *Aquaculture research*, 35(10), pp.981-991.

Anderson, D.M., MacPherson, M.J., Collins, S.A. and MacIsaac, P.F., 2018. Yellow-and brown-seeded canola (Brassica napus), camelina (Camelina sativa) and Ethiopian mustard (Brassica carinata) in practical diets for rainbow trout fingerlings. *Journal of applied aquaculture*, 30(2), pp.187-195.

Booth, M.A. and Allan, G.L., 2003. Utilization of digestible nitrogen and energy from four agricultural ingredients by juvenile silver perch Bidyanus bidyanus. *Aquaculture nutrition*, 9(5), pp.317-326.

Borgeson, T.L., Racz, V.J., Wilkie, D.C., White, L.J. and Drew, M.D., 2006. Effect of replacing fishmeal and oil with simple or complex mixtures of vegetable ingredients in diets fed to Nile tilapia (Oreochromis niloticus). *Aquaculture nutrition*, 12(2), pp.141-149.

Buchanan, J., Sarac, H.Z., Poppi, D. and Cowan, R.T., 1997. Effects of enzyme addition to canola meal in prawn diets. *Aquaculture*, 151(1-4), pp.29-35.

Bulbul, M., Kader, M.A., Asaduzzaman, M., Ambak, M.A., Chowdhury, A.J.K., Hossain, M.S., Ishikawa, M. and Koshio, S., 2016. Can canola meal and soybean meal be used as major dietary protein sources for kuruma shrimp, Marsupenaeus japonicus?. *Aquaculture*, 452, pp.194-199.

Bulbul, M., Kader, M.A., Koshio, S., Ishikawa, M. and Yokoyama, S., 2014. Effect of replacing fishmeal with canola meal on growth and nutrient utilization in kuruma shrimp M arsupenaeus japonicus (Bate). *Aquaculture research*, 45(5), pp.848-858.

Bulbul, M., Kader, M.A., Asaduzzaman, M., Ambak, M.A., Chowdhury, A.J.K., Hossain, M.S., Ishikawa, M. and Koshio, S., 2016. Can canola meal and soybean meal be used as major dietary protein sources for kuruma shrimp, Marsupenaeus japonicus?. *Aquaculture*, 452, pp.194-199.

Burel, C., Boujard, T., Tulli, F. and Kaushik, S.J., 2000. Digestibility of extruded peas, extruded lupin, and rapeseed meal in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) and turbot (Psetta maxima). *Aquaculture*, 188(3-4), pp.285-298

Burel, C. and Kaushik, S.J., 2008. Use of rapeseed/canola in diets of aquaculture species. *Alternative protein sources in aquaculture diets*. New York: Haworth Press, Taylor & Francis Group, pp.343-403.

Burr, G.S., Barrows, F.T., Gaylord, G. and Wolters, W.R., 2011. Apparent digestibility of macro-nutrients and phosphorus in plant-derived ingredients for Atlantic salmon, Salmo salar and Arctic charr, Salvelinus alpinus. *Aquaculture nutrition*, 17(5), pp.570-577.

Burr, G.S., Wolters, W.R., Barrows, F.T. and Donkin, A.W., 2013. Evaluation of a canola protein concentrate as a replacement for fishmeal and poultry by-product meal in a commercial production diet for Atlantic salmon (Salmo salar). *International Aquatic Research*, 5(1), p.5.

Cai, C., Song, L., Wang, Y., Wu, P., Ye, Y., Zhang, Z. and Yang, C., 2013. Assessment of the feasibility of including high levels of rapeseed meal and peanut meal in diets of juvenile crucian carp (Carassius auratus gibelio × Cyprinus carpio): Growth, immunity, intestinal morphology, and microflora. *Aquaculture*, 410, pp.203-215.

Cheng, Z., Ai, Q., Mai, K., Xu, W., Ma, H., Li, Y. and Zhang, J., 2010. Effects of dietary canola meal on growth performance, digestion and metabolism of Japanese seabass, Lateolabrax japonicus. *Aquaculture*, 305(1-4), pp.102-108.

Cheng, Z.J. and Hardy, R.W., 2002. Effect of microbial phytase on apparent nutrient digestibility of barley, canola meal, wheat and wheat middlings, measured in vivo using rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). *Aquaculture* nutrition, 8(4), pp.271-277.

Collins, S.A., Desai, A.R., Mansfield, G.S., Hill, J.E., Van Kessel, A.G. and Drew, M.D., 2012. The effect of increasing inclusion rates of soybean, pea and canola meals and their protein concentrates on the growth of rainbow trout: concepts in diet formulation and experimental design for ingredient evaluation. *Aquaculture*, 344, pp.90-99.

Collins, S.A., Øverland, M., Skrede, A. and Drew, M.D., 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, pp.85-100.

Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., McCallum, I.M. and Hickling, D., 2001. Assessment of differently processed feed pea (Pisum sativum) meals and canola meal (Brassica sp.) in diets for blue shrimp (Litopenaeus stylirostris). Aquaculture, 196(1-2), pp.87-104.

Dalsgaard, J., Verlhac, V., Hjermitslev, N.H., Ekmann, K.S., Fischer, M., Klausen, M. and Pedersen, P.B., 2012. Effects of exogenous enzymes on

(Litopenaeus stylirostris). *Aquaculture*, 196(1-2), pp.87-104.

Dalsgaard, J., Verlhac, V., Hjermitslev, N.H., Ekmann, K.S., Fischer, M., Klausen, M. and Pedersen, P.B., 2012. Effects of exogenous enzymes on apparent nutrient digestibility in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fed diets with high inclusion of plant-based protein. *Animal feed science and technology*, 171(2-4), pp.181-191.

Drew, M.D. 2004. Canola protein concentrate as a feed ingredient for salmonid fish. In Cruz-Suarez, et al. Avances en Nutrición Acuícola VII. Memorias del Symposium Internacional de Nutrición Acuícola.

Drew, M.D. 2009. Use of canola, pea and soy fractions in aquafeeds. Saskatchewan Agriculture Development Fund. Final Project

Erdoğan, F. and Ölmez, M., 2009. The effect of canola meal on growth, somatic indices and body composition of angel fish (Pterophyllum scalare Lichtenstein 1823). *Tarim bilimleri dergisi*, 15(2), pp.181-187.

Erdogan, F. and Olmez, M., 2010. Digestibility and utilization of canola meal in angel fish (P. scalare Lichtenstein 1823) feeds. *Journal of animal and veterinary advances*, 9(4), pp.831-836.

Fangfang, T., Qiping, G., Ruojun, W. and Nernberg, L., 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 technology* 35,pp.74-80.

Galdioli, E.M., Hayashi, C., Soares, C.M., Furuya, V.R.B. and Faria, A.C.E.A.D., 2002. Replacement of soybean meal protein by canola meal protein in" Curimbatá (Prochilodus lineatus V.) fingerling diets. *Revista Brasileira de zootecnia*, 31(2), pp.552-559.

Galdioli, E.M., Hayashi, C., de Faria, A.C.E.A. and Soares, C.M., 2001. Substituição parcial e total da proteína do farelo de soja pela proteína dos farelos de canola e algodão em dietas para alevinos de piavuçu, Leporinus macrocephalus (Garavello & Britski, 1988). Acta Scientiarum. *Animal sciences*, 23, pp.841-847.

Gaylord, T.G., Barrows, F.T. and Rawles, S.D., 2008. Apparent digestibility of gross nutrients from feedstuffs in extruded feeds for rainbow trout, Oncorhynchus mykiss. *Journal of the world aquaculture society*, 39(6), pp.827-834.

Gaylord, T.G., Barrows, F.T. and Rawles, S.D., 2010. Apparent amino acid availability from feedstuffs in extruded diets for rainbow trout Oncorhynchus mykiss. *Aquaculture nutrition*, 16(4), pp.400-406.

Glencross, B., Hawkins, W. and Curnow, J., 2003. Evaluation of canola oils as alternative lipid resources in diets for juvenile red seabream, Pagrus auratus. *Aquaculture nutrition*, 9(5), pp.305-315.

Glencross, B., Hawkins, W. and Curnow, J., 2004a. Nutritional assessment of Australian canola meals. I. Evaluation of canola oil extraction method and meal processing conditions on the digestible value of canola meals fed to the red seabream (Pagrus auratus, Paulin). *Aquaculture research*, 35(1), pp.15-24.

Glencross, B., Hawkins, W. and Curnow, J., 2004b. Nutritional assessment of Australian canola meals. II. Evaluation of the influence of the canola oil extraction method on the protein value of canola meals fed to the red seabream (Pagrus auratus, Paulin). *Aquaculture research*, 35(1), pp.25-34.

Habib, R.Z., Afzal, M., Shah, S.Z.H., Fatima, M., Bilal, M. and Hussain, S.M., 2018. Potential of Phytase and Citric Acid Treated Canola Meal Based Diet to Enhance the Minerals Digestibility in Labeo rohita Fingerlings. *Pakistan journal of zoology*, 50(6).

Hajen, W.E., Higgs, D.A., Beames, R.M. and Dosanjh, B.S., 1993. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (Oncorhynchus tshawytscha) in sea water. 2. Measurement of digestibility. *Aquaculture*, 112(4), pp.333-348.

Hill, H.A., Trushenski, J.T. and Kohler, C.C., 2013. Utilization of Soluble Canola Protein Concentrate as an Attractant Enhances Production Performance of Sunshine Bass Fed Reduced Fish Meal, Plant-Based Diets. *Journal of the world aquaculture society*, 44(1), pp.124-132.

Huang, Y., Hu, Y., Xiao, T.Y., HUAN, Z.L., WEN, H., FENG, F.X. and YU, J.B., 2012. Influence of dietary canola meal levels on growth and biochemical indices in juvenile Mylopharvngodon piceus. Acta *Hydrobiologica sinica*, 36(1), pp.41-48.

Hung, L.T. and Van Minh, N. 2013. Use of canola meal in carnivore feed: A case study in snakehead fish (Channa Striata). International Fisheries Symposium, IFS 2013, Pattaya, Thailand

Hussain, S.M., Afzal, M., Nasir, S., Javid, A., Makhdoom, S.M., Jabeen, F., Azmat, H., Hussain, M. and Shah, S.Z.H., 2016. Efficacy of phytase supplementation in improving mineral digestibility in Labeo rohita fingerlings fed on canola meal-based diets. *Iranian journal of fisheries sciences*, 15(2), pp.645-661.

Iqbal, K.J., Ashraf, M., Qureshi, N.A., Javid, A., Abbas, F., Hafeez-ur-Rehman, M., Rasool, F., Khan, N. and Abbas, S., 2015. Optimizing growth potential of Labeo rohita fingerlings fed on different plant origin feeds. *Pakistan journal of zoology*, 47(1).

Izquierdo, M.S., Montero, D., Robaina, L., Caballero, M.J., Rosenlund, G. and Ginés, R., 2005. Alterations in fillet fatty acid profile and flesh quality in gilthead seabream (Sparus aurata) fed vegetable oils for a long term period. Recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding. *Aquaculture*, 250(1-2), pp.431-444.

Jiang, J., Shi, D., Zhou, X.Q., Feng, L., Liu, Y., Jiang, W.D., Wu, P., Tang, L., Wang, Y. and Zhao, Y., 2016. Effects of lysine and methionine supplementation on growth, body composition and digestive function of grass carp (C tenopharyngodon idella) fed plant protein diets using high-level canola meal. *Aquaculture nutrition*, 22(5), pp.1126-1133.

Karayücel, İ. and Dernekbaşi, S., 2010. Effect of dietary canola oil level on growth, feed utilization, and body composition of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss L.). *Israeli journal of aquaculture Bamidgeh*, 62(3), pp.155-162.

Lanari, D. and D'Agaro, E., 2005. Alternative plant protein sources in sea bass diets. *Italian journal of animal science*, 4(4), pp.365-374.

Lim, C., Beames, R.M., Eales, J.G., Prendergast, A.F., McLeese, J.M., Shearer, K.D. and Higgs, D.A., 1997. Nutritive values of low and high fibre canola meals for shrimp (Penaeus vannamei). *Aquaculture nutrition*, 3(4), pp.269-279.

Lim, C., Klesius, P.H. and Higgs, D.A., 1998. Substitution of canola meal for soybean meal in diets for channel catfish Ictalurus punctatus. *Journal of the world aquaculture society*, 29(2), pp.161-168.

Luo, Z., Liu, C.X. and Wen, H., 2012. Effect 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 fresh water. *Journal of the world aquaculture society*, 43(5), pp.670-678.

Mejicanos, G., Sanjayan, N., Kim, I.H. and Nyachoti, C.M., 2016. Recent advances in canola meal utilization in swine nutrition. *Journal of animal science and technology*, 58(1), pp.7-20

Mohammadi, M., Sarsangi H., Mashaei, N., Rajabipour, F. and , Bitarat, A., 2016. Canola substitution in nile tilapia Oreochromis niloticus Diets. *Journal of cell science and therapy* 7,pp. 256-260.

Mwachireya, S.A., Beames, R.M., Higgs, D.A. and Dosanjh, B.S., 2000. 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 fresh water. *Aquaculture nutrition*, 5. Pp73-82.

Ngo, D.T., Pirozzi, I. and Glencross, B., 2015. Digestibility of canola meals in barramundi (Asian seabass; Lates calcarifer). *Aquaculture*, 435, pp.442-449.

Ngo, D.T., Wade, N.M., Pirozzi, I. and Glencross, B.D., 2016. Effects of canola meal on growth, feed utilisation, plasma biochemistry, histology of digestive organs and hepatic gene expression of barramundi (Asian seabass; Lates calcarifer). *Aquaculture*, 464, pp.95-105.

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

Parveen, S., Ahmed, I., Mateen, A., Hameed, M. and Rasool, F., 2012. Substitution of animal protein with plant protein fed to Labeo rohita and Cirrhinus mrigala and its effect on growth and carcass composition. *Pakistan journall of agricultural research*, 49(4), pp.569-575.

Rodrigues Olim, C.P. 2012. Apparent digestibility coefficient of feed ingredients for juvenile meagre(Argyrosomus regius, Asso 1801) M. Sc. Thesis, University of Porto.

Safari, O., Shahsavani, D., Paolucci, M. and Atash, M.M.S., 2014. Screening of selected feedstuffs by sub-adult narrow clawed crayfish, Astacus leptodactylus leptodactylus Eschscholtz, 1823. *Aquaculture*, 420, pp.211-218.

Satoh, S., Higgs, D.A., Dosanjh, B.S., Hardy, R.W., Eales, J.G., Deacon, G., 1998. Effect of extrusion processing on the nutritive value of canola meal for chinook salmon (Oncorhynchus tshawytscha) in seawater. *Aquaculture nutrition*. 4,pp. 115–122

Shi, X., Chen, F., Chen, G.H., Pan, Y.X., Zhu, X.M., Liu, X. and Luo, Z., 2017. Fishmeal can be totally replaced by a mixture of rapeseed meal and chlorella meal in diets for crucian carp (Carassius auratus gibelio). *Aquaculture research*, 48(11), pp.5481-5489.

Soares, C.M., Hayashi, C., Faria, A.C.E.A. and Furuya, W.M., 2001. Substituição da proteína do farelo de soja pela proteína do farelo de canola em dietas para a tilápia do Nilo (Oreochromis niloticus) na fase de crescimento. *Revista Brasileira de zootecnia*, 30(4), pp.1172-1177.

Soares, C.M., Hayashi, C., Furuya, V.R.B., Furuya, W.M. and Galdioli, E.M., 2000. Substituição parcial e total da proteína do farelo de soja pela proteína do farelo de canola na alimentação de alevinos de piavuçu (Leporinus macrocephalus, L.). *Revista Brasileira de zootecnia*, 29(1), pp.15-22.

Tibbetts, S.M., Lall, S.P. and Milley, J.E., 2004. Apparent digestibility of common feed ingredients by juvenile haddock, Melanogrammus aeglefinus L. *Aquaculture research*, 35(7), pp.643-651.

Tibbetts, S.M., Milley, J.E. and Lall, S.P., 2006. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, Gadus morhua (Linnaeus, 1758). *Aquaculture*, 261(4), pp.1314-1327.

Thiessen, D.L., Campbell, G.L. and Adelizi, P.D., 2003. Digestibility and growth performance of juvenile rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fed with pea and canola products. *Aquaculture nutrition*, 9(2), pp.67-75.

Turchini, G.M., Moretti, V.M., Hermon, K., Caprino, F., Busetto, M.L., Bellagamba, F., Rankin, T., Keast, R.S.J. and Francis, D.S., 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 chemistry*, 141(2), pp.1335-1344.

Umer, K. and Ali, M., 2009. Replacement of fishmeal with blend of canola meal and corn gluten meal, and an attempt to find alternate source of milk fat for rohu (Labeo rohita). *Pakistan journal of zoology*, 41(6).

Umer, K., Ali, M., Iqbal, R., Latif, A., Naeem, M., Qadir, S., Latif, M., Shaikh, R.S. and Iqbal, F., 2011. Effect of various nutrient combinations on growth and body composition of rohu (Labeo rohita). *African journal of biotechnology*, 10(62), pp.13605-13609.

Vandenberg, G.W., Scott, S.L., Sarker, P.K., Dallaire, V. and De la Noüe, J., 2011. Encapsulation of microbial phytase: Effects on phosphorus bioavailability in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). *Animal feed science and technology*, 169(3-4), pp.230-243.

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.

Veiverberg, C.A., Radünz, N., Emanuelli, T., Ferreira, C.C., Maschke, F.S. and dos Santos, A.M., 2010. Feeding grass carp juveniles with plant-protein diets and forage. *Acta scientiarum-Animal sciences*, 32(3), pp.247-253.

Viegas, E.M.M., Carneiro, D.J., Urbinati, E.C. and Malheiros, E.B., 2008. Canola meal in the diets of pacu Piaractus mesopotamicus (Holmberg 1887): effects on growth and body composition. *Arquivo Brasileiro de medicina veterinária e zootecnia*, 60(6), pp.1502-1510.

Webster, C.D., Thompson, K.R., Morgan, A.M., Grisby, E.J. and Gannam, A.L., 2000. Use of hempseed meal, poultry by-product meal, and canola meal in practical diets without fish meal for sunshine bass (Morone chrysops× M. saxatilis). *Aquaculture*, 188(3-4), pp.299-309.

Wu, X.Y., Liu, Y.J., Tian, L.X., Mai, K.S. and Yang, H.J., 2006. Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for yellowfin seabream, Sparus latus. *Journal of the world aquaculture society*, 37(3), pp.237-245.

Yigit, N.O., Koca, S.B., Bayrak, H., Dulluc, A. and Diler, I., 2012. Effects of canola meal on growth and digestion of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fry. *Turkish journal of veterinary and animal sciences*, 36(5), pp.533-538.

Yigit, N.O. and Keser, E., 2016. Effect of cellulase, phytase and pectinase supplementation on growth performance and nutrient digestibility of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss, Walbaum 1792) fry fed diets containing canola meal. *Journal of applied ichthyology*, 32(5), pp.938-942.

Yigit, N.O. and Olmez, M., 2009. Canola meal as an alternative protein source in diets for fry of tilapia (Oreochromis niloticus). *The Israeli journal of aquaculture - Bamidgeh*, 61(1), 35-41.

Zhou, Q.L., Habte-Tsion, H.M., Ge, X., Xie, J., Ren, M., Liu, B., Miao, L. and Pan, L., 2018. Graded replacing fishmeal with canola meal in diets affects growth and target of rapamycin pathway gene expression of juvenile blunt snout bream, Megalobrama amblycephala. *Aquaculture nutrition*, 24(1), pp.300-309.

Zhou, Q.C., Tan, B.P., Mai, K.S. and Liu, Y.J., 2004. Apparent digestibility of selected feed ingredients for juvenile cobia Rachycentron canadum. *Aquaculture*, 241(1-4), pp.441-451.

Zhou, Q.C. and Yue, Y.R., 2010. Effect of replacing soybean meal with canola meal on growth, feed utilization and haematological indices of juvenile hybrid tilapia, Oreochromis niloticus× Oreochromis aureus. *Aquaculture research*, 41(7), pp.982-990.

Agradecimiento

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

Dr. Essi Evans, E+E Technical Advisory Services

Brittany Dyck, Canola Council of Canada

Gabriel Valentini, Canola Council of Canada

Funded by:

CANADIAN AGRICULTURAL PARTNERSHIP
Canada
canolacouncil OF CANADA
ALBERTA CANOLA
SaskCanola
Manitoba Canola Growers

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