

GUÍA PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS ANIMALES – 7ª EDICIÓN, 2024



GUÍA DE ALIMENTACIÓN DE LA HARINA DE CANOLA





INFORMACIÓN



RUMIANTES



CERDOS



AVES



ACUACULTURA



HARINA DE CANOLA

Esta guía técnica sobre el uso de harina de canola en alimentos para animales es la última de una serie de publicaciones producidas por el Canola Council de Canadá. Esta Guía de alimentación con harina de canola se actualiza cada cierto número de años para incorporar nueva información e investigaciones sobre la utilización de la harina de canola, así como avances en la tecnología de análisis de alimentos. Desde la edición anterior en 2019, se ha realizado una cantidad considerable de investigaciones adicionales sobre la alimentación con harina de canola en muchas especies animales diferentes y en una variedad alrededor del mundo.

La nueva información y los cambios en esta última versión de la guía incluyen:

- Perfiles de nutrientes y valores de digestibilidad actualizados para la harina de canola extraída con solventes y con expeller para todas las especies.
- Hallazgos sobre el uso de harina de canola para la lactancia temprana, utilizando harina de canola para apoyar la producción de leche durante todo el ciclo de lactancia.
- Información actualizada sobre una variedad más amplia de especies acuícolas.
- Resultados de estudios que muestran la capacidad de la harina de canola para favorecer la salud intestinal.
- La contribución de la harina de canola a la sostenibilidad.

Puede encontrar una copia de esta publicación en el sitio web canolacouncil.org del Canola Council of Canada, así como en canolamazing.com.

Tabla de contenido

CAP. 1 – HARINA DE CANOLA: UNA INTRODUCCIÓN BÁSICA.....	2
CAP. 2 – COMPOSICIÓN NUTRITIVA DE LA HARINA DE CANOLA.....	6
CAP. 3 – HARINA DE CANOLA PARA RUMIANTES.....	13
CAP. 4 – HARINA DE CANOLA PARA CERDOS.....	36
CAP. 5 – HARINA DE CANOLA PARA AVES.....	52
CAP. 6 – HARINA DE CANOLA PARA LA ACUICULTURA.....	65
REFERENCIAS.....	80

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 Wood, Canola Council of Canada
- Caroline Traweger, Canola Council of Canada

CAP. 1 – HARINA DE CANOLA: UNA INTRODUCCIÓN BÁSICA

La canola es uno de los cultivos más importantes de Canadá, y es la segunda harina vegetal 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 entre 18 y 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 co-producto 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 un descendiente de la colza (*Brassica napus* y *Brassica campestris/rapa*), que se obtuvo mediante técnicas tradicionales de fitomejoramiento para tener bajos niveles de antinutrientes, específicamente ácido erúxico (<2%) en la porción de aceite y bajos niveles de glucosinolatos. (< 30 µmol/g) en la porción de alimento. La casi eliminación de los glucosinolatos de la canola da como resultado una harina muy apetecible para el ganado. Algunos países europeos utilizan el término “colza doble cero” (bajo en ácido erúxico, bajo en glucosinolatos) para caracterizar la semilla, el aceite y la harina de “calidad de canola” modificados.

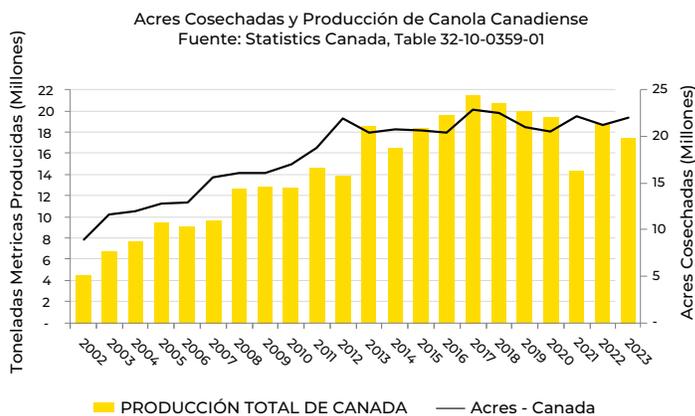
PRODUCCIÓN Y MERCADOS

La producción de canola en Canadá ha aumentado constantemente y actualmente asciende aproximadamente entre 18 y 20 millones de toneladas métricas de semillas de canola por año. La industria canadiense de la canola apunta a aumentar el rendimiento hasta alcanzar los 26 millones de toneladas métricas de producción por año, en respuesta a la creciente demanda mundial. El plan se centra en aumentar los rendimientos de

manera sostenible, al mismo tiempo que se fomenta la comprensión del consumidor sobre el valor de la canola y se logran relaciones comerciales estables y abiertas. Como muestra la Figura 1, la producción de canola ha aumentado constantemente durante las últimas dos décadas.

La demanda mundial de aceite y harina de canola continúa creciendo, lo que estimula inversiones en nueva capacidad de procesamiento en Canadá. De 2021 a 2023, hubo cinco anuncios importantes para agregar 6.7 MTM de capacidad de procesamiento en los próximos años, lo que representa un aumento del 60% con respecto a la capacidad actual de 11.1 MTM. Esta expansión dará como resultado harina de canola adicional disponible para exportar desde Canadá a países como Estados Unidos, China, México y la región del Indo-Pacífico. Aproximadamente la mitad de la semilla de canola de Canadá se exporta y la otra mitad se procesa en Canadá (Cuadro 1). La mayoría de los países que importan semillas de canola lo hacen principalmente por el aceite, que es el componente más valioso. La semilla se procesa y la harina de canola resultante se utiliza para la industria de alimentación animal en estos países. La harina de canola está ampliamente disponible y comercializada, generalmente se vende a granel en forma de harina o gránulos.

Figura 1. Producción Total y Acres cosechados de Canola desde 2002 al 2023



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's toneladas métricas)¹.

	-----AÑO CALENDARIO-----			
	2019/2020	2020/2021	2021/2022	2022/2023
Producción total de semilla	19,912	19,485	13,757	18,174
Exportación total de semilla	10,038	10,585	5,248	7,944
China	1,926	2,714	1,265	4,608
Japón	2,140	2,323	1,383	1,101
México	1,154	1,374	1,035	1,208
Emiratos Árabes Unidos	989	997	307	169
Pakistán	691	660	64	267
Unión Europea	2,177	1,751	625	215
Estados Unidos	495	429	537	320
Otros países	467	337	33	56
Procesamiento doméstico de semilla	10,129	10,425	8,555	9,961
Uso doméstico de harina	737	625	649	528
Exportación total de harina	4,904	5,261	4,516	5,311
Estados Unidos	3,466	3,581	2,920	3,484
China	1,417	1,577	1,587	1,819
Otros	21	103	9	8

¹Statistics Canada.

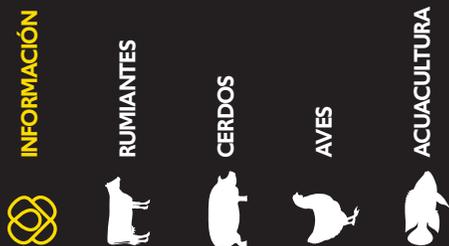


Tabla 2. Reglas de comercio para la harina de canola establecidas por la Asociación Canadiense de Procesadores de Semilla Oleaginosas (COPA)¹.

CARACTERÍSTICAS (COMO ALIMENTO)	CANADA Y U.S.	EXPORTACIÓN
Proteína, % mínimo	36 minimum	36 minimum
Grasa (aceite) (típico), por solvente, % de la masa	2 minimum	2 minimum
Grasa (aceite) (típico), prensado expeller, % de la masa	10 minimum	10 minimum
Humedad, % de la masa	12 maximum	12 maximum
Fibra cruda, % de la masa	12 maximum	12 maximum
Arena y/o sílica, % de la masa	–	1 maximum

¹COPA (Canadian Oilseed Processors Association, 2020).

MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE HARINA

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
- Pre acondicionamiento y descamación de semilla.
- Cocción de la semilla
- Prensado de la semilla (expeller) para remover mecánicamente una porción del aceite.
- Lavado de la torta prensada con solvente para extraer el resto del aceite.
- Desolventización y tostado de la harina.
- Secado y enfriamiento de la harina.

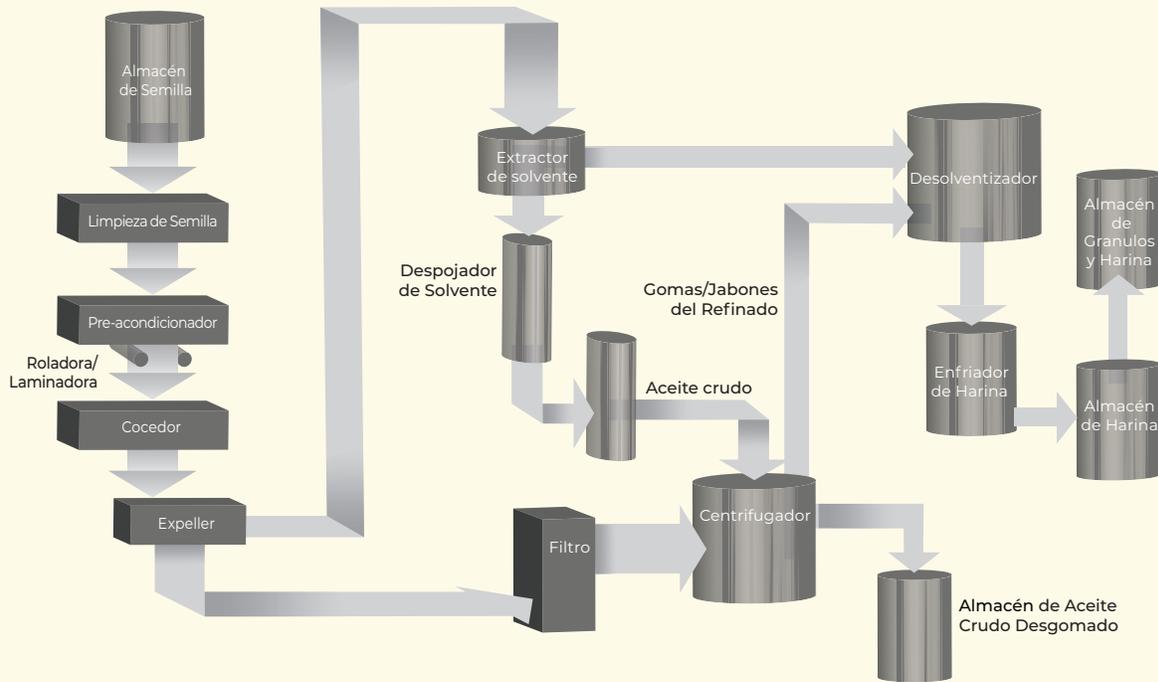
Una pequeña proporción de la semilla de canola canadiense se procesa mediante el procesamiento de expeller, también denominado doble prensado. La semilla pasa por el expeller dos veces para extraer aceite en lugar de usar solvente para extraer el aceite residual. Hasta el punto de extracción con solvente, 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/pasta resultante tiene un mayor contenido de aceite, que puede variar de 8 a 11%.

EFFECTOS DEL PROCESAMIENTO EN LA CALIDAD DE LA HARINA

La calidad de la harina se puede aumentar y disminuir alterando las condiciones de procesamiento en la planta. Se necesitan temperaturas mínimas de procesamiento para desactivar la enzima mirosinasa, que, 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 disminuirá. 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 alta variación en la temperatura del proceso, puede producir una harina de calidad variada.

Figura 2. Proceso esquemático de la extracción por solvente.



CAP. 2 – COMPOSICIÓN NUTRITIVA DE LA HARINA DE CANOLA

COMPOSICIÓN NUTRITIVA DE LA HARINA EXTRAIDA CON SOLVENTE

Origen y Análisis Químico

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 la estación de su 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 indica en la Tabla 1. Estos resultados se basan en una extensa encuesta de 13 plantas de procesamiento, realizada durante un período de siete años.

Tabla 1. Composición de la harina de canola extraída con solvente determinada a partir de un análisis de 7 años Estudio de 13 plantas procesadoras canadienses¹.

COMPONENTE	EN BASE A 12% DE HUMEDAD	EN BASE A MATERIA SECA
Humedad, %	12.00	0.00
Proteína cruda (N x 6.25), %	36.90	42.00
Proteína de escape ruminal, % de proteína (Método NRC) 2	43.50	43.50
Proteína de escape ruminal, % of proteína (Método CNCPS) 3	53.00	53.00
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

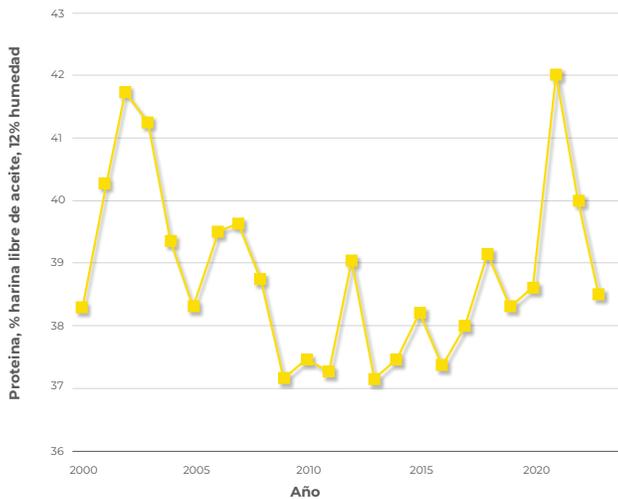
COMPONENTE	EN BASE A 12% DE HUMEDAD	EN BASE A MATERIA SECA
Fósforo, %	1.03	1.17
Fibra total de la dieta %	33.60	38.20
Fibra detergente ácida, %	16.30	18.60
Fibra detergente neutra, %	25.50	29.00
Sinapina, %	0.88	1.00
Ácido fítico, %	2.02	2.30
Glucosinolatos, µmol/g	3.14	3.57

¹ Radfar et al., 2017; ² Broderick et al., 2016; ³ Ross et al., 2013.

Proteína y Aminoácidos

Para fines comerciales, el valor mínimo de proteína cruda de la harina de canola extraída con solventes es del 36 %, sobre una base de 12 % de humedad. Si bien la garantía mínima de proteína cruda para la harina de canola canadiense es del 36% (12% de humedad), el contenido real de proteína generalmente oscila entre el 37 y el 40%. El mínimo permite una variación anual en la composición de las semillas de canola debido a las condiciones de crecimiento. La influencia de las condiciones climáticas y del suelo en el contenido de proteínas de la harina de canola canadiense de 2000 a 2023 se indica en la Figura 1. Como se aprecia en el gráfico, el contenido de proteínas de la harina de canola varía entre aproximadamente 37% y 42% cuando se calcula en una base sin aceite, 12% de humedad.

Figura 1. Contenido de proteína de la harina de canola de 2000 a 2023. Valores de proteína calculados sin aceite y con un 12 % de humedad (Comisión Canadiense de Granos, <https://grainscanada.gc.ca/en/grain-research/grain-harvest-export-quality/canola/2023/>).



El perfil de aminoácidos de la harina de canola es muy adecuado para la alimentación animal (Tabla 2). Como muchas fuentes de proteína vegetal, la harina de canola tiene un contenido limitado de lisina, pero se caracteriza por tener altos niveles de metionina y cisteína. Los valores del perfil de aminoácidos en la Tabla 2 se corrigieron a una base de proteína del 36% y, por lo tanto, es probable que sean más bajos que los reales. El contenido de aminoácidos varía con el contenido de proteínas y se puede calcular multiplicando el contenido de proteína cruda de la harina por la proporción de aminoácidos como porcentaje de proteína.

Tabla 2. Composición de aminoácidos de la harina de canola en base de 36% de proteína^{1,2}.

AMINOÁCIDO	% DE LA HARINA	% DE LA PROTEÍNA 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+ cisteína	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
Valine	1.61	4.46

¹ Radfar et al., 2017; ² Evonik AminoDat 6.2, 2021.

Contenido de Grasa

El contenido de extracto etéreo de la harina de canola canadiense tiende a ser relativamente alto, del 3.2% (Tabla 1), en comparación con el 1-2% de las harinas de canola y colza producidas en la mayoría de los demás países. En Canadá, es una práctica general incluir glicolípidos y fosfolípidos de canola en la harina durante el refinado del aceite. Asimismo, la harina de canola puede contener además entre 1% y un 2% de los ácidos grasos libres que se derivan del refinado del aceite de canola. Estos componentes aumentan el valor energético de la harina y ayudan a reducir la formación de polvo.

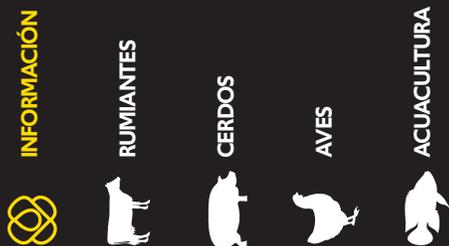


Tabla 3. Composición de ácidos grasos del aceite de canola¹.

ÁCIDO GRASO	% DE ÁCIDO GRASOS TOTALES
C16:0 Ácido palmítico	4.5
C16:1 Ácido palmítoleico	0.2
C18:0 Ácido esteárico	2.4
C18:1 Ácido oleico	64.5
C18:2 Ácido linoleico (omega-6)	17.7
C18:3 Ácido linolénico (omega-3)	8.6
C22:1 Ácido erúcico	<0.1
Total Saturados	7.8
Total Monoinsaturados	65.4
Total Poliinsaturados	26.3

¹Ghazani and Marangoni, 2013.

La Tabla 3 proporciona el análisis completo de ácidos grasos para el aceite de canola. Como muestra la tabla, este aceite contiene sólo una pequeña cantidad de ácidos grasos saturados y una alta concentración de ácido oleico. La harina de canola proporciona una proporción de 2:1 de ácidos grasos omega-6 y omega-3 y es una buena fuente de ácidos grasos omega-3. El aceite de canola se utiliza a veces 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 mayor que el de algunas proteínas vegetales, ya que la cáscara no se puede quitar fácilmente de la semilla. Gran parte de la fibra se encuentra en forma de fibra detergente ácida (FDA), con niveles de fibra detergente neutra (FDN) aproximadamente un 10% más altos que los de la FDA. El componente no fibroso es rico en azúcar, que se proporciona principalmente en forma de sacarosa (Tabla 4).

Table 4. Componentes de carbohidratos y fibra de la harina de canola^{1,2,3}.

FRACCIÓN DE CARBOHIDRATOS	BASE DE 12% DE HUMEDAD	BASE DE MATERIA SECA
Monosacáridos (Fructuosa y Glucosa), %	1.55	1.76
Disacáridos (sucrosa), %	5.58	6.34
Oligosacáridos, %	2.23	2.53
Almidón, %	0.43	0.49
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 almidones, %	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 y polifenoles, %	8.68	9.86
Lignina, %	5.82	6.61

¹Adewole et al., 2016; ²Broderick et al., 2016; ³Slominski and Rogiewicz, unpublished.

Minerales

La mayoría de las referencias sobre el contenido mineral de la harina de canola utilizan los valores derivados de Bell y Keith (1991), que fueron reconfirmados en un estudio realizado 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 de proteína vegetal de fósforo, una parte del total se encuentra en forma de fitato.

Tabla 5. Contenido de minerales en la harina de canola^{1,2,3}.

MINERAL	BASE DE 12% DE HUMEDAD	BASE DE 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	4.70	5.30
Hierro, mg/kg	162.00	184.00
Manganeso, mg/kg	58.00	66.00
Molibdeno, mg/kg	1.40	1.60
Zinc, mg/kg	47.00	53.00
Selenio, mg/kg	1.10	1.30

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

Vitaminas

La información sobre el contenido de vitaminas de la harina de canola es muy limitada y los valores proporcionados en la Tabla 6 se promediaron de cuatro fuentes (Wickramasuriya et al., 2015). La harina de canola es rica en colina, biotina, ácido fólico, niacina, riboflavina y tiamina (NRC 2012). 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 en su lugar utilizar premezclas de vitaminas suplementarias.

Tabla 6. Contenido vitamínico de harina de canola¹.

VITAMINA	BASE DE 12% DE HUMEDAD	BASE DE MATERIA SECA
Biotina, mg/kg	1.08	1.22
Colina, g/kg	6.7	7.6
Ácido fólico, mg/kg	1.55	1.76
Niacina, mg/kg	160	182
Ácido pantoténico, mg/kg	9.4	10.6
Piridoxina, mg/kg	7.10	8.10
Riboflavina, mg/kg	5.80	6.5
Tiamina, mg/kg	5.20	5.9
Vitamina E, mg/kg	18.5	21.0

¹ Wickramasuriya et al., 2015.

Factores antinutricionales

La harina de colza, la madre de la harina de canola, se reconoce como un ingrediente que puede necesitar ser limitado en las dietas para el ganado y los peces debido a ciertos factores antinutricionales, principalmente los glucosinolatos. Estos factores se han reducido en la harina de canola canadiense a niveles que no representan una amenaza para el rendimiento y la alimentación de la mayoría de las especies.

Glucosinolatos

Los glucosinolatos son un gran grupo de metabolitos vegetales 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 del animal. Los glucosinolatos de canola se componen de dos tipos principales, glucosinolatos alifáticos e indolilo (o indol). Los glucosinolatos alifáticos constituyen aproximadamente el 85% de los glucosinolatos presentes en la harina de canola, mientras que los glucosinolatos de indolilo representan el otro 15% (Adewole et al., 2016). El bajo contenido de glucosinolatos de la canola, en comparación con cultivares anteriores de colza, constituye la principal mejora de la calidad de la harina lograda por los fitomejoradores.



El contenido total promedio de glucosinolato de la harina de canola canadiense, basado en datos de siete años, es de 3.6 $\mu\text{mol/g}$ (Slominski y Rogiewicz, no publicado). En comparación, la harina de colza tradicional contiene niveles tan altos como 120 $\mu\text{mol/g}$ de glucosinolatos totales. La razón por la que los glucosinolatos se expresan en términos moleculares ($\mu\text{mol/g}$) en lugar de 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 sobre el animal se produce a nivel molecular, la estimación más precisa de este efecto debe medirse expresando la concentración de glucosinolato sobre una base molecular.

Según los datos más recientes proporcionados por la Comisión Canadiense de Granos (2023) (<https://www.graincanada.gc.ca/en/grain-research/export-quality/oilseeds/canola/2021/08-glucosinolate.html>) el contenido de compuestos de glucosinolatos en las semillas de canola es bajo y no ha cambiado notablemente desde el 2000. El nivel de glucosinolatos en las semillas de canola canadienses antes del procesamiento tiene un promedio de alrededor de 10 $\mu\text{mol/g}$. Luego, el contenido de glucosinolato se concentra en la harina; después de esto, los glucosinolatos se reducen durante el procesamiento a valores promedio de 3.6 $\mu\text{mol/g}$.

Ácido erúcico

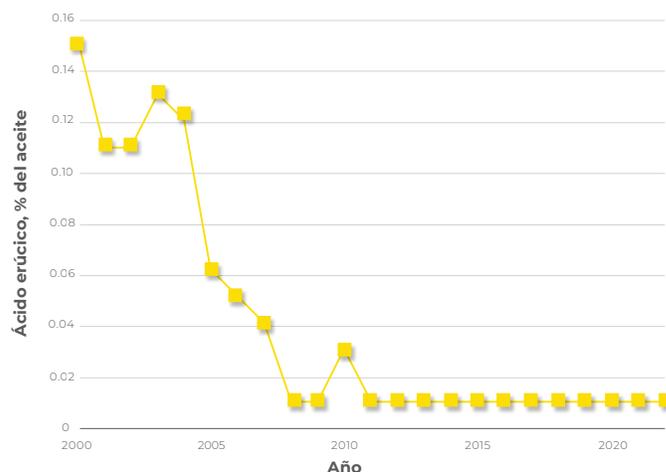
El consumo de este ácido graso se ha asociado con lesiones miocárdicas. Sin embargo, los fitomejoradores canadienses redujeron con éxito la cantidad de ácido erúcico en el aceite de canola a niveles muy cercanos a cero (Figura 2). El ácido erúcico ya no se considera un problema ni para la harina ni para el aceite.

Taninos

Los taninos están presentes en la harina de canola en un rango de 1,5 a 3,0%, y las variedades de semillas marrones tienen niveles más altos que las variedades de semillas amarillas. Los taninos de la harina de canola están asociados con la cáscara y son

principalmente insolubles. Estos taninos no parecen tener los mismos efectos negativos sobre la palatabilidad y la digestibilidad de las proteínas que tienen en otras plantas comestibles (Khajali y Slominski, 2012).

Figura 2. Niveles de ácido erúcico en el aceite de canola de 2000 a 2022. (<https://www.graincanada.gc.ca/en/grain-research/export-quality/oilseeds/canola/2021/10-fatty-acid-composition.html>).



COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA HARINA DE CANOLA EXPELLER

Varios términos se usan indistintamente para diferenciar las harinas extraídas con solvente frente a las extraídas con expeller. Los términos comúnmente utilizados para describir la harina incluyen harina de expeller, harina de doble prensado y torta prensada. Actualmente en Canadá, un pequeño porcentaje de semillas se procesa utilizando el método de expeller. Las plantas de semillas oleaginosas más pequeñas, así como las asociadas con algunas plantas de biodiesel, utilizan el procesamiento de la expeller de doble prensado en lugar de la extracción con solvente. Dado 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 comida es similar al de la harina de canola, excepto que contiene entre un 8% y

un 12% de grasa y, por lo tanto, tiene valores energéticos mucho más altos. La composición nutricional de la harina expeller se proporciona en la Tabla 7. El contenido de grasa puede variar ampliamente, por lo que es importante analizar la grasa de la harina expeller y ajustar el valor energético en consecuencia. Los niveles altos de grasa también diluirán otros nutrientes en la comida resultante, en comparación con la harina de canola extraída con solventes.

Table 7. Composición típica de harina de canola expeller¹.

COMPONENTES	BASE DE 12% DE HUMEDAD	BASE DE MATERIA SECA
Humedad (medida), %	4.02	0.00
Proteína cruda (N x 6.25), %	34.28	38.95
Proteína de escape ruminal, % de proteína (método de NRC) ²	48.50	48.50
Proteína de escape ruminal, % de proteína (método de CNCPS) ³	59.10	59.10
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 ácida, %	16.72	19.00
Fibra detergente neutra, %	26.83	30.49
Glucosinolatos, µmol/g	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

¹Adewole et al., 2016; ²Broderick et al., 2016; ³Ross et al., 2013.

COMPOSICIÓN NUTRIENTES 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 de las semillas de canola se pueden calcular a partir de los valores de nutrientes de 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 forma fiable sumando los valores energéticos del aceite y la harina de canola. Para los cerdos y las aves de corral, la semilla tiene menos energía que la suma de sus componentes de aceite y harina. Es probable que esto se deba a que la semilla de canola entera no se procesa en el mismo grado que el aceite y la harina de canola; y por tanto, no es tan bien digerida. El tratamiento térmico y la reducción del tamaño de las partículas de la semilla de canola mediante micronización, extrusión o expansión se utilizan a menudo para aumentar su digestibilidad energética.

Tabla 8. Composición química de la semilla de canola (base de 12% de humedad).

Componentes	REFERENCIAS			
	Feedipedia, 2018	Assadi et al., 2011	Montoya y Leterme, 2008	Dairy One, 2023
Humedad, %	6.8	5.0	5.7	5.8
Proteína cruda, %	18.4	20.0	20.7	21.5
Extracto etéreo, %	40.5	43.8	38.6	34.5
Ácido linoleico, %	8.3	8.5	7.9	–
Ácido linolénico, %	4.1	4.2	3.9	–
Ceniza, %	3.8	3.7	4.1	4.7
Fibra cruda, %	8.9	–	–	8.9
FDA, %	12.7	–	10.6	15.9
FDN, %	17.9	16.6	12.9	22.5
Calcium, %	0.43	–	–	0.39
Phosphorus, %	0.64	–	–	0.65

CAP. 3 – HARINA DE CANOLA PARA RUMIANTES

La harina de canola se utiliza ampliamente en las dietas del ganado lechero y de carne. Se considera un ingrediente premium tanto para animales lácteos como para carne, así como para pequeños rumiantes, debido a la calidad excepcionalmente alta de la proteína para apoyar la producción de leche y el crecimiento.



Inclusión Práctica de Niveles de Canola en Dietas para Rumiantes

TIPO DE DIETA	NIVEL DE INCLUSIÓN
Iniciador pre-destete	20% sin aromatizantes
Iniciador pre-destete	Hasta 35% con aromatizantes
Transición al destete	Sin límite
Desarrollo y crecimiento de novillas	Sin límite
Vacas en transición láctea	Sin límite
Vacas en lactación	Sin límite
G. de carne estabulado en crecimiento (corral seco)	Sin límite
Ganado de carne en finalización	Sin límite
Cabras lactantes	Sin límite
Corderos y crías en crecimiento	Sin límite

VACAS LECHERAS

Uso de la Harina de Canola

En una encuesta anónima de 2021 realizada por la agencia de marketing Broadhead y ejecutada por Farm Journal en nombre del Canola Council of Canada, la principal preocupación expresada por los nutricionistas con respecto a la formulación del alimento fue garantizar la rentabilidad. La segunda mayor preocupación fue la sostenibilidad ambiental.

La harina de canola se ha convertido en un ingrediente común en la alimentación de las vacas lecheras. A los nutricionistas les resulta fácil equilibrar las dietas en cuanto a aminoácidos y reducir el uso de proteínas cuando hay harina de canola presente. Investigaciones recientes demuestran que la harina y el aceite de canola reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) cuando se alimentan a vacas lecheras, en comparación con la alimentación con otras proteínas vegetales.

Harina de Canola y Rentabilidad

Si bien no se mide con frecuencia en ensayos universitarios, varios ensayos de campo han demostrado que la harina de canola puede ayudar a mejorar la rentabilidad. Un ensayo realizado en Wisconsin con 1295 vacas en mitad de la lactancia mostró una mejora significativa en los ingresos con respecto a los costos de alimentación (Faldet, 2018). La ración, formulada para contener 3.4 kg de materia seca de harina de canola/vaca/día, redujo los costos de la ración y aumentó la producción de leche.

En un estudio de lactancia temprana realizado en California con 566 vacas que tenían entre tres y 23 semanas de lactancia, la harina de canola generó una mayor producción de leche a un menor costo del alimento (Swanepoel et al., 2020). En esta prueba de alimentación, la dieta de control contenía canola, la principal proteína vegetal utilizada en California. Para las dos dietas de prueba, la mitad de la proteína añadida provino de harina de soya como reemplazo de la harina de canola. Una de las dietas de harina de soya también contenía metionina añadida (Tabla 2).

Tabla 1. Resultados para vacas en el estudio de campo de Wisconsin.

PARÁMETROS	PERIODO DE CONTROL	PERIODO DE PRUEBA
Número de vacas	1,295	1,295
Costo de la ración /día, \$	6.25	6.22
Leche, kg	41.91	43.95
Grasa,%	3.86	3.92
Proteína, %	3.19	3.29
Grasa, kg	1.67	1.79
Proteína, kg	1.43	1.49
3.5% LCG, kg	46.32	49.45
LCE, kg	46.41	49.27

La Tabla 2 muestra que la sustitución de parte de la harina de canola por harina de soya resultó en una pérdida de producción, incluso con niveles elevados de metionina protegida en el rumen. No hubo diferencias en la tasa de sacrificio involuntario o

eventos de salud. El costo de la ración diaria en el momento en que se realizó el ensayo era de aproximadamente 0.05 dólares estadounidenses y 0.08 dólares estadounidenses por vaca/día menos costoso para el tratamiento con harina de canola en comparación con los tratamientos que contenían harina de soya o harina de soya con metionina añadida.

Tabla 2. Resultados en granja de las vacas que participaron en el estudio en California.

Elemento	DIETA		
	Harina de canola	Harina de soya	Harina de soya + metionina
Harina de canola, % de MS ¹	14.3	6.6	6.6
Harina de soya, % de MS ¹	0	6.6	6.6
Leche, kg	51.31	49.55	49.93
Grasa, kg	1.78	1.71	1.75
Proteína, kg	1.45	1.38	1.44
Consumo de MS, kg	28.5	28.2	28.3
Concepción al 1er servicio, %	48.9	44.7	48.5
Concepción al 1st + 2nd servicio, %	68.9	64.2	67.4

¹El costo de la harina de canola fue de \$US 405/ton, y el costo de la harina de soya fue de \$US 496/ton, equivalente a \$US 440 y \$US 550/tonelada métrica, respectivamente.

Uso de Harina de Canola para Reducir las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Se ha demostrado repetidamente que la harina de canola contribuye a reducir las emisiones de metano en vacas lecheras lactantes Holstein. Puede proporcionar una forma económica de reducir la producción de metano entérico y óxido nitroso, los dos gases de efecto invernadero de mayor importancia en la producción ganadera.

La producción entérica de metano se puede expresar de varias maneras. El primero es cantidad/animal/día. Esto está influenciado por el tamaño (Jersey versus Holstein como ejemplo), la madurez del animal y el

nivel de producción de leche. Otra medida utilizada es el metano/unidad de alimento consumido. Esta métrica es útil para analizar la porción de la energía bruta total que se pierde en condiciones definidas. Se le conoce como producción de metano. La intensidad del metano es una medida de la producción de metano/unidad de carne o leche producida.

La Tabla 3 proporciona resultados de estudios recientes en los que se utilizó harina de canola para reemplazar la harina de soya como fuente de proteína en raciones experimentales. Sólo hubo un ensayo disponible con vacas Jersey. La inclusión de un 10.1 % de harina de canola en ese estudio no redujo la producción de metano, según se determinó mediante el método de calorimetría indirecta (Reynolds et al., 2019). Los resultados mostraron que, en promedio, la leche con corrección energética (LCE) aumentó en 1.0 kg/vaca/día, mientras que el metano se redujo en un 5.0, 7.5 y 8.6% cuando se expresa como gramos/día, rendimiento o intensidad, respectivamente.

Muchos factores influyen en el grado en que se reduce la producción de metano entérico mediante la inclusión de harina de canola en la dieta. Algunos ejemplos son las fuentes de forraje y la relación forraje-concentrado. El nivel de inclusión de harina de canola también parece ser un factor. En un experimento reciente (Benchaar et al., 2021), las vacas recibieron dietas con un 16 % de proteína cruda que variaban entre 0 y 24 % de harina de canola. Como muestra la Tabla 4, la producción de metano se redujo a medida que aumentó el nivel de inclusión.

Hay menos información disponible para vacas secas y novillas, pero se pueden obtener algunas inferencias a partir de estudios con ganado vacuno y de ensayos in-vitro. La sustitución de harina de canola por harina de soya en un estudio de crecimiento redujo la producción de metano en un 27% (Elshareef et al., 2020). Asimismo, los resultados de la fermentación in-vitro han demostrado una reducción de la producción de metano en diversas situaciones de alimentación (Paula, et al., 2017; Ramirez-Bribiesca et al., 2018; Soliva et al., 2008).

Tabla 3. Comparación de producción de metano para dietas en que harina de canola reemplaza harina de soya como principal fuente de proteína.

Ref. ²	HARINA ¹			PRODUCCIÓN DE METANO		
	Fuente	% de MS	LCE kg ³	g/día	g/kg CM	g/kg LCE ³
1	SBM	17.0	44.0	489	19.0	11.1
	CM	24.0	46.2	461	16.6	10.0
2	SBM	15.0	29.4	461	24.1	17.8
	CM	20.8	30.7	456	22.5	15.8
3	SBM	10.2	32.0	442	17.6	13.8
	CM	13.0	33.1	404	15.7	12.2
4	SBM	13.6	40.3	414	17.0	10.4
	CM	17.1	41.1	396	15.0	9.5
5	SBM	14.5	55.4	538	20.3	9.7
	CM	19.4	55.4	466	18.0	8.4
6	SBM	13.7	31.0	335	19.1	10.8
	CM	10.1	31.7	360	20.5	11.4

¹SBM = Harina de soya extractada con solvente. CM = Harina de canola extractada con solvente; ²1-Benchaar et al., 2021; 2-Gidlund et al., 2015; 3-Holtshausen et al., 2021; 4-Lage et al., 2021; 5-Moore et al., 2016; 6-Reynolds et al., 2019 ³LCE = Leche corregida por energía

Tabla 4. Relación entre el nivel de inclusión de harina de canola en la dieta y producción de metano según lo determinado en un estudio¹.

Variable	NIVEL DE INCLUSIÓN DE HARINA DE CANOLA, % DE MS			
	0	8	16	24
Producción				
Consumo de materia seca (CMS), kg	25.8	26.9	27.3	27.7
Leche con corrección energética (LCE), kg	44.0	45.0	45.6	46.2
Metano				
g/día	489	475	463	461
g/kg CMS	18.9	17.8	17.1	16.8
g/kg LCE	12.5	12.0	11.6	11.3

¹Benchaar et al., 2021.

Parte del valor de reducción de metano de la harina de canola puede asociarse con el perfil lipídico, que es rico en ácido graso monoinsaturado, ácido oleico. Los lípidos pueden reducir el metano entérico de tres maneras: atacando directamente a los metanógenos y protozoos, actuando como reservorio de H⁺ y proporcionando una fuente concentrada de energía. Los ácidos grasos insaturados pueden unirse a las membranas celulares de los protozoos e inhibir el transporte de H⁺ por parte de los protozoos a los metanógenos (Kobayashi, 2010). La biohidrogenación de ácidos grasos insaturados también proporciona un sumidero de hidrógeno, lo que resulta en menos H⁺ disponible en el rumen para producir metano. Un metaanálisis (Eugene et al., 2008) reveló que el metano se reducía en un 2,2% por cada 1% de adición de lípidos a la dieta de las vacas lecheras. De manera similar, Beauchemin, et al. (2008) encontraron que los lípidos dietéticos reducían el metano en un 5.6% por cada 1% de lípidos añadidos a las dietas para el ganado vacuno.

La reducción de metano que se produce con la alimentación con harina de canola está sólo parcialmente relacionado con el aporte de la fracción lipídica. Beauchemin et al. (2009) determinaron que cuando se añadieron aceite de canola, aceite de lino o aceite de girasol a dietas que ya contenían harina de canola, todos apoyaron una reducción de la producción de metano, lo que demuestra aditividad entre las fracciones de harina y aceite. Además, Ramírez-Bribiesca et al. (2018) descubrieron que la fermentación de la harina de canola aumenta el propionato, lo que da como resultado una fracción de carbono menos disponible para contribuir a la producción de gas. Estos investigadores pudieron identificar una alta correlación negativa entre la fracción proteica de la harina de canola se degrada lentamente (-0.99) y el metano. Además, correlacionaron la reducción de metano con el contenido de grasa de la harina (-0.80). Williams y et al. (2020) determinaron que los taninos también pueden reducir el metano, siendo el efecto aditivo a los efectos de las grasas. La cáscara de la semilla de canola es una fuente importante de taninos.

Además, se ha demostrado que la harina de canola reduce el óxido nitroso. Muchos artículos de investigación, como se describe en dos metaanálisis

recientes (Martineau et al., 2013; Martineau et al., 2019), han demostrado que el uso eficiente de la proteína absorbida de la canola da como resultado un menor nitrógeno ureico en sangre en comparación con otras harinas de proteína vegetal. El nitrógeno ureico excretado se convierte rápidamente en gas amoníaco, lo que puede contribuir indirectamente a la formación de óxido nitroso atmosférico. Como ilustra la Tabla 5, la excreción de nitrógeno en la orina se reduce y el nitrógeno de la leche (proteína) aumenta a medida que aumenta la harina de canola en la dieta. Hristov et al. (2011) encontraron que modificar el nivel de aceite de canola en dietas que contenían harina de canola no alteraba la producción de óxido nitroso.

Tabla 5. Efecto del aumento de la harina de canola en la dieta sobre la excreción urinaria de nitrógeno¹.

	NIVEL DE INCLUSIÓN DE HARINA DE CANOLA, % DE MS			
	0	8	16	24
Consumo de Nitrógeno, g/día	679	700	707	718
Nitrógeno en la leche, g/día	210	213	218	222
Nitrógeno en la orina, g/día	35.1	33.4	31.7	31.4
Nitrógeno en la orina, % del consumo	5.1	4.8	4.5	4.3

¹Hassanat et al., 2020.

Palatabilidad de la Harina de Canola

La harina de canola es un ingrediente muy sabroso para los animales rumiantes adultos. Muchos estudios recientes han revelado que la ingesta en las vacas lecheras se puede mantener o mejorar cuando la harina de canola reemplaza la harina de soja o los granos de destilería. En un estudio diseñado en Latin Square, Benchaar et al. (2021) proporcionaron a las vacas lecheras dietas que contenían 0, 8, 16 o 24 % de harina de canola, en sustitución de la harina de soja. La ingesta de materia seca aumentó linealmente con la inclusión de harina de canola, lo que contribuyó a una mayor producción de leche (Tabla 6). Broderick y Faciola (2014) reemplazaron el 8.7% de la harina de soja por un 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 20.8% de harina de canola por 13.7% de harina de soja, y las vacas consumieron 23.6 y 24.0 kg de MS para las dos dietas, respectivamente. Swanepoel et al. (2014) alimentaron con hasta un 20% de MS como harina de canola a vacas de alta producción a cambio de granos de destilería altos en proteína, sin reducir el consumo de la MS. Tres ensayos sobre lactancia temprana (Moore y Kalscheur, 2016; Gauthier et al., 2019; Kuehnl y Kalscheur, 2021) observaron un aumento de 1 kilogramo en la ingesta cuando la harina de canola reemplazó a la harina de soja en la dieta. Heim y Krebs (2020) sugirieron que la harina de canola extraída con solventes puede ser más sabrosa que la harina de canola expeller. La harina extraída con solventes está más disponible en el mercado norteamericano.

Tabla 6. Efecto del aumento de la harina de canola en la dieta sobre la ingesta de materia seca¹.

	DIETA			
	0	7.89	15.8	23.7
Inclusión de harina de Canola, %	0	7.89	15.8	23.7
Inclusión de harina de Soya, %	17.0	11.3	5.65	0
Consumo de materia seca, kg/día	25.8	26.9	27.3	27.7
Leche corregida por energía, kg/ día	44.0	45.0	45.6	46.2

¹Benchaar et al., 2021.

Asimismo, se ha demostrado que la harina de canola es un ingrediente apetecible en los piensos. Nair et al. (2014) encontraron que cuando el grano de cebada se reemplazó por harina de canola en un 15 o 30% de la materia seca total (MST) durante el periodo de crecimiento en confinamiento, el ganado consumió mayores cantidades de alimento con la adición de harina de canola. En una continuación de ese estudio (Nair et al., 2015) con ganado de engorde, el consumo mejoró cuando se incluyó harina de canola en la dieta en concentraciones del 10 o 20% de la MS. En el caso del ganado vacuno, la ingesta fue mayor en novillos durante el crecimiento en confinamiento alimentado con dietas con un 10 % de harina de canola que en las

dietas que contenían granos de destilería de maíz o granos de destilería de trigo (Li et al., 2013). He et al. (2013) determinaron que no hubo reducción en el consumo de materia seca (CMS) cuando la harina de canola reemplazó el grano de cebada en un 30% de la MS de la dieta durante la fase de crecimiento o terminación con ganado de carne en corrales de engorda. En ese experimento se probaron los tratamientos de harina de canola extraída con solvente y con expeller, con el mismo resultado.

Uso de Harina de Canola como Fuente de Proteína

Composición de aminoácidos

La harina de canola ha sido reconocida como la estrella de todas las proteínas vegetales debido al perfil superior de aminoácidos de la harina. Hace un cuarto de siglo, Shingoethe (1996) demostró que el perfil de aminoácidos de la harina de canola cubría las necesidades de producción de leche de las vacas lecheras (Tabla 7) y complementaba la proteína microbiana del rumen en mayor grado que otras proteínas vegetales. Esto fue colaborado recientemente por Kuehn y Kalscheur (2022), quienes continúan examinando el efecto de los aminoácidos al comienzo de la lactancia y demostraron que la eficiencia de la utilización de aminoácidos era superior para la harina de canola.

Tabla 7. Sistema de puntuación de proteínas de la leche utilizado para comparar proteínas (1,00 = perfecto)¹.

Proteína	Puntuación	AMINOÁCIDOS LIMITANTES		
		1st	2nd	3rd
Proteína microbiana del rumen	0.78	Histidina	Leucina	Valina
Harina de pescado	0.75	Leucina	Triptófano	Isoleucina
Harina de Canola	0.68	Isoleucina	Leucina	Lisina
Harina de algodón	0.46	Metionina	Isoleucina	Lisina
Harina de soya	0.46	Metionina	Valina	Isoleucina
Harina de girasol	0.46	Lisina	Leucina	Metionina
Harina de carne y hueso	0.43	Triptófano	Isoleucina	Metionina
Residuos de cervecera	0.40	Lisina	Metionina	Histidina
Destilados de Maíz	0.32	Lisina	Triptófano	Metionina
Harina de gluten de maíz	0.21	Lisina	Triptófano	Isoleucina
Harina de plumas	0.19	Histidina	Metionina	Lisina

¹Shingoethe, 1996.

La composición de aminoácidos determinada de la harina intacta y la fracción de proteína no degradada del rumen (PNDR) de la harina se proporcionan en la Tabla 8. Estos valores fueron determinados por Ross (2015), basándose en el método PNDR desarrollado por la Universidad de Cornell (Ross et al., 2013). Las muestras fueron un subconjunto de una encuesta de muestras obtenidas entre 2011 y 2014 en plantas procesadoras de todo Canadá.

Tabla 8. Composición de aminoácidos esenciales de la harina de canola y de la fracción PNDR de la harina de canola, según lo determinado por la Universidad de Cornell utilizando el método de Ross¹.

	% EN BASE A MS		% DE PROTEÍNA	
	Harina intacta	Fracción PNDR	Harina intacta	Fracción PNDR
Arginina	2.17	2.23	6.03	6.19
Histidina	0.93	0.91	2.56	2.53
Isoleucina	1.24	1.28	3.44	3.56
Leucina	2.52	2.68	7.00	7.44
Lisina	1.84	1.76	5.11	4.89
Metionina	1.27	1.55	3.53	4.31
Fenilalanina	1.44	1.49	4.00	4.14
Treonina	1.47	1.51	4.09	4.19
Triptófano	0.48	0.51	1.33	1.42
Valina	1.44	1.54	4.00	4.28

¹Ross et al., 2015.

Proteína no Degradada del Rumen (PNDR) en Harina de Canola

Si bien el perfil de aminoácidos contribuye en gran medida a la importancia de la harina de canola en los sistemas alimenticios para rumiantes, también lo hace la proteína no degradada del rumen (PNDR) de la harina. Aproximadamente la mitad de la proteína de la harina de canola se encuentra en forma de PNDR (Tabla 9). Se ha demostrado sistemáticamente que el PNDR, expresado como porcentaje de la proteína total, es mayor que el encontrado para la harina de soya extraída con disolventes.

Muchos datos bibliográficos de ingredientes tienen valores incorrectos para el contenido de PNDR de la harina de canola. En el pasado, el método de la bolsa de nailon in situ se utilizaba para dividir la proteína del alimento en fracciones de PNDR y de proteína degradada en el rumen (PDR). El error en este método reside en el hecho de que se supone que la proteína soluble y la proteína que se vuelve soluble y sale de las bolsas porosas son degradadas por los microbios en el rumen y, por lo tanto, no están disponibles como fuente de aminoácidos para el animal huésped. De

hecho, la noción de que la solubilidad y la degradación son iguales está tan arraigada que el NASEM (2021) publicado recientemente no actualizó la aceptación de esta noción desde la última publicación (NRC, 2001). Los errores en la estimación de cómo se dividen las proteínas del alimento han obstaculizado la capacidad de los formuladores de alimentos para respaldar el crecimiento microbiano óptimo del rumen, así como el cálculo de las cantidades de aminoácidos que ingresan al intestino a partir de fuentes microbianas y de ingredientes del alimento.

Tabla 9. El valor de PNDR para harina de canola y harina de soya determinado por diversos nuevos métodos de análisis (% de la proteína total).

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

La degradabilidad real de la proteína soluble en el rumen es variable y se sabe desde hace mucho tiempo que es variable. La descomposición de las proteínas da como resultado la liberación de nitrógeno amoniacal en el rumen. Broderick et al. (1991) evaluaron la cantidad de amoníaco generado en condiciones in vitro, e indican claramente que se pueden acumular péptidos y aminoácidos. Los autores afirmaron que “una porción de la proteína soluble puede requerir cierta alteración de la estructura secundaria y terciaria para que se lleve a cabo la proteólisis. Las proteínas con enlaces disulfuro extensos, como las albúminas o las inmunoglobulinas, o aquellas que contienen enlaces cruzados artificiales causados por tratamientos químicos, se degradan más lentamente que las proteínas menos ordenadas”.

Las proteínas que son ricas en enlaces disulfuro son solubles, pero resistentes a la degradación en el rumen (Wallace, 1983; McNabb et al., 1994). Las dos principales



proteínas de almacenamiento en la harina de canola son la napina, una proteína albúmina, y la cruciferina, una proteína globulina (Perera et al., 2016). En una variedad de condiciones, ambas proteínas pueden volverse solubles (Chmielewska et al., 2020), y es muy probable que la napina se vuelva soluble en el ambiente del rumen. En el caso de la harina de canola, con napina rica en enlaces disulfuro, la degradabilidad de la proteína soluble es menor que la de otras proteínas vegetales comunes.

La Tabla 10 proporciona un ejemplo de tasas de degradación reales para la fracción soluble de proteínas (Hedqvist y Udén, 2008). La proteína soluble de la harina de canola se descompone mucho más lentamente que la proteína soluble de la harina de soya o los granos de destilería de trigo. Esto significa que existe una oportunidad considerable para que la fracción soluble de la harina de canola llegue al intestino. Agregue a eso el hecho de que la proteína soluble saldrá del rumen con la salida del líquido, que es al menos dos veces más rápido que la tasa de recambio de sólidos (Seo et al., 2006). Esto también se aplicaría a la porción tergiversada de proteína que se solubiliza mientras está suspendida en el rumen durante los análisis in situ.

Tabla 10. Tasas de digestión de la fracción soluble de proteína en el rumen para ingredientes seleccionados¹.

PROTEÍNA VEGETAL	PROTEÍNA SOLUBLE, % DE LA PROTEÍNA TOTAL	TASA, % DEGRADADO/HORA
Harina de canola (harina de semilla de rape)	20.4	19
Linaza (harina de linaza)	58.6	18
Altramuces	80.2	34
Guisantes	77.8	39
Harina de soya	16.9	46
Destilados de trigo	24.3	62

¹Hedqvist and Udén, 2008.

Producción de Proteínas Microbianas del Rumen

Los estudios han confirmado que las dietas que contienen harina de canola apoyan niveles similares

de producción microbiana en comparación con la harina de soya. Utilizando la medición directa del flujo de nitrógeno abomasal, Brito et al. (2007) y Paula et al. (2018) determinaron que no había diferencias en el rendimiento de proteína microbiana cuando se usaba harina de canola para reemplazar la harina de soya como fuente de proteína. Los resultados de dos ensayos de alimentación (Lage et al., 2021; Pereira et al., 2020) que utilizaron derivados de purina urinaria para estimar el rendimiento de proteína microbiana no encontraron diferencias en las dos fuentes de proteína, mientras que Swanepoel et al. (2021), utilizando la misma metodología, encontraron que la dieta de harina de canola promovió las condiciones del rumen para mejorar el crecimiento microbiano. Paula et al. (2017) determinaron que no hubo diferencias en el rendimiento de proteína microbiana para las dietas de harina de soya o harina de canola en un estudio de fermentación de flujo dual.

En un modelo experimental diferente en el que se sustituyó la harina de canola por cebada, el crecimiento microbiano del rumen disminuyó con niveles más altos de harina de canola. Krizsan et al. (2017) observaron que concentraciones crecientes de harina de canola tratada térmicamente daban como resultado mayores cantidades de proteína de escape del rumen y menores cantidades de proteína microbiana del rumen. Sin embargo, la harina de canola tratada térmicamente reemplazó a la cebada en las dietas, y esto alteró el almidón disponible necesario para sustentar el crecimiento microbiano.

Energía para Rumiantes

Como la mayoría de los ingredientes concentrados, la harina de canola es una buena fuente de energía, ya que proporciona nutrientes para el crecimiento microbiano y apoya la productividad animal. En el pasado, se ha infravalorado el valor energético de la harina de canola (NRC, 2001; NRC, 2015) y sigue siendo erróneo en muchas publicaciones. Varios programas populares de formulación de piensos utilizan lignina para reducir la digestibilidad de la pared celular. Por ejemplo, las estimaciones del NRC (2001) de fibra detergente neutra (FDN) no disponible se acercan al 65%, mientras que la FDN potencialmente disponible

se estima en un 35%. Dependiendo de la velocidad de paso, la cantidad real digerida sería incluso menor. Utilizando un ensayo de FDN no digerible recientemente desarrollado, Cotanch et al. (2014) demostraron que la FDN no disponible en la harina de canola era el 32 % de la FDN total después de 120 horas de incubación en el rumen y que, por lo tanto, la pared celular potencialmente digerible era del 68 %. Nuevamente, la digestibilidad real sería menor debido a que la pared celular potencialmente digerible sale del rumen antes de que se complete la digestión. El sistema NASEM (2021), lanzado recientemente, que utiliza una determinación de digestibilidad de FDN de 48 horas, es más preciso y proporciona un valor energético más realista.

En base a los resultados de una encuesta de 4 años de 12 plantas procesadoras (144 muestras), Paula et al. (2017) determinaron que la digestibilidad de la FDN a las 288 horas de incubación ruminal era del 80.2 % de la FDN y estimaron que la digestibilidad ruminal real a 3 veces la ingesta de mantenimiento era del 60.2 %. En un seguimiento de esto, Arce-Cordero et al. (2021) encontraron que la energía neta calculada de la lactancia (EN-L) con 3 veces la ingesta de mantenimiento sería de 1.87 Mcal/kg.

Estos resultados corroboran algunos estudios más antiguos que muestran que aproximadamente la mitad de la FND en realidad 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 y otros, 1999a).

La harina de canola extraída con solventes tiene el mismo valor energético neto para mantenimiento y ganancia que la cebada, según un estudio en corral de engorda (Nair et al., 2015). La harina de canola reemplazó a la cebada en un 15 y 30% de la MS de la dieta, lo que permitió calcular la energía neta por sustitución. En un estudio que comparó granos de destilería, granos de destilería altos en proteína, harina de soya y harina de canola, no hubo diferencias en la leche/MS con corrección energética ni cambios en la puntuación de condición corporal (Christen et al., 2010). Además, Swanepoel et al. (2014) no observaron diferencias en el CMS ni en la puntuación de condición

corporal cuando hasta un 20 % de harina de canola reemplazó los granos de destilería de maíz ricos en proteínas. 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 grande como el de los granos de destilería altos en proteína. En base en estos resultados más recientes, el valor energético de la harina de canola se proporciona en la Tabla 11.

Tabla 11. Valores energéticos promedio para la harina de canola extraída con solvente y con expeller.

	MÉTODO DE PROCESAMIENTO DE LA HARINA DE CANOLA	
	Extraída con solvente	Expeller
Nutrientes digeribles totales (NDT), %	68.2	74.6
Energía digerible (ED, Mcal/kg)	3.35	3.70
Energía metabolizable (EM, Mcal/kg)	2.70	3.01
Energía neta de lactación (ENL-3M)	1.78	2.01
Energía neta de mantenimiento (ENM, Mcal/Kg)	1.92	2.16
Energía neta de ganancia (ENG, Mcal/Kg)	1.27	1.47

Ácidos Grasos de Canola Meal

La harina de canola extraída con solventes tiende a contener algo más de grasa que muchas otras harinas de semillas oleaginosas, y esta grasa contribuye al valor energético de la harina. Esta fuente altamente insaturada de ácidos grasos se compone en gran parte del ácido graso monoinsaturado ácido oleico (C18:1).

Los ácidos grasos insaturados en el rumen tienen el potencial de permitir la acumulación de intermediarios de biohidrogenación que pueden interferir con la síntesis de grasa láctea y provocar una depresión de la grasa láctea. Es menos probable que el ácido oleico produzca intermediarios de ácidos grasos que contribuyen a la reducción de la grasa láctea que

los ácidos grasos con 2 o más enlaces insaturados. En un metanálisis, Dorea y Armentano (2017) determinaron que los ingredientes del pienso con aceites que contenían predominantemente ácido linoleico (C18:2) tenían el doble de probabilidades de reducir la grasa de la leche que aquellos que contenían principalmente C18:1 o ácido linolénico (C18:3). Lopes et al. (2017) concluyeron que las semillas oleaginosas con concentraciones más altas de C18:1 probablemente aumenten la concentración de grasa láctea y el rendimiento, así como el contenido de C18:1 de la leche en las vacas lecheras, en comparación con los aceites que contienen C18:2.

He y Armentano (2011) agregaron grandes cantidades de aceites vegetales (5% de la MS) con una composición de ácidos grasos variables a la dieta de vacas lactantes. El rendimiento de grasa disminuyó de 1.14 kg/vaca/día a 1.02 kg/vaca/día para las dietas con C18:1 y ácido linolénico (C18:3) añadidos, pero cayó a 0.86 kg/vaca/día con ácido linoleico (C18:2). En un estudio de seguimiento, también con altas concentraciones de grasa añadida, He et al. (2012) determinaron que el C18:2 era un ácido graso más potente que el C18:1 para provocar la depresión de la grasa láctea. Stoffel et al. (2015) proporcionaron a las vacas dietas experimentales 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 láctea y el rendimiento de grasa láctea fueron sorprendentemente diferentes para las dietas. La producción de grasa láctea fue de 1.44 con la dieta alta en C18:1 en comparación con 1.31 kg/vaca/día con la dieta alta en C18:2. La producción de grasa con la dieta de control baja en aceite fue de 1.41 kg/vaca/día, lo que indica que la dieta con mayores niveles de C18:1 no afectó la producción de grasa láctea.

Además, los ácidos grasos insaturados comunes (C18:1, C18:2 y C18:3) pueden interferir con el metabolismo microbiano al desestabilizar la membrana celular, aumentando la permeabilidad de la membrana (Yoon et al., 2018) que es mayor a medida que aumenta el número de dobles enlaces (C18:3 > C18:2 > C18:1).

Por el contrario, algunos estudios han indicado que la digestibilidad ruminal aumenta con C18:1. Chilikani et al. (2004) agregaron aproximadamente 6.5% de aceite de canola (62% C18:1) a dietas para vacas en lactancia tardía y evaluaron la digestibilidad ruminal. Como muestra la Tabla 12, los valores de digestibilidad ruminal fueron mayores para la dieta a la que se le había agregado aceite de canola. Prom y Lock (2021) descubrieron que la adición de C18:1 mejoraba la digestibilidad de la MS y la FDN en el rumen.

Tabla 12. Digestibilidad de nutrientes en el rumen de vacas que recibieron aceite de canola suplementario ¹.

Nutriente	TRATAMIENTO	
	Control	Aceite de Canola
Consumo de materia seca, kg/day	14.0	14.5
Consumo total de ácidos grasos, g/day	244	1,154
Nutriente	Digestibilidad en el Rumen, %	
Materia seca	42.3	45.1
Materia orgánica	45.5	48.5
Proteína cruda	24.1	37.1
Fibra detergente neutra	43.3	50.6
Fibra detergente ácida	34.7	44.2

¹Chilikani et al., 2004.

Se ha demostrado que la tasa de biohidrogenación de C18:1 es menor que la de los ácidos grasos más saturados (Baldin et al., 2018). Esto significa que una mayor cantidad puede escapar del rumen y entrar a los intestinos, donde tiene beneficios adicionales. A diferencia de otros ácidos grasos C18, se ha demostrado que el C18:1 actúa como agente antifílico y mejora la digestibilidad de los nutrientes (Prom et al., 2021). En un ensayo (Lopes et al., 2017) que comparó dietas que contenían harina de soya convencional (alta en C18:2) con una variedad de harina de soya genéticamente modificada con alto contenido de C18:1, se encontró que la digestibilidad total del tracto era mayor con la harina con alto contenido de C18:1. La

importancia de este hallazgo es que la única diferencia en las dietas fue la composición de los ácidos grasos. En otro estudio (Prom et al., 2018), la infusión de C18:1 en el abomaso mejoró la digestibilidad de los ácidos grasos.

Micronutrientes en la Harina de Canola

Fósforo

La harina de canola es una rica fuente de fósforo, y la mayor parte de este mineral se encuentra en forma de fitato de fósforo. 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 el fitato (Spears, 2003). De hecho, los estudios han demostrado que el fósforo fitato está más disponible para los rumiantes que el fósforo no fitato. Garikipati (2004) proporcionó dietas a vacas lecheras en las que aproximadamente la mitad del fósforo estaba en forma de fitato. La digestibilidad global del fósforo fue del 49%. Sin embargo, la digestibilidad del fósforo unido a fitato fue del 79%. Skrivanova et al. (2004) también encontraron que la digestibilidad del fósforo en terneros de 10 semanas de edad era del 72%, siendo digerible el 97% de la porción de fitato.

Yodo

Desde hace mucho tiempo se reconoce que el yodo es un mineral que puede agregarse a los alimentos y aplicarse tópicamente para combatir organismos infecciosos que causan enfermedades como la pudrición de las pezuñas y la mastitis. Sin embargo, aumentar la ración de yodo generalmente da como resultado mayores concentraciones que ingresan a la leche, siendo un alto nivel 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 (Flachowsky et al., 2014). Aunque los niveles de glucosinolatos son extremadamente bajos en la harina de canola actual, varios estudios han demostrado que las concentraciones de yodo en la leche se reducen cuando estas fuentes de proteínas se proporcionan en niveles de ingesta más altos (Vesely et al., 2009; Troan

et al., 2018). En el estudio de Troan et al. (2018) proporcionaron a las vacas dietas que contenían 0, 6, 14 o 20 % de harina de colza expeller, la cual contenía un total de 1.07 $\mu\text{mol/g}$ de glucosinolatos. Se determinó que la proporción de yodo consumido que fue transferido a la leche fue de 25, 19, 13 y 10% para las cuatro dietas respectivas. El beneficio de esto fue demostrado en un estudio de Weiss et al. (2015). La alimentación con 13.9% de harina de canola en la dieta de prueba y 2.0 mg de yodo dio como resultado niveles de yodo en la leche cercanos a los encontrados cuando se proporcionaron 0.5 mg/kg de yodo en dietas en las que 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 13), y esto permitiría que se manifestaran los beneficios de una mayor inclusión de yodo, sin producir niveles inaceptables de yodo en la leche.

Tabla 13. Efectos de la alimentación con harina de canola sobre las concentraciones de yodo en el suero sanguíneo y la leche ($\mu\text{g/L}$)¹.

Producto	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, $\mu\text{g/L}$	99	142	148	175	251	320
Yodo en la leche, $\mu\text{g/L}$	358	289	169	733	524	408

¹Weiss et al., 2015.

Diferencia de aniones cationes en la dieta

La diferencia de cationes y aniones de 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 a nivel molecular, entonces la dieta es neutra.

Es deseable tener un exceso de aniones en el período seco cercano, ya que esto puede ser beneficioso para reducir la incidencia de fiebre de la leche al parto. La pérdida repentina de calcio en la sangre cuando comienza la lactancia debe compensarse con una mayor absorción de calcio y con una mayor



movilización del calcio desde los huesos. Se ha demostrado que las dietas con DCAD negativo ayudan a mantener los niveles de calcio en sangre al ayudar la liberación de calcio de los huesos (Wu et al., 2008; Zimpel et al., 2021).

Tabla 14. Comparación de cationes (potasio y sodio), aniones (cloro y azufre) y DCAD (mEq/kg de materia seca) para algunos ingredientes comunes de los piensos¹.

Ingrediente	CATIONES		ANIONES		DCAD
	K	Na	Cl	S	
Harina de canola	361	30	-11	-456	-76
Maiz grano	107	9	-23	-63	31
Destilados de maiz	281	130	-28	-275	109
Harina de soya	775	13	-155	-244	389
Silage de alfalfa	775	13	-155	-188	445
Silage de cebada	621	58	-106	-106	369
Silage de maiz	307	4	-82	-88	142
Silage de forraje	795	22	-181	-131	505

¹Erdman and Iwaniuk, 2015.

Se pueden agregar sales aniónicas a la dieta, pero a veces reducen la palatabilidad y la ingesta. Debido a que los aniones y cationes en la dieta se originan en los alimentos 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 mayores cantidades de sales aniónicas. Como muestra la Tabla 14, la harina de canola es una opción ideal, ya que el valor de DCAD para este ingrediente es negativo y ayudará a reducir la necesidad de agregar sales aniónicas.

Antioxidantes

El estrés oxidativo es una ocurrencia común en el período de transición y durante el estrés por calor. La harina de canola contiene una variedad de

antioxidantes, incluidos compuestos fenólicos (Vuorela et al., 2004; Wanasundara et al., 1995), vitamina E y carotenoides (Loganes et al., 2016). Estos contribuyen a la reducción de los compuestos de radicales libres y el daño celular concomitante producido por ellos.

ALIMENTACIÓN DE VACAS LACTANTES CON HARINA DE CANOLA EXTRAIDA CON SOLVENTE

Metaanálisis del valor alimentario

Desde 2011 se han realizado cinco metaanálisis en profundidad en los que se comparó la harina de canola con otras proteínas vegetales en dietas para vacas lecheras lactantes. Si bien cada uno tenía objetivos ligeramente diferentes y, por lo tanto, una metodología de extracción de datos diferente, todas estas investigaciones respaldan el hecho de que la harina de canola es una harina alta en PNDR con un perfil de aminoácidos excepcional.

Huhtanen et al. (2011) evaluaron los resultados de 122 estudios en los que la proteína suplementaria fue suministrada por harina de soya o harina de canola. En todos los casos, la proteína agregada reemplazó al grano y los forrajes se mantuvieron constantes. El análisis reveló que por cada kg de aumento 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 estaba infravalorada en comparación con la harina de soya. La Tabla 15 resume los datos de este informe.

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 análisis se incluyeron los resultados de 27 estudios publicados que evaluaron 88 tratamientos. En el nivel de inclusión promedio (2.3 kg por día) de harina de canola, la producción de leche fue 1.4 kg mayor cuando las vacas recibieron harina de canola en los 49 estudios utilizados en el análisis.

Tabla 15. Resumen del metaanálisis de Huhtanen et al. (2011).

VARIABLE	HARINA DE CANOLA	HARINA DE SOYA
Consumo de MS, kg/d	19.4	16.8
Producción de leche, kg/d	27.2	23.6
Producción de leche corregida por energía, kg/d	28.6	23.6

En una continuación del metaanálisis anterior, Martineau et al. (2014) compararon la respuesta de los aminoácidos en el plasma a los cambios en la fuente de proteínas de la dieta. Para este análisis estuvieron disponibles los resultados de 10 experimentos de alimentación y 21 comparaciones de tratamientos. Las concentraciones de aminoácidos esenciales en plasma fueron mayores y el nitrógeno ureico en la leche fue menor cuando las vacas recibieron harina de canola en comparación con todas las demás fuentes de proteína. De hecho, estas diferencias reflejan la importancia del perfil de aminoácidos de la harina de canola en relación con las necesidades de la vaca lechera lactante. La conclusión de este informe fue que la harina de canola aumentaba la disponibilidad de los aminoácidos esenciales.

Moura et al. (2018) recopilaron datos de 37 manuscritos revisados por pares que evalúan el uso de harina de canola para reemplazar otras fuentes de proteína vegetal. En este estudio, se compararon las diferencias medias de tratamiento. En la Tabla 16 se proporciona un resumen de los resultados. Las diferencias fueron estadísticamente significativas para todos los valores indicados.

Tabla 16. Resumen de los metaanálisis de Moura et al. (2018).

VARIABLE	OBSERVACIONES	DIFERENCIA DE MEDIAS BRUTA
Consumo de MS, kg/d	79	0.22
Producción de leche, kg/d	88	0.69
Producción de proteína de leche, kg/d	60	0.02
Urea en leche N, mg/dL	22	-0.98
N en leche /consumo de N	34	0.22

Para incluir los hallazgos de las investigaciones más recientes, Martineau et al. (2019) realizaron un metaanálisis final para comparar los resultados de alimentación de estudios limitados a aquellos en los que la harina de canola se comparó con otra proteína en su totalidad y en parte. Varios estudios de investigación han demostrado que mezclar otras proteínas vegetales con harina de canola mejora el valor de la fuente de proteína distinta de la canola, pero no estaba claro si las proteínas distintas de la canola mejoraban el valor de la harina de canola. Este estudio integral indica que mezclar otras proteínas vegetales con harina de canola no mejorará la producción de leche. El estudio también demostró que la harina de canola se puede proporcionar en dietas con hasta un 19% de MS, el nivel más alto probado en el momento en que se recopilaron los datos, sin pérdidas en la producción de leche y sin efectos negativos en la ingesta.

Harina de canola al inicio de la lactancia

Sólo recientemente se han realizado ensayos para evaluar la harina de canola en vacas en lactancia temprana. Desde 2016, se han realizado cuatro estudios de investigación que respaldan la utilización de harina de canola en dietas para vacas lecheras en lactancia temprana (Tabla 17). Todos los ensayos demostraron que las vacas que recibieron harina de canola al comienzo de la lactancia produjeron mayores cantidades de leche. Los valores de eficiencia alimenticia fueron similares para ambas fuentes de proteína, con una excepción (Moore y Kalscheur, 2016) donde hubo una ventaja significativa para la dieta de harina de canola.

Tabla 17. Rendimiento de vacas que recibieron harina de canola o harina de soya en lactancia temprana.

En-sayo ²	Dura-ción, sema-nas	INCLUSIÓN, % DE MS		PRODUCCIÓN DE LECHE, KG		LCE/CMS ¹	
		Harina de canola	Ha-rina de soya	Harina de canola	Ha-rina de soya	Harina de canola	Ha-rina de soya
1	16	19.4	14.5	56.5	52.3	2.31	2.17
1	16	11.9	8.9	54.8	50.1	2.22	2.16
2	22	13.0	7.0	44.5	42.3	1.53	1.50
3 ³	22	14.3	6.3	51.3	49.6	1.79	1.73
3	22	14.3	6.3	51.3	49.9	1.79	1.77
4	16	16.5	12.1	52.8	50.9	2.18	2.13

¹ Producción de leche corregida por energía/consumo de MS; ² 1: Moore y Kalscheur, 2016; 2: Gauthier et al., 2019; 3: Swanepoel et al., 2020; 4: Kuehnl y Kalscheur, 2021; ³ Ambas dietas de harinas de soya contenían 6.5% de harina de canola. La segunda dieta de harina de soya incluye metionina adicional.

Aunque no hubo diferencias en la eficiencia alimenticia en los experimentos realizados por Gauthier et al. (2019) y Swanepoel et al. (2020), ambos mostraron una menor pérdida de condición corporal cuando las vacas recibieron dietas que contenían harina de canola. Ambos fueron estudios de grandes rebaños realizados en condiciones reales de granja.

Ensayos de alimentación a mitad de la lactancia

Las tablas 18 y 19 muestran los resultados de producción de leche de estudios comparativos que se han publicado recientemente y que comparan la harina de canola con otras fuentes comunes de proteína vegetal. La mayoría de los ensayos compararon la harina de canola con la harina de soya (Tabla 20), aunque ha habido ensayos que involucraron otras proteínas (Tabla 21). Como lo ilustran las tablas, la harina de canola tuvo un desempeño tan bueno o mejor que las harinas alternativas evaluadas en cuanto a potencial de producción de leche en la mayoría de los estudios publicados.

Tabla 18. Comparación de la producción de leche (kg) por vacas en las que el principal suplemento de proteína la proporcionó la harina de canola o la harina de soya.

Referencia	FUENTE DE PROTEÍNA		Diferencia
	Harina de canola	Harina de soya	
Benchaar et al., 2021	42.2	40.4	1.8
Brito and 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 and Faciola, 2014	38.8	38.2	0.6
Christen et al., 2010	31.7	31.7	0
Galindo et al., 2017	46.0	43.7	2.3
Gauthier et al., 2019	44.5	42.3	2.2
Gauthier et al., 2019	44.5	44.8	-0.3
Gidlund et al., 2015	30.2	29.5	0.7
Holtshausen et al., 2021	34.2	35.0	-0.8
Kuehnl and Kalscheur, 2021	52.8	50.9	1.9
Kuehnl and Kalscheur, 2022	44.3	41.4	2.9
Lage et al., 2021	43.8	41.1	2.7
Maxin et al., 2013	30.9	31.9	-1.0
Moore and 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
Paula et al., 2020	37.2	36.4	0.8
Sanchez-Duarte et al., 2019	38.2	37.5	0.7
Swanepoel et al., 2020	51.3	49.6	1.7
Swanepoel et al., 2020	51.3	49.9	1.4
Weiss et al., 2015	39.4	37.6	1.8

Tabla 19. Comparación de la producción de leche (kg) por vacas en las que el principal suplemento de proteína la proporcionó la harina de canola u otra proteína vegetal.

Referencia	FUENTE DE PROTEÍNA		Diferencia
	Harina de canola	Harina de algodón	
Brito and Broderick, 2007	41.1	40.5	0.6
Maesoomi et al., 2006	28.0	27.0	1.0
	Harina de canola	GSDS de maiz	
Acharya et al., 2015	34.9	35.5	-0.6
Christen et al., 2010	31.7	31.2	0.5
Maxin et al., 2013	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
	Harina de canola	GSDS de trigo	
Abeysekara and Mutsvangwa, 2016	40.4	40.2	0.2
Chibisa et al., 2012	45.0	45.0	0
Maxin et al., 2013	30.9	30.8	0.1
Mutsvangwa et al., 2016	43.4	42.4	1.0
	Harina de canola	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 canola	Granos de cervecería	
Moate et al., 2011	23.4	22.3	1.1
	Harina de canola	Harina de linaza	
Beauchemin et al., 2009	27.0	26.8	0.2
	Harina de canola	Harina de colza	
Hristov et al., 2011	47.1	45.0	2.1
	Harina de canola	Soya de expeller	
Lage et al., 2021	43.8	42.6	1.2

HARINA DE CANOLA PARA EL CRECIMIENTO

Harina de canola para terneros antes del destete

Aunque es muy adecuada desde el punto de vista nutricional, es menos probable que la harina de canola se incluya en las dietas para terneros, según estudios más antiguos en los que los niveles altos de glucosinolato perjudicaron la ingesta del alimento. Ravichandiran et al. (2008) examinaron el impacto de alimentar a terneros de 5 meses con harina de canola versus harina de colza con diferentes niveles de glucosinolatos residuales. Los terneros alimentados con harina de canola que contenía menos de 20 $\mu\text{mol/g}$ de glucosinolatos consumieron prácticamente la misma cantidad de alimento que los terneros de control alimentados con dietas sin harina de canola (1.10 kg frente a 1.08 kg/día, respectivamente). Sin embargo, los terneros alimentados con un concentrado que contenía harina de colza con alto contenido de glucosinolatos ($>100 \mu\text{mol/g}$) solo consumieron 0.76 kg. Cabe señalar que la harina de canola de Canadá contiene 3.57 $\mu\text{mol/g}$ en materia seca.

La edad de los terneros puede ser un factor que influya en la aceptación. Se realizaron dos experimentos similares con terneros durante los períodos previo al destete (Tabla 20) y posterior al destete (Tabla 21). Ambos observaron una tendencia a una ingesta reducida antes del destete (Tabla 20), pero no inmediatamente después del destete (Tabla 21). Miller-Cushon et al. (2014) recomendaron granular la ración inicial para evitar la selección por parte de los terneros jóvenes.

Tabla 20. Uso de harina de canola por terneros antes del destete.

	DIETA		
	Harina de canola	Harina de algodón	Harina de soya
Claypool et al., 1985			
Harina como % de MS	17.6	14.1	11.1
Consumo/día antes de destete ¹ , g	368	479	439
Promedio de ganancia diaria, g/día	580	620	620
Hadam et al., 2016	Harina de canola	Canola/Soya	Harina de soya
Harina como % de MS	35.0	16.5	24.0
Consumo/día antes de destete ² , g	269	250	315
Promedio de ganancia diaria, g/día	587	636	684

¹ Los terneros fueron destetados a las 8 semanas de edad; ² Los terneros fueron destetados entre las 5 y 7 semanas de edad. Los datos mostrados son para las primeras 5 semanas.

Tabla 21. Uso de harina de canola post destete.

	DIETA		
	Harina de canola	Harina de algodón	Harina de soya
Claypool et al., 1985			
Harina como % de MS	17.6	14.1	11.1
Consumo/día antes de destete, ¹ g	ND	ND	ND
Promedio de ganancia diaria, g/día	890	890	910
Hadam et al., 2016	Harina de canola	Canola/Soya	Harina de soya
Harina % de materia seca	35.0	16.5/12.5	24.0
Consumo/día después de destete, ² g	2,001	1,964	2,003
Media de ganancia diaria, g/day	734	745	798

¹ No determinado (ND). Los terneros fueron destetados a las 8 semanas de edad y el ensayo finalizó a las 16 semanas de edad. Los terneros fueron alimentados en grupo y no se registraron los consumos; ² Los terneros fueron destetados entre las 5 y 7 semanas de edad. Los datos mostrados corresponden a las semanas 5-8.

Gorka y Penner (2020) revisaron una serie de estudios en los que la inclusión de edulcorantes (glicerol o melaza) tuvo un efecto positivo en la ingesta de piensos iniciadores que contienen harina de canola. Los mismos investigadores sugirieron limitar la inclusión de harina de canola a menos del 20% de la dieta para terneros jóvenes. En un estudio de seguimiento en el que se reemplazó el 0, 15, 30, 45 o 60% de la harina de soya por harina de canola (Burakowska et al., 2021), se determinó que no había diferencias en la ganancia diaria promedio ni en la alimentación. eficiencia que podría estar relacionada con el tratamiento. El nivel más alto de inclusión de harina de canola fue del 20.7%. Los autores afirmaron que la harina de canola era un sustituto adecuado de hasta el 60% de la harina de soya en la dieta.

La harina de canola apoya el crecimiento óptimo en los terneros antes del destete, siempre que no existan limitaciones debido a la palatabilidad. Una investigación reciente de la Universidad de Saskatchewan reveló que cualquier desagrado por la harina de canola se puede superar enmascarando el sabor con un edulcorante u otro agente aromatizante (Gorka y Penner, 2020), o limitando el nivel de inclusión al 20% de la dieta seca. Burakowska et al. (2020) demostraron que la ingesta de dietas iniciales que contenían un 34 % de harina de canola aumentaba de 243 a 338 g/día cuando se incluía un 5 % de glicerol en la dieta. Granular la dieta también puede mejorar la aceptación de la harina de canola cuando se utiliza como fuente principal de proteína para los terneros (Burakowska et al., 2021b). Cuando se incluyó en una dieta endulzada con un 35 % de materia seca desde el día 8 al día 42, no hubo disminución en la ingesta (Burakowska et al., 2017). Un estudio (Burakowska et al., 2021a) no reveló diferencias en la tasa de crecimiento, ganancia/alimento, producción ruminal y niveles de glucosa e insulina en sangre entre dietas que contenían cero a 20.7 % de harina de canola en dietas sin azúcar (Tabla 22).

Tabla 22. Evaluación de harina de canola en dietas de terneros desde el día 8 al día 62 de vida

Variable	TRATAMIENTO (% DE REEMPLAZO CON HARINA DE SOYA)				
	0	15	30	45	60
Harina de canola, % de MS	0	5.2	10.4	15.7	20.7
Harina de soya, % de MS	28.4	24.1	19.8	15.7	11.4
Ganancia media diaria, kg	0.91	0.93	0.90	0.87	0.86
Ganancia/alimento	0.54	0.54	0.53	0.53	0.55
Concentración de AGV en el rumen, mM	118	133	111	132	128
Amonio en el rumen, mg/dL	4.0	3.0	3.4	5.0	3.4
Glucosa en la sangre, mg/dL	62.7	61.1	61.8	58.8	61.8
Insulina en la sangre, µg/L	0.62	0.54	0.44	0.41	0.68

Meléndez et al. (2020) compararon la harina de canola y la harina de linaza en dietas iniciales para terneros con las fuentes de proteínas incluidas en un 25% de la materia seca. No hubo diferencias en el rendimiento desde el nacimiento hasta los 60 días de edad con promedios de consumo de 0.5 kg/ternero/día.

Harina de canola para terneros durante la transición al destete

Aunque sólo se encontraron tres estudios sobre terneros durante la transición al destete, los resultados sugieren que hay poca preocupación con los niveles de inclusión en ese momento. La Tabla 23 proporciona un resumen de estos resultados.

Efectos de la harina de canola sobre la salud y el desarrollo intestinal

En un estudio que involucró 104 granjas lecheras de 13 estados de EE. UU., Urie et al. (2018) determinaron tasas de morbilidad y mortalidad del 33.9 y 5%, respectivamente. Aproximadamente la mitad de la morbilidad estuvo asociada con problemas digestivos.

La harina de canola puede ser fundamental para ayudar a mejorar la salud intestinal en los terneros lecheros.

Tabla 23. Evaluación de harina de canola en dietas para terneros durante la transición al destete.

REFERENCIA	VARIABLE	HARINA DE SOYA	HARINA DE CANOLA
Claypool et al., 1985	Inclusión, % de MS	11.1	17.6
	Consumo de materia seca, g/día	-	-
	Ganancia media diaria, g/día	910	890
Hadam et al., 2016	Inclusión, % de MS	24.0	35.0
	Consumo de materia seca, g/día	2,003	2,001
	Ganancia media diaria, g/día	796	734
Burakowska et al., 2021	Inclusión, % de MS	24.0	35.0
	Consumo de materia seca, g/día	1,581	1,628
	Ganancia media diaria, g/día	783	671

En un elaborado ensayo de alimentación de la Universidad de Saskatchewan (Burakowska et al., 2021b), los terneros recibieron dietas isonitrogénicas que proporcionaban un 24 % de harina de soya o un 35 % de harina de canola. Los terneros fueron destetados a los 52 días de edad y sacrificados a los 72 días de edad. No hubo diferencias en el desarrollo ruminal. Sin embargo, el índice de daño (una medida de desprendimiento y separación de tejido) fue menor para los terneros que habían recibido el alimento inicial con harina de canola. La harina de canola en la mezcla inicial aumentó el peso del tejido abomasal y yeyunal. No hubo diferencias en las actividades de las enzimas en las vellosidades intestinales entre los dos programas de alimentación inicial.



En un estudio de seguimiento, los terneros recibieron dietas con niveles graduados de harina de canola, que oscilaban entre el 0 y el 20.7% de la materia seca. Hubo una tendencia a que los niveles de ácido acético en el rumen disminuyeran y las concentraciones de ácido propiónico en el rumen aumentaran a medida que aumentaba la harina de canola en la dieta.

La incidencia de diarrea fue del 25% para la harina de canola expeller y del 45% para la harina de linaza expeller (Melendez et al., 2020). Los niveles de haptoglobina en plasma, una proteína de fase aguda, también fueron más bajos en el grupo de terneros que recibieron la dieta de harina de canola.

Harina de canola para novillas en crecimiento

La harina de canola se puede administrar a terneros lecheros y de carne en crecimiento sin restricciones. Anderson y Schoonmaker (2004) compararon la harina de canola con las legumbres (guisantes, garbanzos y lentejas) como proteínas para terneros de carne después del destete. Las dietas contenían un 16% de proteína cruda. Los terneros que recibieron la dieta de harina de canola ganaron ligeramente menos (1.67 en comparación con 1.89 kg/día) pero tuvieron mejores proporciones alimento/ganancia (4.1 frente a 3.8) con la dieta que contenía 9,4% de harina de canola. En un estudio de terneras lecheras, Terre y Bach (2014) evaluaron la ingesta de dietas iniciales con un 18 % de proteína cruda y las tasas de crecimiento de terneros que recibieron dietas en las que la principal fuente de proteína era harina de canola o harina de soya. La ingesta y las tasas de ganancia fueron similares para las dos dietas. Los investigadores concluyeron que no se necesitaban agentes aromatizantes para los terneros que recibían dietas con harina de canola después del destete. Los GSDS de maíz solo podían usarse parcialmente para reemplazar la harina de canola en dietas para novillas en crecimiento a partir de los 12 meses de edad (Suarez-Mena et al., 2015) antes de que disminuyeran la digestibilidad y la retención de nitrógeno.

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 et al. (2012) proporcionaron dietas que contenían harina de soya o harina de canola a novillas lecheras de 8 a 24 semanas de edad. Luego, las novillas fueron sometidas a una dieta común hasta las 60 semanas de edad, momento en el que fueron inseminadas. Las tasas de preñez fueron del 66,7% para las novillas que recibieron harina de canola durante el desarrollo prepuberal, pero sólo del 41,7% para las novillas que habían recibido harina de soya. Las proteínas con niveles bajos de fitoestrógenos, como la harina de canola, podrían proporcionar una alternativa si surgen dificultades de reproducción.

ENSAYOS DE ALIMENTACIÓN EN CHINA

La industria láctea en China ha estado creciendo e innovando constantemente y, con ella, la necesidad de ingredientes proteicos confiables. En reconocimiento de esta necesidad, el Canola Council of Canada apoyó varios ensayos de demostración de alimentos en China en 2011. Todos los estudios involucraron rebaños bien manejados. La producción promedió 35 L en todos los estudios excepto uno, en el que fue de 25 L. Los resultados de las pruebas de demostración se proporcionan en la Tabla 24. Incluso con 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 24. Ensayos realizados en China en los que la harina de canola fue sustituida por otra fuente de proteína.

LOCALIZACIÓN	DETALLES	CAMBIOS EN LA LECHE, L
Granja 1	352 vacas, estudio de conmutación; sustitución directa de harina de soya por harina de canola (1.7 kg / vaca / día)	-0.2
Granja 2	325 vacas, estudio de conmutación; sustitución directa de harina de soya por harina de canola (1.0 kg / vaca / día)	+0.6

LOCALIZACIÓN	DETALLES	CAMBIOS EN LA LECHE, L
Granja 3	320 vacas, estudio de conmutación; sustitución directa de harina de soja por harina de canola (0.7 kg / vaca / día)	+0.3
Granja 4	1.700 vacas, igualado por producción; sustitución directa de harina de soja por harina de canola (2.4 kg / vaca / día)	+1.0
Granja 5	330 vacas, igualado por producción; sustitución directa de harina de soja y harina de algodón por harina de canola (1.7 kg / vaca / día)	+1.2

ALIMENTACIÓN DE HARINA DE CANOLA EXPELLER A VACAS LACTANTES

Debido a la conveniencia de la harina de canola expeller para no rumiantes, hay menos cantidad de este producto disponible para uso en la industria de alimentos para rumiantes. Hay menos investigaciones disponibles para este ingrediente que para la harina extraída con solventes. El valor alimenticio de la harina de canola expeller es similar al de la harina de canola extraída con solventes, excepto por el efecto de dilución del mayor contenido de grasa, que aumenta el valor energético.

La harina expeller tiende a tener mayor PNDR como porción de la proteína total. Theodoridou y Yu (2013), utilizando espectroscopía molecular, determinaron que las proteínas de la harina de canola extraída con expeller se alteraban en mayor medida por el calor que la harina de canola extraída con solvente y, por lo tanto, el valor de PNDR es ligeramente mayor para la harina de canola extraída con solvente. Además, Heim y Krebs (2018) determinaron que el PNDR era mayor para la harina expeller húmeda tratada térmicamente que para la harina de expeller prensada en frío y aumentaba linealmente con la duración del tratamiento de presión de calor húmedo.

La Tabla 25 proporciona resultados de estudios que comparan los efectos sobre la producción de leche de la alimentación con harina de canola, harina de canola expeller o harina de canola expeller calentada. Los estudios más antiguos se realizaron en la Universidad

de Saskatchewan (Beaulieu et al., 1990; Jones et al., 2001) y el estudio más reciente se realizó en la Universidad Estatal de Pensilvania (Hristov et al., 2011). Los resultados indican que la inclusión de harina de canola expeller en las dietas para vacas lecheras lactantes dio como resultado rendimientos de leche tan buenos o incluso numéricamente superiores a los obtenidos con harina de canola extraída con solventes.

La harina de canola expeller también se ha comparado favorablemente con otras proteínas vegetales y se ha demostrado que mejora el perfil de ácidos grasos de la grasa láctea. Johansson y Nadeau (2006) examinaron los efectos de reemplazar un suplemento proteico comercial con harina de canola expeller en dietas orgánicas designadas y observaron un aumento en la producción de leche de 35.4 kg/día a 38.4 kg/día. En este estudio y otros, la alimentación con harina de canola expeller 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%. De manera similar, Jones et al. (2001) observaron un cambio en el perfil de ácidos grasos cuando se alimentó con harina de canola. Hristov et al. (2011) reemplazaron la harina convencional con harina de canola expeller en dietas para vacas lecheras lactantes. La harina expeller disminuyó los ácidos grasos saturados y aumentó el contenido de C18:1 de la grasa láctea. Esto sugeriría que la grasa que queda en la harina expeller es algo resistente a la biohidrogenación en el rumen y, por lo tanto, una porción se absorbe directamente desde el intestino delgado.

Tabla 25. Producción de leche de vacas lecheras alimentadas con dietas que contienen harina de canola, expeller harina de canola o harina de canola expeller tratada térmicamente.

REFERENCIA	TRATAMIENTO	PRODUCCIÓN DE LECHE, KG
Beaulieu et al., 1990	Harina de canola solvente	28.0
	Harina de canola expeller	28.0
Hristov et al., 2011	Harina de canola solvente	41.7
	Harina de canola expeller	41.7
Jones et al., 2001 ¹	Harina de canola solvente	28.6
	Harina de canola expeller	30.0
	Harina de canola expeller con calor	30.0
Jones et al., 2001 ²	Harina de canola solvente	23.6
	Harina de canola expeller	24.0
	Harina de canola expeller con calor	25.2

¹ Vacas múltiparas; ² Vacas primiparas

Si bien se han realizado pocos estudios para evaluar la harina de canola expeller canadiense, se han completado varios experimentos en Europa utilizando colza doble cero. Rinne et al. (2015) compararon harina expeller de soya y colza añadidas en incrementos a vacas que recibieron una dieta de ensilaje de trébol. La leche con energía corregida aumentó en una cantidad mayor en cada incremento de adición con la harina de colza en comparación con la harina de soya expeller. Gidlund et al. (2017) determinaron que la inclusión de harina de colza expeller en las dietas de lactancia resultó en una reducción de las emisiones de metano. En otro estudio (Puhakka et al., 2016), se determinó que reemplazar las habas con harina de colza expeller resultó en una reducción de la ingesta y una pérdida de producción de leche.

ALIMENTACIÓN DE SEMILLA DE CANOLA A VACAS LECHERAS

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

Johnson et. al. (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 et al. (2000) observaron reducciones significativas en la grasa saturada en la leche cuando las vacas lecheras fueron alimentadas con semillas de canola enteras, molidas o extruidas. También observaron reducciones similares en el contenido de ácidos grasos saturados de la leche cuando se agregaron a la dieta sales cálcicas de ácidos grasos de canola. Con la excepción de la semilla de canola entera, la suplementación con productos de canola ricos en grasas también mejoró la producción de leche, lo que indica que agregar semillas de canola procesadas o aceite de canola protegido es un método eficaz para alterar el perfil de ácidos grasos de los productos lácteos.

Ahsani et al. (2019) suministraron a vacas lecheras dietas a las que se les añadió un 9% de MS como semilla de canola o semilla de soya. Además, se proporcionó un 2% de grasa añadida, en forma de un suplemento comercial en granulos, lo que dio como resultado dietas con un 8% de grasa. Ambos resultaron en reducciones similares de la grasa láctea, mientras que la producción fue mayor para la dieta con semillas de canola (38.4 kg frente a 41.9 kg/vaca/

día para la dieta con harina de soya en comparación con la dieta con harina de canola). El contenido de ácidos grasos insaturados de la leche fue similar en ambas dietas.

Existe un volumen significativo de evidencia que respalda los beneficios de ácidos grasos específicos para la salud y la reproducción de las vacas. Se ha evaluado la semilla de canola en dietas preparto para determinar los impactos en 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 semillas de canola (una fuente de ácido oleico C18:1) o semillas 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 cualquiera de las semillas oleaginosas en comparación con el control. La adición de semillas oleaginosas a la dieta preparto tendió a aumentar los trastornos reproductivos. La calidad del calostro mejoró cuando las vacas recibieron semillas de girasol antes del parto pero no semillas de canola.

Beauchemin et al. (2009) investigaron los efectos de los ácidos grasos de cadena larga en la producción de metano en el rumen mediante la incorporación de semillas trituradas de lino, girasol o canola en 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 semillas de lino y girasol, pero no con la dieta que contenía semillas de canola. Las vacas habían superado el pico de lactancia al inicio del estudio y no hubo diferencias en la producción de leche entre los tratamientos.

GANADO VACUNO DE CARNE

Se ha demostrado que la harina de canola es un valioso ingrediente alimentario para el ganado vacuno, capaz de sustituir varios otros productos de proteína vegetal. Como se señaló anteriormente, la harina de canola tiene un valor energético similar al

de la cebada (Nair et al., 2015, 2016) y se ha demostrado que es una fuente valiosa de energía y proteína para el ganado confinado durante crecimiento y terminación así como durante el pastoreo de invierno.

Hay resultados disponibles de ensayos de alimentación que respaldan el uso de harina de canola suplementaria para las vacas en pastoreo. Patterson et al. (1999a, 1999b) evaluaron frijoles, harina de girasol o harina de canola como suplemento proteico para vacas de carne que pastaban en pastos de mala calidad. Los resultados para el peso de los terneros al nacer, el peso al destete y los cambios en la condición corporal de las vacas fueron similares para todas las harinas. La pérdida de peso durante la gestación fue menor con la harina de canola. Un estudio realizado por Auld et al. (2014) revelaron que las vacas de carne en pastoreo producían más leche cuando la harina de canola reemplazaba parcialmente al trigo en el complemento alimenticio. En un trabajo de investigación de seguimiento, los investigadores determinaron que la inclusión de harina de canola en una ración mixta parcial bien formulada estimuló la ingesta de materia seca del forraje y la energía corrigió la leche al principio, pero no al final de la lactancia. Damiran et al. (2016) evaluaron la harina de canola como sustituto de los granos de destilería de trigo. Las vacas que recibieron granos de destilería de trigo perdieron 7.8 kg de peso corporal, en comparación con 2.5 kg de aquellas que recibieron el suplemento de harina de canola. No hubo diferencias entre los tratamientos para el peso de los terneros al nacer o al destete.

Los terneros en pastoreo también se han beneficiado de la suplementación con harina de canola. Lynch et al. (2021) evaluaron el crecimiento de terneros destetados (de 5 a 6 meses de edad), que pastaban forraje de mala calidad, a los que se les proporcionó harina de canola en proporciones iguales al 0.5, 1.0, 1.5 o 2.0% del peso vivo. Hubo un aumento lineal en la ganancia diaria promedio y en la ingesta de materia seca hasta el suministro de 1.5% de harina de canola.

Se ha demostrado que la suplementación con proteínas beneficia al ganado en crecimiento confinado en corrales secos. Yang et al. (2013)

encontraron que la suplementación con harina de canola mejoró la ingesta y el aumento de peso en novillos confinados. Además de la harina de canola, en el oeste de Canadá se encuentran fácilmente granos de destilería de trigo. Li et al. (2014) complementaron las dietas de novillas en crecimiento confinadas con harina de canola, granos de destilería de trigo y granos de destilería de maíz ricos en proteínas con urea. Todos los suplementos proteicos mejoraron el rendimiento y aumentaron el CMS en relación con un control bajo en proteínas. La digestibilidad total del tracto fue mayor con la harina de canola, y la proteína total que ingresa al duodeno fue mayor para la dieta con maíz de alta proteína y GSDS más urea. Good (2018) realizó dos experimentos de crecimiento en confinamiento en Saskatchewan. Ambos ensayos compararon dietas isonitrogénicas basadas en harina de canola o harina de soya, con y sin sustitución parcial de estas harinas por granos de destilería de trigo. Los aumentos de peso fueron más bajos para la dieta de harina de soya más granos de destilería de trigo en el primer ensayo, sin diferencias de tratamiento en el segundo ensayo.

Prado y Martins (1999) proporcionaron a novillas durante terminación dietas a base de ensilaje de sorgo que contenían 19.7% de harina de canola o 19.5% de harina de semilla de algodón durante un período de alimentación de 98 días. Las novillas que recibieron la dieta con harina de canola ganaron 1.05 kg/día, en comparación con 0.87 kg/día cuando se utilizó harina de semilla de algodón como fuente de proteína. He et al. (2013) alimentaron dietas de engorde para ganado que contenían entre 15 y 30 % de harina de canola en lugar de grano de cebada. Tanto las harinas extraídas con expeller como con solvente se evaluaron en estos niveles de inclusión. No hubo diferencias en la ganancia diaria promedio. Las dietas con el nivel más alto de harina de canola aumentaron el CMS 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 con respecto a la dieta de control. Si bien es inusual alimentar con niveles tan

altos de harina de canola, el estudio demostró que el ganado no tenía aversión a ella. En un ensayo final, Good (2018) comparó 4 fuentes de proteína: harina de canola, harina de soya, 50 % de harina de canola y 50 % de granos de destilería de trigo y, finalmente, 50 % de harina de soya y 50 % de granos de destilería de trigo en dietas para crecimiento /acabado de ganado. No hubo diferencias en el aumento de peso corporal o en la conversión alimenticia entre las dietas que contenían harina de canola, harina de soya o harina de canola más granos de destilería de trigo. Sin embargo, la mezcla de harina de soya con granos de destilería de trigo tuvo un efecto negativo sobre el engorde y el grado de rendimiento.

PEQUEÑOS RUMIANTES

La harina de canola es un complemento ideal para producir lana y cashmere debido al requerimiento de aminoácidos con alto contenido de azufre de estos animales (White et al., 2000; Easton et al., 1998). Además, se ha demostrado que la harina de canola favorece el aumento de peso en estos animales de carne, así como la producción de leche.

Ovejas

Varios ensayos de alimentación anteriores han demostrado que la harina de canola se puede utilizar fácilmente y sin restricciones para apoyar el crecimiento y la producción de las ovejas. Además, se ha demostrado que la harina de canola mejora la ingesta de alimento (Hentz et al., 2012). Mandiki et al. (1999) alimentaron a corderos con dietas que contenían hasta un 30% de harina de colza de calidad de canola (6.3 μ moles/g de glucosinolatos en el concentrado o 21 μ moles/g de glucosinolatos en la harina). No hubo efectos sobre el aumento de peso o el consumo de alimento, aunque el peso de la tiroides fue marginalmente mayor y la producción de hormona tiroidea fue marginalmente menor con los niveles más altos de inclusión en la dieta de harina de colza. Asadollahi et al. (2017) determinaron que una dieta con 7% de semillas de canola tostadas mejoró las tasas de crecimiento, la grasa intramuscular, el área de del lomo y las características sensoriales de los corderos en comparación con una dieta estándar.

Los altramuces han sido tradicionalmente la proteína vegetal elegida por los corderos en Australia, pero Wiese (2004) determinó que la harina de canola es superior a los altramuces en lo que respecta al aumento de peso (272 frente a 233 gramos/día) y la eficiencia alimenticia. Más recientemente, Malau-Aduli et al. (2009) también encontraron que la harina de canola era superior a la de altramuces en 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 dietas para corderos en crecimiento.

Más recientemente, Sekali et al. (2020) proporcionaron a corderos en crecimiento dietas isonitrogénicas en las que la harina de canola o la harina de canola tratada térmicamente reemplazaban a la harina de soya. Los investigadores determinaron que la harina de canola puede reemplazar fácilmente la harina de soya y el tratamiento térmico no proporciona un beneficio adicional. No hubo efectos del tratamiento sobre el crecimiento, las características de la canal o la calidad de la carne. También se observó que la harina de canola era más sostenible desde el punto de vista medioambiental.

Cabras

Como la composición de aminoácidos de la leche de cabra es similar a la de la leche de vaca, la harina de canola debería ser adecuada para la lactancia. Tajaddini et al. (2021) encontraron que la inclusión de harina de canola en las dietas para cabras aumentaba la producción de leche y la ingesta de materia seca. Los investigadores descubrieron que se puede aplicar un tratamiento con formaldehído para aumentar el contenido de PNDR de la harina, lo que permite reducir la cantidad de uso.

Andrade y Schmidely (2006) proporcionaron a cabras lactantes dietas que contenían 0 o 20% de semilla de canola laminada. La producción de leche se incrementó con la semilla de canola. En un estudio de seguimiento (Schmidely y Andrade, 2011) se comparó la soya extruida con la semilla de canola laminada en dietas bajas y altas en concentrado. No hubo diferencias en la producción de leche ni en la

composición de la leche durante la duración del ensayo de 8 semanas.

La harina de canola también se puede utilizar para el crecimiento de cabras. La mayoría de los estudios informan el uso de semillas enteras para permitir que el aceite eleve el contenido energético de la dieta. En un estudio de Grande et al. (2014) una dieta con semilla de canola superó a la harina de soya, linaza y girasol con respecto a la conversión alimenticia. Las ganancias diarias promedio fueron similares para todos los tratamientos. La incorporación de aceite de canola en las dietas para cabras en crecimiento aumenta los ácidos grasos omega-3 musculares, reduce la grasa de los órganos y mejora la estabilidad oxidativa de la harina en comparación con el aceite de palma (Karami et al., 2013).

INFORMACIÓN



RUMIANTES



CERDOS



AVES



ACUACULTURA



CAP. 4 – HARINA DE CANOLA PARA CERDOS

La harina de canola es bien aceptada por los cerdos y, con mejoras en la formulación de la dieta, se puede incluir en niveles cada vez más altos en la dieta 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.



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

TIPO DE DIETA	NIVEL DE INCLUSIÓN
Lechones post-destete	Alto rendimiento en todos los niveles de inclusión práctica. Dietas de prueba hasta un 40% de inclusión
Cerdos en crecimiento	Alto rendimiento hasta el 25%. No hay datos prácticos más allá del 25%
Cerdas gestantes	Alto rendimiento hasta el 25%. No hay datos prácticos más allá del 25%
Cerdas lactantes	Alto rendimiento hasta el 25%. No hay datos prácticos más allá del 25%

HARINA DE CANOLA Y RENTABILIDAD

En un metaanálisis que prueba la manipulación de la dieta para mejorar la rentabilidad, Wang et al. (2020) determinaron que el mejor ahorro de costos se logró reduciendo las proteínas de la dieta. La harina de canola tiene un perfil de aminoácidos muy cercano al ideal (Tabla 1) y puede usarse de manera más eficiente que otras fuentes de proteína vegetal, lo que permite formular dietas con un exceso mínimo de proteína. En el futuro, se espera que las tendencias en la alimentación de los cerdos consideren no solo la digestibilidad de los nutrientes, sino también los efectos de los ingredientes en factores más allá de la producción, como la producción de estiércol, la producción de gases de efecto invernadero y la salud e inmunidad intestinal. Es probable que la harina de canola proporcione beneficios intrínsecos más allá de su perfil de nutrientes.

SOSTENIBILIDAD

La harina de canola es un coproducto valioso que puede no aumentar las emisiones cuando se utiliza en dietas para cerdos en comparación con otras proteínas vegetales. Con respecto a la industria de alimentación porcina, la principal fuente de gases de efecto invernadero proviene del estiércol. Trabue et al. (2021) evaluaron las emisiones gaseosas de cerdos que recibieron dietas a base de maíz en las que la proteína suplementaria procedía de harina de soya, harina de gluten de maíz, harina de canola o harina de ave. No hubo diferencias entre tratamientos en la ganancia

diaria promedio o en la ganancia de alimento. Asimismo, la producción de estiércol fue similar para todos los tratamientos. No hubo diferencias en la producción total de metano o dióxido de carbono para ninguna de las dietas. Los niveles de amoníaco fueron más bajos con las dietas de harina de canola, seguidas por la dieta de harina de ave, y significativamente menores que los ocurridos con las dietas de harina de soya y harina de gluten de maíz.

Una preocupación adicional para el medio ambiente es el fósforo. Es común agregar fitasa a las dietas cuando se utiliza harina de canola o harina de soya. Veum y Liu (2018) determinaron que no se requirió fósforo inorgánico agregado cuando los cerdos en crecimiento y engorda recibieron una dieta de harina de canola y sorgo con fitasa agregada. Los autores concluyeron que este enfoque mejora la sostenibilidad de la industria porcina.

PALATABILIDAD Y CONSUMO DE ALIMENTO

El efecto de un ingrediente del alimento sobre el consumo de alimento en los cerdos es difícil de evaluar objetivamente, dados los muchos factores involucrados. 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 equilibrio mineral del alimento influirán en el consumo de alimento. En el caso de la harina de canola, existen varios factores que tienen el potencial de reducir la ingesta de alimento, como los glucosinolatos, los taninos, la sinapina y el equilibrio de fibra y minerales, que se explican con más detalle en el Capítulo 2 de esta guía. Los glucosinolatos, con su sabor amargo, pueden tener una influencia negativa importante en la ingesta de alimento en los cerdos, como de hecho pueden tenerla en muchas especies animales.

La harina de canola producida en Canadá tiene niveles muy bajos de glucosinolatos (3.57 µmol/g) y tiene un sabor neutro. La harina de colza tradicional puede tener niveles de glucosinolatos superiores a 100 µmol/g (ver Capítulo 2). Niveles tan altos dan como resultado una harina que solo se puede utilizar en cantidades



mínimas para evitar problemas con la ingesta de alimento. Para evitar una disminución en el consumo de alimento, las harinas con niveles tan altos deben usarse con moderación. 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 la misma harina de canola extraída con solvente que había sido sometida a una intensidad de extrusión baja, media o alta. Aunque la extrusión redujo aún más el contenido de glucosinato de la harina, no hubo diferencias en el consumo de alimento por parte de los cerdos destetados. El consumo de alimento, la ganancia de peso y la relación alimento/ganancia no difirieron para ninguno de los tratamientos, incluido el control. Este estudio demostró que una mayor reducción de glucosinatos en la harina de canola no beneficiaría el consumo de alimento y que los cerdos destetados alimentados con harina de canola comían tanto como los cerdos alimentados con harina de soya.

Landerio et al. (2018) realizaron pruebas de preferencia alimenticia con cerdos destetados a los que se les dio la opción de harina de soya o harina de canola. Se observó una fuerte preferencia por la harina de soya, lo que concuerda con la literatura previa; sin embargo, cuando no se ofrecía otra opción, la harina de canola podía incluirse hasta en un 20% en la dieta sin afectar el consumo de alimento ni el rendimiento del crecimiento. Las restricciones para los niveles de inclusión de harina de canola pueden permanecer en la práctica, pero los investigadores las cuestionan y refutan continuamente. La información inadecuada de evaluación de la calidad del alimento para los nutrientes digeribles en la harina de canola ha resultado en algunos problemas con un peor rendimiento de los cerdos en el pasado. Los datos actuales muestran claramente que las dietas formuladas adecuadamente que contienen harina de canola apoyan altos niveles de crecimiento eficiente. Cada vez se comprende mejor el valor nutritivo de la harina de canola para cerdos. 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 harina de canola en dietas bien formuladas.

PROTEÍNA Y AMINOÁCIDOS PARA CERDOS

Perfil de aminoácidos

El perfil de aminoácidos de la harina de canola satisface eficazmente las necesidades de aminoácidos de los cerdos. La lisina es el primer aminoácido limitante; pero, como la lisina sintética está disponible fácilmente, la adición de lisina a las dietas a base de harina de canola hace que satisfagan fácilmente las necesidades de los cerdos.

Los perfiles de aminoácidos de los ingredientes generalmente se expresan como porcentaje de lisina, y los requisitos se expresan de la misma manera. Utilizando las recomendaciones del modelo NRC (2012) o del Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) (van Milgen y Dourmad, 2015), la harina de canola se acumula casi a la perfección y supera ligeramente los requisitos para la mayoría de los aminoácidos (Tabla 1, columna “ como tal”). Con la suplementación con lisina, el perfil cumple con los requisitos con menos exceso (Tabla 1, lisina agregada). Esto demuestra que los cerdos pueden utilizar los aminoácidos de la harina de canola con alta eficacia.

Tabla 1. Perfil de aminoácidos ideal basado en dos modelos y valores para harina de canola (% de lisina).

Aminoácidos	VALORES MODELO, % DE LISINA		HARINA DE CANOLA, % DE LISINA	
	INRA	NRC	Como tal	+ Lisina ¹
Metionina	30	29	33	30
Metionina+ Cisteína	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

	VALORES MODELO, % DE LISINA		HARINA DE CANOLA, % DE LISINA	
Histidina	32	34	56	51
Arginina	42	46	108	99

¹ Contenido de lisina de la harina de canola corregido en un 9% (lisina *1,09).

Digestibilidad de aminoácidos

Las dietas para cerdos se formulan habitualmente con niveles de aminoácidos digeribles en lugar de aminoácidos totales. Pruebas recientes de alimentación con harina de canola en cerdos de iniciación, crecimiento y finalización, en las que las dietas se equilibraron con los mismos niveles de lisina digestible, dieron como resultado una tasa de crecimiento equivalente a la encontrada con harina de soya como fuente principal de proteína, incluso con una inclusión muy alta de harina de canola. Esto se analiza con más detalle en la sección siguiente titulada Harina de Canola en Dietas Iniciales.

Además, los experimentos demostraron que los aminoácidos en las dietas porcinas deben formularse sobre la base de una digestibilidad de aminoácidos verdadera o estandarizada (Nyachoti, et al., 1997). La digestibilidad ileal estandarizada (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 indigestibilidad relacionada con el ingrediente del alimento. La Tabla 2 proporciona resultados de estudios recientes realizados para determinar la digestibilidad ileal estandarizada de los aminoácidos para la harina de canola extraída con solvente y la Tabla 3 muestra los resultados de la harina de canola expeller. Si bien algunas de las referencias han impuesto una variedad de tratamientos, los valores proporcionados en los Cuadros 2 y 3 son para la harina de canola Brassica napus tal como estaría disponible en las plantas procesadoras canadienses.

Tabla 2. Digestibilidad ileal estandarizada (DIE) de aminoácidos en harina de canola extraída con solvente para cerdos en crecimiento¹.

AMINOÁCIDOS	MEDIA, % ²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Indispensable		
Arginina	88.05	3.08
Histidina	80.99	9.73
Isoleucina	80.18	4.52
Leucina	82.73	3.94
Lisina	79.54	5.18
Metionina	86.87	3.79
Fenilalanina	82.00	5.59
Treonina	76.84	5.57
Triptófano	86.10	5.03
Valina	78.22	4.85
Dispensable		
Alanina	80.64	4.62
Ácido aspártico	77.09	5.55
Cisteína	75.80	7.34
Ácido glutámico	86.13	2.62
Glicina	80.03	7.38
Prolina	85.74	9.27
Serina	79.56	5.46
Tirosina	80.50	5.43

¹ Adewole et al., 2017; Almeida et al., 2014; Berrocoso et al., 2015; Favero et al., 2014; Le et al., 2017; Kim et al., 2015; Le Thanh et al., 2019; Maison and Stein, 2014; Mejicanos and Nyachoti, 2018; Park et al., 2019; Sanjayan et al., 2014; Trindade Neto et al., 2012, Velayudhan et al., 2019; ² Media de 43 valores.

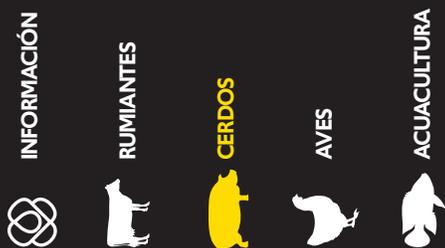


Tabla 3. Digestibilidad ileal estandarizada (DIE) de aminoácidos en harina de canola expeller para cerdos en crecimiento¹.

AMINOÁCIDOS	MEDIA, % ²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Indispensable		
Arginina	86.38	3.99
Histidina	84.55	2.46
Isoleucina	79.15	2.01
Leucina	78.63	6.60
Lisina	78.00	2.09
Metionina	84.60	4.10
Fenilalanina	79.85	4.54
Treonina	73.33	4.89
Triptófano	85.97	3.35
Valina	75.05	5.68
Dispensable		
Alanina	78.00	5.53
Ácido aspártico	75.18	5.82
Cisteína	74.55	5.97
Ácido glutámico	83.45	5.98
Glicina	71.48	12.62
Prolina	85.60	7.35
Serina	77.90	7.01
Tirosina	77.50	3.83

¹ Seneviratne et al., 2011; Grageola et al., 2013; Park et al., 2019; Woyengo et al., 2016; ² Media de 3 valores.

ENERGÍA PARA CERDOS

Valores determinados de energía

La harina de canola contiene una cantidad relativamente grande de una matriz de carbohidratos complejos con digestibilidad limitada. La formulación de la dieta basada en EN permite la inclusión adecuada de harina de canola en las dietas de los cerdos para no afectar el rendimiento.

Los valores de energía publicados por el Consejo Nacional de Investigación (NRC, 2012) se dan en la Tabla 4 y se basan en información histórica, por lo que se han agregado valores más determinados actualmente. Si bien parece haber un rango en los valores determinados, esto puede estar relacionado en parte con el método de análisis. Kim et al (2018) revisaron los métodos disponibles para calcular la EN y descubrieron que los resultados del conjunto de muestras que se analizó oscilaron entre 1,960 y 2,233 kcal/kg con harina de canola.

El valor energético del expeller y de la harina de canola prensada en frío variará según la cantidad de extracto etéreo de la harina. Woyengo et al. (2016) proporcionaron la siguiente ecuación para permitir el ajuste de los valores de energía neta:

$$\text{EN, kcal/kg} = 0.700 \times \text{ED} + 1.61 \times \text{EE} + 0.48 \times \text{almidón} - 0.91 \times \text{PC} - 0.87 \times \text{FDA},$$

Donde EN = energía neta, ED = energía digestible, EE = extracto etéreo, PC = proteína cruda y FDA = fibra detergente ácida.

Tabla 4. Valores energéticos de la harina de canola extraída con disolventes, sin considerar humedad, Kcal/kg.

REFERENCIA	ENERGÍA DIGESTIBLE	ENERGÍA METABOLIZABLE	ENERGÍA NETA
NRC, 2012	3154	2903	1821
Berrocoso et al., 2015	3084	2922	1928 ¹
Heo et al., 2014	2901	2692	1850
Kim et al., 2018	3180	2925	2099
Le et al., 2017	2605	2409	1765
Le Thanh et al., 2019	3273	3012	1834
Liu et al., 2014	2883	2681	1769
Liu et al., 2016	2630	2303	1520 ¹
Liu et al., 2018	2972	2724	1789 ¹
Sanchez-Zannatta et al., 2022	2843	2615	1524

REFERENCIA	ENERGÍA DIGESTIBLE	ENERGÍA METABOLIZABLE	ENERGÍA NETA
Woyengo and Zijlstra, 2021	2880	2600	1720
Zhong and Adeola, 2019	2798	2601	1718 ¹

¹ Calculado como ME x 0.66 (Kil et al., 2013).

Fibra y digestión

Según Kerr y Shurson (2013), la fibra es un término general que se le da a los carbohidratos complejos en el material vegetal, cuya composición puede cambiar con el método de análisis. La digestibilidad de la fibra, que a menudo se considera insignificante, en realidad es bastante variable y gran parte de la digestión se produce en el intestino. Los ácidos grasos volátiles que se generan se pueden utilizar para satisfacer las necesidades del tejido intestinal. La digestión de la fibra per se no suele determinarse en los estudios de alimentación porcina. Sin embargo, en una revisión reciente (Lannuzel et al., 2022), se estimó que se digirieron aproximadamente dos tercios del polisacárido sin almidón de la harina de canola. Si bien anteriormente se creía que aumentar el contenido de fibra de la dieta reducía la proporción de fibra digerida en el intestino posterior, se demostró que esta teoría era falsa (Navarro et al., 2018). La harina de canola nunca es la única fuente de fibra en las dietas y es necesario tener en cuenta las fuentes de fibra y sus interacciones.

Enzimas para mejorar la disponibilidad de energía

La adición de enzimas puede aumentar la energía disponible en dietas que incluyen harina de canola. Se han desarrollado y empleado enzimas multicarbohidrasas para extraer energía de la pared celular de polisacáridos sin almidón. Sanjayan et al. (2014) incluyeron enzimas multicarbohidrasas en las dietas de cerdos destetados alimentados con inclusiones cada vez mayores de harina de canola. El rendimiento del crecimiento no mejoró, pero la adición de enzimas sí aumentó la digestibilidad total aparente en el tracto (DTAT) de la proteína cruda con una inclusión del 20 % y del 25 % de harina de canola en las dietas experimentales. Más recientemente, Velayudhan et al. (2018) observaron aumentos

numéricos en ATTD para MS (3.6%) y energía bruta (3.3%) cuando se incluyó una enzima multicarbohidrasa en las dietas de harina de canola para cerdas lactantes. Las cerdas perdieron menos peso (5.3 frente a 3.3 kg) sin aumentar el consumo con la dieta suplementada con enzimas. 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.

Lee et al. (2018) evaluaron un cóctel de enzimas que contenía xilanasa, glucanasa, celulasa, mananasa, invertasa, proteasa y pectinasa en un sistema in vitro. La digestión de la materia seca in vitro tanto de la harina de canola extraída con solvente como de la harina de canola expeller mejoró en un 8.7 y 9.2% respectivamente. La ventaja de usar el sistema in vitro fue que las enzimas solo podían actuar sobre la harina de canola y no sobre otros ingredientes de la dieta. Los investigadores determinaron que la mezcla aumentaba la digestibilidad y disminuía la producción de gases y ácidos grasos volátiles. Esto indicó que se digirió más harina de canola y se fermentó menos cuando se añadió la mezcla de enzimas a la dieta.

EXTRACTO ETÉREO

Se ha demostrado que la porción lipídica de la harina de canola es altamente digerible por los cerdos. Seneviratne et al. (2011) encontraron que el componente lipídico de la harina de canola expeller se digirió en un 93.6%. Debido a que el aceite de canola está compuesto en gran parte por ácidos grasos monoinsaturados y bajo en ácidos grasos saturados, la digestibilidad es alta.

Silva et al. (2021) determinaron que la inclusión de un 3 por ciento de aceite de canola en una dieta de harina de maíz y soya para cerdos en crecimiento y engorda aumentaba la concentración de ácido oleico y propusieron que el aporte de ácidos grasos de la canola se considere como un medio para producir carne de cerdo que tiene mayores beneficios para la salud.



MINERALES Y VITAMINAS

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

La harina de canola es una fuente rica de fósforo. Como muchas harinas de semillas oleaginosas, una gran parte del fósforo de la harina de canola está ligado al ácido fítico. Es una práctica común agregar 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; Favero et al., 2014; Adhikari et al., 2016) demostraron que la digestibilidad del fósforo se puede aumentar en la harina de canola con el uso de fitasa desde un promedio de 34 a 61 %. Maison et al. (2015) analizaron cinco muestras de harina de canola y determinaron un mayor valor de digestibilidad para el fósforo del 45% sin fitasa agregada, un valor superior al determinado en estudios anteriores. La suplementación con fitasa aún aumentó la digestibilidad del fósforo hasta un 64%, similar a los hallazgos anteriores. Veum y Liu (2018) determinaron que no se necesitaba fósforo inorgánico para las dietas de harina de canola y sorgo cuando las dietas contenían fitasa añadida.

La cantidad de calor aplicada durante el procesamiento también puede influir en la digestibilidad del fósforo. Lee y Nyachoti (2021) descubrieron que el procesamiento térmico aumentaba la disponibilidad de fósforo tanto con la harina de canola extraída con disolvente como con la harina de canola expeller.

Un beneficio adicional de la suplementación con fitasa es la mejora de la digestibilidad del calcio. González-Vega, et al. (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) observaron una mejora en la digestibilidad del calcio del 58 % al 75 %.

ALIMENTACIÓN DE CERDOS CON HARINA DE CANOLA EXTRAIDA CON SOLVENTE

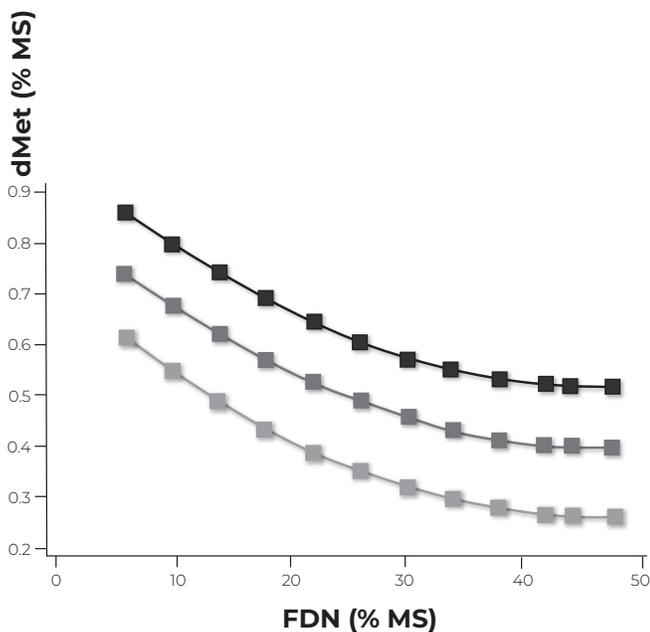
Metaanálisis del valor alimenticio

Se han realizado varios metaanálisis para evaluar el valor de la harina de canola en las dietas para cerdos. Hansen et al. (2020) analizaron datos de 37 estudios que involucraron harina de canola y harina de colza 0/0 para determinar la tasa límites de inclusión de la harina. Para los cerdos destetados, se obtuvieron resultados de estudios en los que las tasas de inclusión fueron del 2 al 40 por ciento de la dieta. En general hubo una ligera reducción en el consumo de materia seca, pero esto no afectó la ganancia diaria promedio y resultó en una ligera mejora en la relación ganancia/ alimento. El rango de niveles de inclusión para cerdos en crecimiento y engorda fue del 3.8 al 49.0% de la dieta. Los autores determinaron que la ganancia diaria promedio general fue ligeramente menor con la harina de canola, pero no hubo diferencias debido al nivel de inclusión de harina de canola. Los autores concluyeron que la harina de canola y la harina de colza con bajo contenido de glucosinolato se pueden utilizar en dietas bien equilibradas en cerdos destetados y durante el crecimiento y finalización sin efectos adversos en el rendimiento.

Messad et al. (2016) utilizaron técnicas de metaanálisis y metaanálisis de regresión para evaluar la previsibilidad de la digestibilidad de los aminoácidos en las harinas de semillas oleaginosas. Los investigadores encontraron que la fibra detergente neutra (FDN) en la dieta estaba inversamente relacionada con la digestibilidad de los aminoácidos por parte de los cerdos (figura 1).

Figura 1. Impacto de la concentración dietética de FND en el contenido de metionina ileal estandarizada digestible (dMet) de las harinas de semillas oleaginosas en los piensos para cerdos. Negro: harina de soya; gris oscuro: harina de colza; harina de semilla de algodón de color gris claro. MS = materia seca. Messad et al., 2016.

Tolerancia a los glucosinolatos



Los glucosinolatos son el principal factor antinutricional que se encuentra en la harina de canola para cerdos. Se considera que los cerdos son muy susceptibles a los glucosinolatos, y esto se aplica sobre todo a los cerdos más jóvenes (Bischoff, 2019). En los primeros años de alimentación con harina de canola, 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 para cerdos de 2.0 a 2.5 μmol de glucosinolatos/g de dieta. Dos estudios posteriores respaldaron esta recomendación (Schone et al., 1997a, 1997b). En el primero de estos dos estudios, cerdos en crecimiento que pesaban aproximadamente entre 20 y 50 kg fueron alimentados con una variedad de dietas que contenían los mismos niveles de harina de canola pero que variaban en el contenido total de glucosinolatos de 0 a 19 $\mu\text{mol}/\text{g}$ (Schone et al., 1997a).

Una concentración superior a 2.4 $\mu\text{mol}/\text{g}$ de glucosinolatos en la dieta tuvo efectos negativos sobre el consumo de alimento, la tasa de crecimiento y la función tiroidea. En el segundo estudio, el nivel máximo seguro de glucosinato se determinó en 2.0 $\mu\text{mol}/\text{g}$ de dieta (Schone et al., 1997b). Dado que la harina de canola canadiense contiene, en promedio, 3.6 $\mu\text{mol}/\text{g}$ de glucosinolatos, esto correspondería a un nivel máximo de inclusión de harina de canola del 55 al 69 % en dietas para cerdos en crecimiento, un valor superior al necesario para que la formulación comercial cumpla con los requisitos de aminoácidos para una dieta basada en cereales. Estudios recientes han demostrado que los cerdos de engorda-terminación tendrán un buen rendimiento con dietas que contengan hasta un 30 % de harina de canola (Smit et al., 2014a), y los cerdos de iniciación se desempeñarán 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 con los niveles actuales de glucosinolatos en la harina de canola, no existen limitaciones para su inclusión en las dietas de engorda-terminación.

Harina de canola en dietas iniciales

Recientes investigaciones han demostrado que la harina de canola puede ser un ingrediente valioso para su inclusión en dietas para cerdos destetados. Landero et al. (2011) alimentaron con harina de canola a cerdos destetados con un peso inicial promedio de 8.1 kg con niveles de inclusión de hasta 200 g/kg sin afectar negativamente el rendimiento. Esto fue demostrado nuevamente en 2014 por Sanjayan et al., en un estudio donde la harina de canola se incluyó en un 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 harina de canola podría marcar la diferencia, Mejicanos et al. (2017) proporcionaron dietas a lechones (con un 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 principal. El rendimiento de los cerdos con dietas de harina de



canola fue igual al de las dietas de harina de soya. La principal diferencia entre estos tres estudios, en comparación con el trabajo anterior, es que los investigadores formularon dietas basadas en EN y DIE de los amino ácidos.

Wang et al. (2017) alimentaron a cerdos recién destetados con dietas que contenían un 20 % de harina de canola. Las cuatro fuentes de harina de canola analizadas 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 entre las dietas de harina de soya y de harina de canola, pero no hubo diferencias en la digestibilidad entre las cuatro 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/alimento a medida que aumentaba la inclusión de harina de canola, asociado con ningún cambio en la ganancia diaria promedio, y una disminución lineal en la ingesta a medida que aumentaban los niveles de harina de canola. Este importante estudio muestra que, con una correcta formulación de la dieta, se puede incluir hasta un 40% de harina de canola en las dietas iniciales para lechones. La Tabla 5 proporciona comparaciones entre la harina de canola y la harina de soya según lo determinado en estudios recientes. En general, hubo pocos efectos del tratamiento estadísticamente significativos sobre la ganancia media diaria (GMD) y la ganancia por unidad de alimento.

Algunas de las diferencias en el rendimiento podrían atribuirse al menor contenido energético en las dietas de harina de canola. Kim et al. (2020) determinaron que los cerdos de menos de 20 kg no pueden ajustar la ingesta de alimento en respuesta a la densidad energética neta de la dieta, independientemente de la composición de la dieta.

Tabla 5. Estudios que evalúan la harina de canola en dietas iniciales en comparación con dietas de control de harina de soya.

REFERENCIA	INCLUSIÓN, %	VARIABLE	HARINA DE CANOLA	HARINA DE SOYA	VALOR P
Do et al., 2017	8	GMD, g	142	165	0.280
		Ganancia/alimento	0.54	0.50	0.162
Hong et al., 2020	10	GMD, g	359	323	<0.05
		Ganancia/alimento	0.62	0.50	<0.05
	20	GMD, g	378	323	
		Ganancia/alimento	0.66	0.50	
30	GMD, g	352	323		
	Ganancia/alimento	0.64	0.50		
40	GMD, g		325	323	
		Ganancia/alimento	0.56	0.5	
Landero et al., 2011	20	GMD, g	493	488	0.592
		Ganancia/alimento	0.7	0.73	0.087
Mejicanos et al., 2017	20	GMD, g	408	408	0.459
		Ganancia/alimento	0.61	0.59	0.024

REFERENCIA	INCLUSIÓN, %	VARIABLE	HARINA DE CANOLA	HARINA DE SOYA	VALOR P
Parr et al., 2015	10	GMD, g	590	560	0.108
		Ganancia/alimento	0.6	0.59	0.001
	20	GMD, g	610	560	
		Ganancia/alimento	0.65	0.59	
	30	GMD, g	580	560	
		Ganancia/alimento	0.65	0.59	
	40	GMD, g	570	560	
		Ganancia/alimento	0.68	0.59	
Sanjayan et al., 2014	5	GMD, g	472	452	0.979
		Ganancia/alimento	0.6	0.60	0.714
	10	GMD, g	468	452	
		Ganancia/alimento	0.59	0.60	
	15	GMD, g	453	452	
		Ganancia/alimento	0.6	0.60	
Seneviratne et al., 2011	15	GMD, g	445	469	0.87
		Ganancia/alimento	0.71	0.71	0.323
Wang et al., 2017	20	GMD, g	664	660	0.487
		Ganancia/alimento	0.66	0.65	0.047

Harina de canola en dietas de crecimiento y finalización.

La Tabla 6 muestra los resultados de tres estudios 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. Recientemente Smit et al. (2018) compararon la harina de canola extraída con solventes con la harina de soya expeller y observaron mayores tasas de ganancia y relación ganancia-alimento con la dieta de harina de soya expeller. Los autores observaron que la dieta de crecimiento, que contenía un 25% de harina de canola, introducida abruptamente a los cerdos sufrieron después una reducción en la ingesta de alimento durante un corto período. El consumo de alimento se recuperó, sin embargo, las ganancias y la proporción de alimento a ganancia se mantuvieron significativamente diferentes. Si los cerdos van a recibir un cambio abrupto en la dieta a niveles muy altos de harina de canola, podría ser necesario realizar los cambios en etapas.

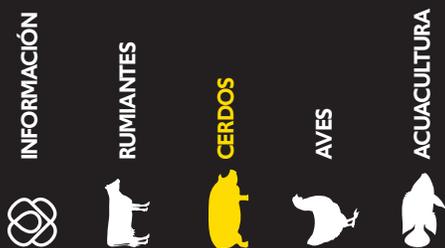


Tabla 6. Estudios que evalúan la harina de canola en dietas de crecimiento y finalización en comparación con dietas de control de harina de soya.

REFERENCIA	INCLUSIÓN, %	VARIABLE	HARINA DE CANOLA	HARINA DE SOYA	VALOR P
Kim et al., 2015	11.3	GMD, g	700	725	0.102
		Gain/feed	0.46	0.44	0.196
Little et al., 2015	27.3/23.2	GMD, g	940	930	0.700
		Gain/feed	0.36	0.37	0.200
Smit et al., 2018 ¹	25/20	GMD, g	988	1025	0.001
		Gain/feed	0.36	0.37	0.001

¹ La dieta control se basó en harina de soya expeller.

Ensayos de alimentación de crecimiento y finalización en climas tropicales

Se realizaron tres ensayos de alimentación en tres estados mexicanos: Nuevo León, Sonora y Michoacán (Hickling, 1996). El objetivo fue replicar el desempeño encontrado en pruebas de alimentación canadienses realizadas anteriormente (Tablas 7 y 8), pero usando ingredientes mexicanos (dos de las pruebas de alimentación usaron sorgo como grano base en la dieta y una prueba usó maíz) y condiciones mexicanas (medio ambiente, genética y gestión porcina). Además, la harina de canola utilizada en los ensayos fue producida a partir de semillas de canola canadienses por procesadores de semillas oleaginosas mexicanas. El diseño fue muy similar a las pruebas 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 estaban equilibradas en cuanto a aminoácidos digeribles mínimos, proteínas ideales y niveles iguales de energía. Las dietas y los resultados por fase de crecimiento se muestran en la Tabla 9. Al igual que con los resultados de clima templado, se observaron crecimiento equivalente, eficiencia alimenticia y calidad de la canal en los tres tratamientos dietéticos (Tabla 10). El rendimiento entre ubicaciones varió debido principalmente a la genética de los cerdos y a los efectos estacionales.

Harina de canola en dietas para cerdas

Los primeros estudios demostraron que la harina de canola se acepta fácilmente en las dietas para cerdas y primerizas. Flipot y Dufour (1977) no encontraron diferencias en el desempeño reproductivo entre cerdas alimentadas con dietas con o sin 10% de harina de canola agregada. Lee et al. (1985) no encontraron diferencias significativas en el desempeño reproductivo de las primerizas a lo largo de una camada. Estudios realizados en la Universidad de Alberta (Lewis et al., 1978) no han demostrado diferencias en el desempeño reproductivo de primerizas a lo largo de dos ciclos reproductivos cuando se alimentan con dietas que contienen hasta un 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 ser la principal fuente suplementaria de proteína en las dietas de primerizas y cerdas.

Tabla 7. Resultados de pruebas de alimentación canadienses: rendimiento promedio de cerdos en crecimiento (20-60 kg) y en Terminación (60-100 kg) alimentados con dietas suplementadas con harina de soya (HS) o dos niveles de harina de canola (HC)¹.

Ingredientes	CRECIMIENTO			TERMINACIÓN		
	HS	Baja HC	Alta HC	HS	Baja HC	Alta HC
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	0	6	10	0	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	5
Rendimiento						
Consumo de alimento, kg/d	1.91	1.93	1.89	3.06	3.11	3.08
Ganancia, kg/d	0.76	0.76	0.77	0.84	0.83	0.82
Ganancia/alimento	0.42	0.42	0.41	0.26	0.27	0.27

¹Hickling, 1994.

Tabla 8. Resultados del ensayo de alimentación canadiense: rendimiento general de cerdos en crecimiento y terminación (20-100 kg) alimentados con dietas suplementadas con harina de soya (HS) o dos niveles de harina de canola (HC)¹.

RENDIMIENTO	HS	BAJO HC	ALTO HC
Consumo, kg/d	2.46	2.5	2.47
Ganancia, kg/d	0.8	0.8	0.8
Ganancia/alimento	0.33	0.32	0.32
Canal, %	78	78	78
Indice de grasa dorsal	107	107	107

¹Hickling, 1994.



Tabla 9. Resultados de pruebas de alimentación tropical: rendimiento promedio de cerdos en crecimiento (20-60 kg) y terminación (60-100 kg) alimentados con dietas suplementadas con harina de soya (HS) o dos niveles de harina de canola (HC)¹.

Ingredientes	CRECIMIENTO			TERMINACIÓN		
	HS	Baja HC	Alta HC	HS	Baja HC	Alta HC
Sorgo o maíz	72	68	67	76	72	70
Harina de soya	24	19	16	20	13	10
Harina de canola	0	8	12	0	10	15
Grasa	0	1	2	0	1	2
L-Lisina	0	0.33	0.47	0.12	0.50	0.70
Minerales/vitaminas	4	4	4	4	4	5
Rendimiento						
Consumo, kg/d	2.17	2.23	2.18	3.22	3.21	3.12
Ganancia, kg/d	0.78	0.77	0.76	0.85	0.83	0.82
Ganancia/alimento	0.36	0.35	0.35	0.26	0.26	0.26

¹Hickling, 1996.

Tabla 10. Resultados de ensayos de alimentación tropical: rendimiento general de cerdos en crecimiento y terminación (20-100 kg) alimentados con dietas suplementadas con harina de soya (HS) o dos niveles de harina de canola (HC)¹.

RENDIMIENTO	HS	BAJO HC	ALTO HC
Consumo, kg/d	2.72	2.74	2.67
Ganancia, kg/d	0.82	0.81	0.80
Ganancia/alimento	0.30	0.29	0.29
Canal, %	48.6	48.8	49.3
Índice de grasa dorsal	2.38	2.33	2.15

¹Hickling, 1996

Más 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 maternidad 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 espesor de la grasa dorsal, y que ni el crecimiento de los lechones ni la composición de la leche se vieron influenciados por las dietas. Tampoco hubo diferencias en el intervalo destete-estro. Los investigadores concluyeron que se puede incluir hasta un 30% de harina de canola en las dietas de las cerdas sin que se pierda el rendimiento de las cerdas ni de sus camadas. Un estudio de seguimiento (Velayudhan et al., 2018) confirmó que el rendimiento de las cerdas 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 reemplazaban el 0, el 50 o el 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 del 23.3% en la dieta de gestación y del 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 con mayor contenido de harina de canola que con la dieta de control (Tabla 11).

Tabla 11. Evaluación de la harina de canola en dietas para cerdas¹.

PARÁMETROS	HARINA DE SOYA	CANOLA/ SOYA	HARINA DE CANOLA	VALOR P
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	2.42	5.22	5.80	<0.05

¹Liu et al., 2018.

ALIMENTACIÓN DE CERDOS CON HARINA DE CANOLA EXPELLER

Como era de esperar, no hay pérdida de rendimiento cuando los cerdos reciben harina de canola en expeller. Seneviratne et al. (2011) proporcionaron a cerdos destetados dietas enriquecidas con un 15% de harina de canola a cambio de un 15% de harina de soya (Tabla 12). No hubo diferencias en la GMD ni en la relación entre ganancia y alimento en ese estudio. Landero et al., 2012 alimentan dietas que contienen 5, 10, 15 y 20% de harina de canola, en sustitución de harina de soya, a cerdos, comenzando a los 26 días de edad y continuando hasta los 54 días de edad. No hubo diferencias en el rendimiento para ninguno de los tratamientos. Las dietas se formularon con los mismos niveles de NE y AADIE. La digestibilidad total aparente de la proteína y la energía en el tracto disminuyó linealmente a medida que aumentó el nivel de inclusión de la harina de canola.

Tabla 12. Estudios que evalúan la harina de canola expeller en dietas de inicio en comparación con la dieta control de harina de soya.

REFERENCIA	INCLUSIÓN, %	VARIABLE	HARINA DE CANOLA	HARINA DE SOYA	VALOR P
Landero et al., 2011	5	GMD, g	643	661	0.420
		Ganancia/alimento	0.71	0.71	0.758
	10	GMD, g	642	661	
		Ganancia/alimento	0.73	0.71	
	15	GMD, g	640	661	
		Ganancia/alimento	0.71	0.71	
	20	GMD, g	648	661	
		Ganancia/alimento	0.72	0.71	
Landero et al., 2015	20	GMD, g	455	454	0.933
		Ganancia/alimento	0.71	0.72	0.757
Seneviratne et al., 2010	7.5	GMD, g	906	931	0.001
		Ganancia/alimento	0.49	0.48	0.627
	15	GMD, g	909	931	
		Ganancia/alimento	0.49	0.48	
	22.5	GMD, g	866	931	
		Ganancia/alimento	0.49	0.48	
Seneviratne et al., 2011	15	GMD, g	445	469	0.870
		Ganancia/alimento	0.72	0.71	0.323



ALIMENTACIÓN DE SEMILLAS DE CANOLA Y ACEITE EN CERDOS

El aceite de canola se utiliza habitualmente en la alimentación de los cerdos en todas las etapas de su vida. El aceite de canola crudo suele ser una fuente de energía económica y un supresor de polvo en el alimento. La semilla de canola también se utiliza como fuente de proteína y energía, aunque generalmente se limita a un 10% de inclusión en la dieta, ya que niveles más altos darán como resultado una grasa más blanda en la canal (Kracht, et al., 1996). La semilla de canola debe molerse antes de alimentarla. Se puede alimentar efectivamente crudo, aunque el tratamiento térmico puede resultar beneficioso siempre que no se utilice calor excesivo durante el procesamiento, lo que reducirá la digestibilidad de los aminoácidos. También se debe realizar un análisis de nutrientes en la semilla de canola, ya que puede ser una semilla que no sea adecuada para los procesadores de canola. Montoya y Leterme (2010) estimaron un contenido de EN en semillas de canola enteras de 3.56 Mcal/kg (base de MS), pero observaron una posible subestimación debido a una reducción demostrada en el consumo de alimento y el rendimiento cuando los niveles de inclusión en la dieta excedían el diez por ciento.

HARINA DE CANOLA Y SALUD INTESTINAL

Existe un apoyo significativo para el uso de harina de canola para mantener la salud intestinal en los cerdos. Porciones de fibra se fermentan selectivamente en el intestino, lo que provoca cambios en la composición y actividad del microbiota gastrointestinal. Estos componentes, denominados prebióticos, confieren beneficios para la salud y ayudan al intestino a resistir los desafíos patógenos. Además, los compuestos derivados de la degradación de los glucosinolatos pueden servir como agentes antibacterianos y antifúngicos (Dufour et al., 2015).

La investigación con cerdas lactantes demostró que el perfil de las bacterias intestinales era más favorable al producir una mayor proporción de bacterias productoras de ácido láctico con una dieta de harina de canola que con una dieta de harina de soya (Velayudhan et al., 2018). De manera similar, la harina de canola, cuando se usó para reemplazar la harina de

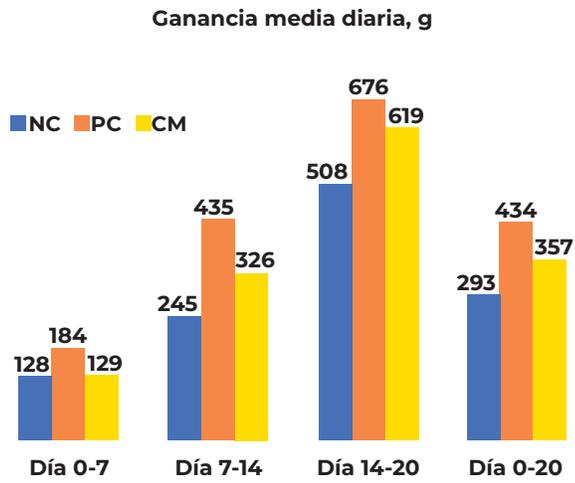
soya, aumentó la abundancia relativa de *Lactobacillus* y *Enterococcus* en cerdos de destete (Mejicanos et al., 2017).

Desde entonces, una investigación realizada en la Universidad Estatal de Dakota del Norte demostró que la harina de canola era beneficiosa para los lechones destetados (Hong et al., 2020). Cuando se incluyó en el alimento inicial en un 20% de la dieta, la composición microbiana intestinal mejoró y hubo una respuesta inflamatoria reducida. En un experimento de seguimiento, los investigadores determinaron que los lechones que recibieron un alimento inicial con harina de canola eran más capaces de combatir una infección por *E. coli* que aquellos que recibieron una dieta de harina de soya (Hong et al., 2021). La provocación se administró el día 3 del estudio y la prueba finalizó el día 20. Como muestra la Tabla 13, los cerdos destetados que recibieron la dieta de harina de soya ganaron un 67% más que los cerdos que recibieron antibióticos. Por el contrario, la inclusión de un 20% de harina de canola a cambio de parte de la harina de soya permitió a los cerdos ganar un 82% de la cantidad obtenida con el régimen de antibióticos. La ganancia fue el resultado de un mayor consumo de alimento con la dieta de harina de canola. La Figura 2 muestra que la ventaja proporcionada por la harina de canola fue consistente durante la duración del estudio.

Tabla 13. Evaluación de parámetros de crecimiento en lechones destetados que reciben alimento inicial y una exposición a *E. coli* (Hong et al., 2021).

PARÁMETROS	CONTROL NEGATIVO	CONTROL POSITIVO	20% DE HARINA DE CANOLA
	Harina de soya + desafío	Harina de soya + desafío + antibiótico	20% Harina de canola + desafío
Ganancia, g/día	293	434	357
Consumo de alimento, g/día	350	513	435
Ganancia/alimento	0.83	0.85	0.83

Figura 2. Ganancias diarias promedio semanales encontrados en el estudio de desafío (NC= control negativo, PC= control positivo, CM=harina de canola).





CAP. 5 – HARINA DE CANOLA PARA AVES

La harina de canola se utiliza como alimento para todo tipo de aves de corral en todo el mundo. La harina proporciona un excelente perfil de aminoácidos y es una alternativa o complemento a otros ingredientes proteicos como la harina de soya. La harina de canola proporciona un valor excelente en dietas donde el mayor énfasis en la formulación se pone en el equilibrio de aminoácidos. La harina de canola también podría ser una alternativa rentable a otras proteínas en las dietas para pollos de engorda con alto contenido energético. Se debe tener cuidado al formular dietas basadas en aminoácidos digeribles para garantizar que el rendimiento sea óptimo cuando se incluye harina de canola en las dietas para aves.



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

TIPO DE DIETA	NIVEL DE INCLUSIÓN
Pollitos inicio	Consumo puede ser reducido con inclusiones mayores del 20%
Engorda en crecimiento	Alto rendimiento reportado a inclusiones del 30%
Engorda en acabado	Alto rendimiento reportado a inclusiones del 40%
Ponedoras	Sin datos a más del 24%
Reproductoras de engorda	Alto rendimiento a inclusiones del 30%. Sin datos con más del 30%
Pavos inicio	Alto rendimiento a inclusiones del 24% sin datos a más del 24%
Pavos crecimiento	Alto rendimiento a inclusiones del 24% sin datos a más del 24%
Pavos acabado	Alto rendimiento a inclusiones del 24% sin datos a más del 24%
Patos inicio	Alto rendimiento con 10%. Mas datos son necesarios
Patos crecimiento	Alto rendimiento hasta 21%. Sin datos a más de 21%
Gansos inicio	Sin datos
Gansos crecimiento	Alto rendimiento con 16%. Sin datos a más del 16%
Codorniz crecimiento	Alto rendimiento reportado al 15%
Codorniz ponedora	Alto rendimiento con 18.5%. Sin datos a más 18.5%
Avestruces	Alto rendimiento con 20.0%. Solo un trabajo

HARINA DE CANOLA Y RENTABILIDAD

La tasa de producción es la base para la comparación de ingredientes en la mayoría de los ensayos académicos. Sin embargo, en la industria, el costo/ unidad de ganancia es la integración de varios factores, incluidos el costo de los ingredientes, la producción, la salud y la supervivencia. Si bien alimentar a las aves con harina de canola no siempre resulta en tasas máximas de ganancia, puede haber reducciones en el costo/unidad de producción cuando se incorpora harina de canola en las dietas.

SOSTENIBILIDAD

En un estudio elaborado que evaluó pollos de engorda tanto de crecimiento rápido como de crecimiento lento, Berger et al. (2021) demostraron que los pollos de engorda se adaptan fácilmente a dietas que contienen fuentes de proteínas alternativas a la harina de soya e incluyeron harina de canola en su evaluación. Determinaron que el reemplazo puede resultar en un ligero aumento en el costo de producción (menos del 2%) debido a una mayor ingesta de alimento, pero puede resultar en reducciones importantes en las emisiones de gases de efecto invernadero, a menudo asociadas con los sistemas de producción utilizados para producir y adquirir harina de soya. Si bien esto puede no ser siempre así, se está generando mejor información para permitir predecir la sostenibilidad con mayor precisión.

PALATABILIDAD Y CONSUMO DE ALIMENTO

Se ha demostrado que las aves son reacias a los compuestos amargos (Yoshida et al., 2022). Los glucosinolatos tienden a impartir un sabor amargo y las variedades más antiguas de harina de canola, que contenían concentraciones más altas de estos compuestos, dieron como resultado una ingesta reducida (Khajali y Slominski 2012).

En general, las aves mantienen niveles adecuados de consumo de alimento si se les administran dietas ricas en harina de canola que estén formuladas adecuadamente para los aminoácidos disponibles. Sin embargo, los estudios en la cría de aves sugieren que la harina de canola debe limitarse durante el período inicial al 20% para pollos de engorda y pavos, y al 10% para especies menos estudiadas como patos, gansos y codornices. En etapas posteriores del crecimiento se toleran fácilmente concentraciones del 30% al 40% de la dieta. Oryschak y Beltranena (2013) y Rogiewicz et al. (2015) demostraron que la formulación adecuada de la dieta permite incluir harina de canola en un 20% de la dieta sin efectos negativos en la ingesta de alimento en dietas de gallinas ponedoras. El consumo de alimento se mantuvo para los pollos de engorda alimentados con hasta un 20% de harina de canola



desde el día 1 al 35 de vida (Naseem et al., 2006), y los productores de pollos de engorda pueden recibir dietas con hasta un 30% de harina de canola (Newkirk y Classen, 2002; Ramesh et al., 2006).

PROTEÍNA Y AMINOÁCIDOS PARA AVES

El uso de harina de canola en niveles elevados en las dietas de las aves se logra mejor equilibrando las dietas en cuanto a aminoácidos disponibles. En los últimos tiempos se han realizado extensas investigaciones para determinar la digestibilidad ileal estandarizada (DIE) de los aminoácidos de la harina de canola extraída con solventes. Los resultados para pollos de engorda se proporcionan en la Tabla 1 y los resultados de DIE para gallinas ponedoras, pavos y patos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1. Digestibilidad ileal estandarizada (DIE) de aminoácidos en harina de canola para pollos de engorda¹.

AMINOÁCIDOS	MEDIA, % ²	DESVIACIÓN ESTANDAR
Indispensables		
Arginina	87.23	2.33
Histidina	76.51	11.31
Isoleucina	82.66	3.71
Leucina	83.68	2.58
Lisina	79.32	3.06
Metionina	88.93	2.10
Fenilalanina	83.89	2.21
Treonina	76.48	3.68
Triptófano	87.15	5.18
Valina	78.85	3.94
Dispensables		
Alanina	82.96	3.04
Ácido aspártico	77.59	4.17
Cisteína	76.47	3.77
Ácido glutámico	89.00	3.54
Glicina	78.80	4.08

AMINOÁCIDOS	MEDIA, % ²	DESVIACIÓN ESTANDAR
Prolina	77.45	3.31
Serina	80.51	4.73
Tirosina	82.66	5.28

¹Adewole et al., 2017; Agyekum and Woyengo, 2022; Ariyibi, 2019; Chen et al., 2015; Gallardo et al., 2017; Kim et al., 2012; Kong and Adeola, 2013; Osho et al., 2019; Park et al., 2019; Ross et al., 2019; ²Promedio de 41 Valores.

Huang et al. (2006) encontraron que no había diferencias en la digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos entre pollos de engorda, gallinas ponedoras y gallos adultos, lo que no ocurre con todos los ingredientes del alimento (Adedokun et al., 2009; Huang et al., 2006). Por lo tanto, los valores mostrados pueden ser útiles para extrapolar los valores de DIE para otras especies de aves.

Tabla 2. Digestibilidad ileal estandarizada (DIE) de aminoácidos en harina de canola para gallinas ponedoras, pavos y patos¹.

AMINOÁCIDOS	GALLINAS PONEDORAS ¹	PAVOS ²	PATOS ³
Indispensables			
Arginina	88.23	88.57	85.30
Histidina	82.97	79.67	81.75
Isoleucina	77.70	76.29	78.40
Leucina	80.63	78.51	83.50
Lisina	80.60	79.86	75.50
Metionina	88.67	84.19	88.60
Fenilalanina	81.70	83.49	84.00
Treonina	73.50	75.13	74.60
Triptófano	82.30	95.00	87.40
Valina	77.73	74.39	77.55
Dispensables			
Alanina	80.00	81.83	80.05
Ácido aspártico	77.20	80.92	74.90
Cisteína	77.67	73.59	79.80

AMINOÁCIDOS	GALLINAS PONEDORAS ¹	PAVOS ²	PATOS ³
Ácido glutámico	86.75	88.07	85.15
Glicina	76.70	82.01	75.55
Prolina	75.70	75.68	83.10
Serina	75.60	80.04	82.05
Tirosina	78.30	79.02	80.45

¹ Goudarzi et al., 2017; Oryschak et al., 2020. Media de 4 valores; ² Adedoken et al., 2008; Koslowski et al., 2011; Koslowski et al., 2018; Zhang et al., 2020. Media de 28 valores; ³ Kong y Adeola, 2013; Zhang et al., 2020. Media de 30 valores.

Los valores de DIE obtenidos con harina de canola extraída con expeller se proporcionan en la Tabla 3. Los valores están disponibles en estudios que utilizan pollos de engorda únicamente. Debido a las similitudes en los valores de DIE entre pollos de engorda, gallinas ponedoras, pavos y patos para la harina de canola extraída con solventes, lo más probable es que los valores de DIE indicados en la Tabla 3 puedan usarse para todas estas especies comerciales hasta que haya más información disponible.

Tabla 3. Digestibilidad ileal estandarizada (DIE) de aminoácidos en harina de canola extraída con expeller para pollos de engorda¹.

AMINOÁCIDOS	MEDIA, % ²	DESVIACIÓN ESTANDAR
Indispensables		
Arginina	85.49	4.69
Histidina	74.97	12.14
Isoleucina	80.13	7.85
Leucina	81.41	3.96
Lisina	80.79	4.46
Metionina	87.60	4.09
Fenilalanina	83.00	4.29
Treonina	77.43	4.30
Triptópano	83.27	8.37

AMINOÁCIDOS	MEDIA, % ²	DESVIACIÓN ESTANDAR
Valina	78.79	4.53
Dispensables		
Alanina	79.56	5.49
Ácido aspártico	80.04	7.72
Cisteína	87.01	6.18
Ácido glutámico	80.57	4.87
Glicina	76.84	3.97
Prolina	79.97	3.73
Serina	77.93	6.94
Tirosina	79.56	5.49

¹ Agyekum and Woyengo, 2022; Bryan et al., 2019; Park et al., 2019; Kong and Adeola, 2016; Toghyani et al., 2014; Woyengo et al., 2010; ² Media de 19 valores.

ENERGÍA PARA AVES

El valor energético de la harina de canola para aves es menor que el de la harina de soya, la proteína vegetal más común utilizada en las dietas de las aves. En ciertas dietas, donde el valor energético de las dietas es de gran importancia, como en el caso de los pollos de engorda, los niveles de inclusión de harina de canola pueden estar restringidos. Las dietas para ponedoras de huevos y las dietas para pavos de fase temprana, ricas en proteínas y basadas en una formulación de menor costo, en ocasiones pueden restringir los niveles de inclusión de harina de canola si no se encuentran disponibles ingredientes con alto contenido energético.

Los valores de energía metabolizable aparente (EMAn) que se muestran en la Tabla 4 para la harina de canola extraída con solvente reflejan resultados de experimentos recientes y pueden diferir de los valores publicados donde se probaron variedades más antiguas, que ya no están disponibles. Parte de la variabilidad puede estar asociada con la temporada y/o el lugar donde se cultivó la canola. Sin embargo, investigadores de Georgia (Veluri y Olukosi, 2020; Wu et al., 2020) revelaron que la dieta de referencia utilizada en la determinación de la energía, así como el



método de cálculo (diferencia o regresión) pueden afectar los valores obtenidos y pueden explicar parte de la variabilidad mostrada. La forma física y el grado de procesamiento también influyen en el valor energético de la harina (Khalil et al., 2021).

Tabla 4. Valor energético de la harina de canola para aves (EMAn, Kcal/kg).

REFERENCIA	ESPECIE	COMO ALIMENTO	BASE DE MS
Adewole et al, 2017	Pollos de engorda	1777	2019
Agyekum and Woyengo,		1608	1909
Chen et al., 2015		1983	2254
Gallardo et al.		1822	2071
Gorski et al., 2017		1851	2217
Jayaraman, 2016		2144	2437
Jia et al., 2012		1810	2057
Rad-Spice, 2018		1834	2084
Rahmani et al.		1789	2032
Wise and Adeola, 2022		1763	2003
Woyengo et al., 2010		1584	1801
Zhang and Adeola, 2017		2011	2286
Zhong and Adeola, 2019		1689	1919
Jia et al., 2012	Ponedoras	1936	2200
Oryschak et al., 2020		1928	2192
Kozlowski et al., 2018	Pavos	1886	2143
Jia et al., 2012		1766	2007
Noll et al., 2017		2010	2284
Wickramasuriya, 2015	Patos	1885	2142
Mandal et al., 2005	Codornices	1852	2105

La Tabla 5 proporciona valores de EMAn para la harina de canola extraída con expeller. Como indica la tabla, el contenido de lípidos de la harina puede variar según la fuente y se espera que afecte el valor energético de la harina.

Tabla 5. Valor energético de la harina de canola expeller para aves (EMAn, Kcal/kg).

REFERENCIA	ESPECIE	COMO ALIMENTO	BASE DE MS	GRASA % DE MS
Agyekum and Woyengo	Pollos engorda	1994	2265	15.3
Bryan et al, 2019		2623	2997	11.4
Bryan et al., 2019		2917	3314	15.9
Sessingnong et al., 2022		2043	2322	-
Toghyani et al., 2014		2258	2566	-
Woyengo et al., 2010		2370	2694	12
Zhong and Adeola, 2019		2584	2937	18.1
Oryschak et al, 2020	Ponedoras	2556	2904	13.2

Enzimas para aumentar la energía

El uso de enzimas dietéticas es común en los alimentos para aves, especialmente aquellos que contienen cebada y trigo. Se ha demostrado que estos aditivos mejoran la digestibilidad de los carbohidratos. La harina de canola contiene una porción importante de componentes de la pared celular que las aves no digieren. En la Universidad de Manitoba se han llevado a cabo extensos trabajos para investigar la composición de la pared celular y la digestión de polisacáridos sin almidón (PSA) con la inclusión de enzimas que degradan PSA. Meng y Slominski (2005) examinaron los efectos de agregar un complejo multienzimático (xilanas, glucanas, pectinas, celulasas, mananas y galactonas) a dietas para pollos de engorda. La combinación de enzimas aumentó la digestibilidad total de PSA de la harina de canola, pero no se observaron mejoras en otros valores de digestibilidad de nutrientes ni en el rendimiento animal. Jia et al. (2012) alimentaron a pollos de engorda con dietas que contenían harina de canola y una enzima multicarbohidrasa para determinar su efecto sobre los valores de EMAn y encontraron un aumento del 6% en EMAn. Gallardo et al. (2017) calcularon una mejora del 8% en el valor energético de la harina de

canola. Rad-Spice (2018) observó e informó una mejora en EMAn del 6.6% con el uso de enzimas multicarbohidrasas. Recientemente, Niu et al. (2022) determinaron que la inclusión de un cóctel de enzimas multicarbohidrasas aumentó la digestión de PSA de cero a 20%. El aumento de peso corporal de los pollos de engorda en el mismo estudio mejoró en un 5%. Aunque los datos no son completamente concluyentes, puede ocurrir una mejora moderada en la digestión de la harina de canola. Las enzimas también pueden mejorar la digestibilidad de otros ingredientes dietéticos.

EXTRACTO ETereo

El contenido de lípidos de la harina de canola es mayor que el de muchas otras fuentes de proteínas vegetales, lo que contribuye significativamente al valor energético de la harina (Newkirk, 2011). Un estudio de Berekatain et al. (2015) revelaron que la digestibilidad del aceite de la semilla de canola era tan digerible como el aceite de canola añadido para los pollos de engorda.

MINERALES Y VITAMINAS

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

Fósforo

La harina de canola es una fuente rica de fósforo, que es un nutriente fundamental para todas las clases de aves. En el pasado, se suponía que solo estaba disponible la porción no fitato del fósforo en la harina de canola, que es aproximadamente el 35% del fósforo total de la harina. Utilizando la técnica de digestibilidad ileal, Mutucumarana et al. (2015) calcularon que el 47% del fósforo de la harina de canola era digerible por los pollos de engorda, y que una porción del fósforo fitato también era digerido por las aves. En un experimento más reciente, Muñoz et al. (2018), utilizando la técnica de bioensayo de gallos alimentados con precisión, encontraron que la retención de fósforo era del 44 % del total cuando las ingestas se acercaban a los requisitos, pero disminuía

cuando se excedían los requisitos. Los autores sugirieron un valor del 38% según sus estudios.

Se ha demostrado que la fitasa es eficaz para mejorar la biodisponibilidad del fósforo en variedades de harina de colza (Czerwiński et al., 2012) y, recientemente, en harina de canola para pollos de engorda. En un estudio australiano (Moss et al., 2018), la disponibilidad de fósforo aumentó del 32 % al 52 % con la inclusión de fitasa y del 69 % cuando se agregaron tanto fitasa como xilanasas. La fitasa también mejoró la disponibilidad de calcio. Una mejora del 40% en la digestibilidad del fósforo en los pollos de engorda fue observada por David et al. (2021).

Equilibrio catión-anión

Es una práctica común formular dietas para aves basadas en el equilibrio catión-anión. Las dietas generalmente se formulan con un equilibrio positivo de cationes y aniones. La harina de canola tiene un equilibrio catiónico-anión negativo y tiene un alto contenido de azufre, lo que puede interferir con la absorción de calcio. Complementar la dieta con calcio adicional ayuda hasta cierto punto, 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.

ALIMENTACIÓN DE AVES CON HARINA EXTRAIDA CON SOLVENTE

Pollos de engorda

A diferencia de la harina de colza, la harina de canola no necesita restringirse en función del aporte de glucosinolato a la dieta. Los niveles muy bajos de glucosinolatos presentes en la harina de canola canadiense han eliminado las preocupaciones sobre este antinutriente en situaciones prácticas de alimentación.

La harina de canola contiene menos potasio y más azufre que la harina de soya (Khajali y Slominski, 2012). El consumo de alimento en pollos de engorda se ha correlacionado con el equilibrio catión-anión de la dieta basándose en algunas investigaciones pioneras sobre la alimentación de aves con harina de canola



(Summers y Bedford, 1994). Esto se puede superar proporcionando dietas con niveles más altos de carbonato de potasio o cloruro de sodio. Las mejoras en la comprensión de los requisitos de los pollos de engorda han resultado en el desarrollo de procedimientos de formulación de rutina que han permitido incluir mayores cantidades de harina de canola en las dietas actuales para los pollos de engorda. Como se señaló, ahora es una práctica común formular dietas basadas en el equilibrio catión-anión.

Además, la formulación de dietas basadas en DIE ha dado como resultado aumentos de peso casi idénticos a los encontrados con otros ingredientes proteicos, particularmente durante el período de crecimiento. Investigaciones recientes sugieren que se puede utilizar hasta un 30% de harina de canola en las dietas para pollos de engorda. Gorski et al. (2017) proporcionaron dietas iniciales (de 1 a 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 del 30 y 40%, debido al menor consumo de alimento para estas dietas. Las dietas durante la engorda, proporcionadas entre los 21 y los 37 días de edad, contenían 0, 10, 20 o 30% de harina de canola. No hubo diferencias en la ganancia diaria promedio o el consumo de alimento entre las dietas durante el período de crecimiento. Gopinger et al. (2014) formularon dietas con 0, 10, 20, 30 y 40% de harina de canola, la cual se proporcionó a las aves desde los 7 a los 35 días de edad. Las tasas de crecimiento fueron mayores con las dietas de 10, 20 y 30% de harina de canola que con la dieta de control de harina de soya, pero disminuyeron con la dieta de 40% de harina de canola al mismo nivel que con la harina de soya. Ariyibi (2019) alimentó a pollos de engorda con dietas que contenían 6 niveles incrementales de harina de canola que variaban del 0 al 15 % entre el 1 y 7 días de edad, del 0 al 18 % entre el 7 y el 14 %, del 0 al 25 % entre los 14 y 21 días de edad, y 0 a 35% entre los 21 y 28 días de edad. Los niveles crecientes de harina de canola no tuvieron ningún efecto sobre el rendimiento del crecimiento. Al observar estos tres estudios, son posibles niveles de inclusión de harina de canola de hasta un 20% durante 0 a 7 días, un 30% de 7 a 14 días

y hasta un 40% en edades posteriores. Rad-Spice et al. (2018) concluyeron que la harina de canola se puede utilizar de manera eficaz y puede reemplazar la harina de soya en las dietas para pollos de engorda.

Gallinas ponedoras

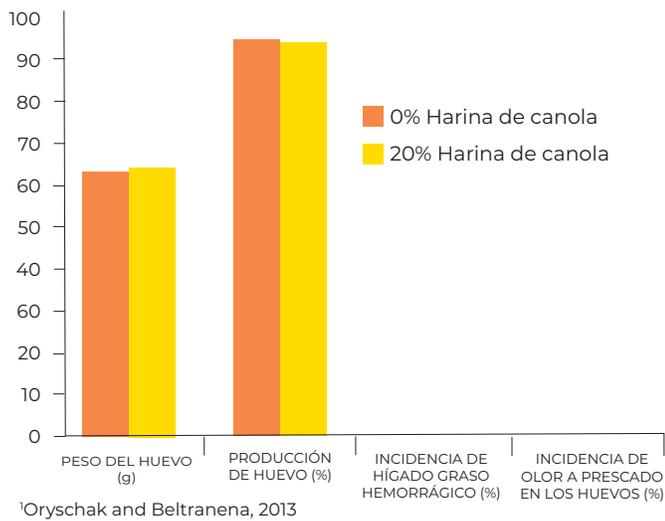
La harina de canola es un ingrediente alimentario comúnmente utilizado y económicamente eficaz en las dietas comerciales de ponedoras de huevos. Al igual que con la formulación de la dieta para pollos de engorda, se deben considerar los aminoácidos DIE. Las primeras investigaciones, en las que las dietas se formularon a base de proteína cruda, mostraron una reducción en el peso del huevo cuando se sustituyó la harina de canola por harina de soya. La formulación de dietas basadas en proteína cruda resultó en un contenido insuficiente de lisina en la dieta de harina de canola (Kaminska, 2003). Investigaciones publicadas anteriormente por Novak et al. (2004) apoyaron la hipótesis de que una cantidad insuficiente de 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. Otro concepto obsoleto sugirió que alimentar con altos niveles de harina de canola a ponedoras de huevos con cáscara marrón podría dar como resultado huevos con sabor a pescado. Esto se asoció con un error genético en las gallinas y desde entonces se ha resuelto.

Oryschak y Beltranena (2013) demostraron que cuando se formulan adecuadamente, las dietas pueden incluir harina de canola en un 20% de la dieta sin efectos negativos sobre la producción de huevos, la salud de las gallinas, la calidad del huevo o el contenido de ácidos grasos del huevo. Como muestra la Figura 1, el peso de los huevos y el porcentaje de puesta se mantuvieron durante las 36 semanas del estudio. Tampoco hubo diferencias en la hemorragia hepática en las gallinas y no se detectó olor a pescado en los huevos. Rogiewicz et al. (2015) demostraron de manera similar un excelente desempeño en gallinas alimentadas con un 15-20 % de harina de canola. Gorski (2015) proporcionó a gallinas de 33 a 49 semanas de edad 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 huevos, el peso de los huevos o el cambio en el peso de las gallinas durante 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 producción¹).

En un experimento realizado por la Universidad de



Dalhousie (Savary et al., 2017), a gallinas ponedoras de huevos marrones se les dio dietas que contenían harina de soya como principal fuente de proteína, ó 10 ó 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 hubo diferencias estadísticas en la producción de huevos, la eficiencia alimenticia o la mortalidad para ninguna de las fases de alimentación. Los investigadores observaron que no hubo diferencias en la calidad de los huevos ni en el peso de las gallinas. Un ensayo de seguimiento diseñado de manera similar confirmó estos resultados (Savary et al., 2019).

Recientemente, un ensayo exhaustivo realizado por Oryschak et al. (2020) demostraron claramente que la inclusión de harina extraída con solventes en la dieta de ponedoras de huevos de cáscara marrón a un nivel

de inclusión de 20% soportó un excelente rendimiento de la puesta y calidad del huevo durante un ciclo de postura de 36 semanas. Con base en estos hallazgos recientes, la harina de canola se puede alimentar de manera efectiva en niveles elevados en dietas de gallinas ponedoras sin afectar negativamente la producción de huevos, el peso del huevo, la calidad del huevo o el contenido de ácidos grasos, siempre y cuando las dietas estén formuladas con un contenido de aminoácidos digeribles.

Reproductoras de pollos de engorda

Hay pocas investigaciones nuevas sobre el uso de harina de canola en reproductoras de pollos de engorda, probablemente porque muchos 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 alimento ideal para controlar el aumento de peso en aves reproductoras de engorda. Investigaciones anteriores demostraron que la harina de canola no tiene efectos negativos sobre la fertilidad de los huevos o la incubabilidad de las reproductoras 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 reproductoras de pollo de engorda. No está claro cuál era el contenido de glucosinolato de las dietas; sin embargo, concluyeron que la harina de colza se puede utilizar eficazmente en dietas para reproductoras de pollo de engorda sin afectar la producción, el peso del huevo o la calidad de los pollitos. El uso de harina de canola para 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 proteínas para los pavos en crecimiento. Es una práctica comercial común alimentar con altas concentraciones dietéticas de harina de canola a los pavos en crecimiento y engorda. Se sabe desde hace mucho tiempo que la clave para el uso exitoso de la harina de canola en los pavos es garantizar que la dieta sea equilibrada en cuanto a aminoácidos. Inicialmente, Waibel (1992) demostró que cuando se agregaba harina



de canola en un 20% de la dieta sin mantener niveles iguales de energía y aminoácidos esenciales, el crecimiento y la eficiencia de conversión alimenticia disminuían. Sin embargo, cuando se añadió grasa extra y los niveles de aminoácidos se mantuvieron constantes, el rendimiento fue igual o superior al de la dieta de control. Como ocurre con otras especies, es importante que las dietas se formulen a base de aminoácidos digestibles.

Recientemente, Kozłowski et al. (2018) verificaron que las dietas de inicio y crecimiento con 20% de harina de canola dieron como resultado tasas de crecimiento que no fueron diferentes a las obtenidas con harina de soya. Se encontró que la ganancia de alimento era ligeramente mayor en la fase inicial para la dieta de 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 multicarbohidrasas. No hubo diferencias en la ganancia diaria promedio, el consumo de alimento o la eficiencia alimenticia debido al tratamiento durante las 8 semanas del estudio. De manera similar, Noll et al. (2017) proporcionaron a pavos de iniciación dietas que contenían 0 (control de harina de soya), 8, 16 o 24 % de harina de canola. Los investigadores no encontraron diferencias en ninguno de los parámetros de rendimiento medidos. Un estudio de seguimiento más corto, realizado durante las muy sensibles primeras 3 semanas de vida, señaló que se podría proporcionar hasta un 24% de harina de canola a los pavos iniciadores (Noll et al., 2017).

Comercialmente, la harina de canola a menudo se incluye en las dietas de los pavos en niveles superiores al 20%. En este caso, es importante garantizar que el equilibrio de electrolitos de la dieta final esté en el rango adecuado. El equilibrio de electrolitos dietéticos 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 tenerse en cuenta. (Khajali y Slominski, 2012) recomiendan la ecuación $(Na + K) - (Cl + S)$, que da como resultado un equilibrio electrolítico de aproximadamente 100 mEq/kg.

Patos y gansos

Los patos y los gansos representan la tercera fuente de carne de ave, después de los pollos y los pavos. Estas aves también son apreciadas por sus huevos y plumas. La harina de canola se alimenta comúnmente a patos y gansos, y no se han reportado problemas derivados del uso de la harina.

Wickramasuriya et al. (2015) determinaron que el primer aminoácido limitante para los patos es la metionina y encontraron que la harina de canola representaba un perfil de aminoácidos bien equilibrado para estas aves. La digestibilidad de los aminoácidos de la harina de canola en patos se muestra en la Tabla 2. La harina de canola y la harina de soya tienen una digestibilidad de aminoácidos similar en los patos (Kluth y Rodehutschord, 2006). Además, la mayor cantidad de fósforo disponible en comparación con la harina de soya es un atributo deseable.

Bernadet et al. (2009) estudiaron los efectos de la harina de colza en el crecimiento de los patos mulard y observaron que el nivel de inclusión sería limitante debido a las concentraciones de glucosinolatos, que no se midieron en su estudio. Sin embargo, sí determinaron que las concentraciones del 7% de harina de colza en el período inicial y del 21% en el período final de crecimiento permitieron un crecimiento excelente. Esto sugiere que al menos estas cantidades de harina de canola pueden incluirse en las dietas para patos.

Zhu et al. (2019) proporcionaron a patos principiantes harina de colza de "calidad de canola" en niveles del 0, 5, 10, 15 o 20% de la dieta. La harina contenía 25 $\mu\text{mol/g}$ de glucosinolatos, un nivel que es aproximadamente 5 veces mayor que el de la harina de canola. No hubo diferencias en la tasa de crecimiento durante el período de alimentación (7 a 21 días). La alimentación/ganancia mejoró linealmente con la inclusión de la harina de colza, lo que sugiere que los alimentos iniciales podrían contener más del 7% propuesto por Bernadet et al. (2009).

Hay menos programas de investigación disponibles para los gansos en comparación con otras especies de aves. Curiosamente, 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). Se encontró un estudio de titulación de dosis que comparaba niveles graduados de harina de colza con harina de soya (Fu et al., 2021). Se proporcionaron dietas isonitrogénicas que contenían 0, 4, 8, 12 y 16% de harina de colza a gansos en crecimiento de 35 a 70 días de edad. No hubo diferencias debido a la dieta para el crecimiento, el consumo de alimento o la eficiencia alimenticia. El porcentaje de rendimiento de la canal y el rendimiento de los componentes de la canal tampoco se vieron afectados por la dieta. Estos resultados sugerirían que se podría alimentar a los gansos con un 16% de harina de canola en el período de crecimiento y finalización.

Codornices

Las codornices se crían tanto para obtener huevos como para obtener carne. Saki et al. (2017b) evaluaron la harina de canola para codornices de postura en un 10, 20 o 30 % de la dieta entre las 46 y 56 semanas de edad. La producción disminuyó con el nivel de inclusión del 20 y el 30%, pero no hubo diferencias en el desempeño con la tasa de inclusión 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 el 0, 25 o el 50% de la harina de soya en la dieta de las codornices (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 gallinas, la eficiencia alimenticia, el porcentaje de puesta o la masa de huevos.

Minisi y Mlambo (2018) describieron un estudio de crecimiento. En el estudio, codornices de 6 semanas de edad recibieron dietas isonitrogénicas que contenían 0, 2.5, 5.0, 12.5 y 17.5% de harina de canola, reemplazando la harina de soya en base a de proteína. No hubo diferencias en el aumento de peso, pero el consumo de alimento fue más bajo para la dieta que

contenía 17.5% de harina de canola. Sarıçiçek et al. (2005) también compararon la harina de canola con la harina de soya en un estudio de crecimiento de codornices (Tabla 6). Nuevamente, 0, 25 o 50% de la proteína de la harina de soya se reemplazó con proteína de la harina de canola, lo que resultó en dietas con 0, 12.15 y 24.3% de harina de canola total. Además, se probó la capacidad de las enzimas multcarbhidrasa y fitasa para mejorar la digestibilidad. Las tasas de crecimiento con la harina de canola al 50% fueron más bajas que las del control cuando no se agregaron enzimas a la dieta. Los porcentajes de rendimiento de la canal y las características de la canal no fueron diferentes debido a las dietas. La combinación de estos dos ensayos sugiere que se puede administrar con seguridad un 15% de harina de canola a codornices en crecimiento.

Tabla 6. Crecimiento de codornices en un estudio donde la harina de canola reemplaza parcialmente la harina de soya¹.

	DIETA		
	Harina de soya	Bajo en harina de canola	Alto en harina de canola
Reemplazo de la proteína de soya, %	0	25	50
Dieta con harina de canola, %	0	12.15	24.3
	Sin añadir enzimas		
Ganancia de peso, g	150	140	132
Consumo de alimento, g	761	751	740
Alimento/ganancia	5.06	5.22	5.59
	Añadiendo enzimas Multi-carbohydrazas		
Ganancia de peso, g	143	142	147
Consumo de alimento, g	738	753	755
Alimento/ganancia	5.16	5.13	5.16

¹Sancicek et al, 2015.



Avestruces

Un estudio novedoso demostró que se pueden cultivar avestruces hasta alcanzar el peso comercial utilizando harina de canola (Brand et al., 2020). A los avestruces de 75 a 337 días de edad se les dieron dietas con porcentajes variables de harina de canola, reemplazando la harina de canola a la harina de soya y al trigo en base a los aminoácidos (Tabla 7).

Tabla 7. Crecimiento de avestruces en un estudio en el que se proporcionó harina de canola en varios niveles¹.

	PROGRAMA DE ALIMENTACIÓN				
	1	2	3	4	5
Dieta de inicio (76-146 días)					
Harina de canola, %	0	7.8	15.6	23.4	31.3
Harina de soya, %	17.9	13.4	9.0	4.5	0
Dieta de crecimiento (147-230 días)					
Harina de canola, %	0	5.0	10.0	15.0	20.0
Harina de soya, %	13.5	10.0	6.7	3.7	0
Dieta finalizadora (231- 377 días)					
Harina de canola, %	0	5.0	10.0	15.0	20.0
Harina de soya %	10.4	7.9	5.2	2.6	0

¹Brand et al., 2020.

No hubo diferencias en la ingesta entre las dietas y no hubo diferencias en la ganancia diaria promedio desde el inicio hasta la finalización de la prueba. Las ganancias diarias promedio durante la fase inicial aumentaron con los niveles de inclusión de harina de canola de 15.6 y 23.4 %, pero la ventaja no se mantuvo durante la prueba. No hubo diferencias en los pesos de las canales ni en los porcentajes de la canal que pudieran asociarse con el ensayo.

ALIMENTACIÓN DE AVES CON HARINA DE CANOLA EXPELLER

Gran parte de la canola utilizada para las aves se extrae con solventes, pero ha habido un interés creciente en el uso de harina de canola con expeller debido a su

mayor contenido energético. Un elemento que dificulta su uso es el contenido de aceite, que puede variar según la fuente de la harina (Woyengo et al., 2010), por lo que es importante conocer el contenido de aceite para la formulación del alimento.

Pollos de engorda

Varios estudios respaldan el uso de harina de canola expeller para pollos de engorda. En un estudio de Dalhousie (Bryan et al., 2019a) se evaluó una variedad de canola amarilla prensada con expeller con y sin inclusión de enzimas digestivas de fibra. La harina de canola se sustituyó por harina de soya y maíz con un nivel de inclusión del 30%. Además, se evaluaron harinas de expeller con dos niveles de aceite residual (10 Vs 14%). El valor energético del alimento aumentó con el aceite residual y aumentó aún más con la inclusión de enzimas carbohidrasas.

Inglis et al. (2021) proporcionaron a pollos de engorda dietas que contenían un 20 % de harina expeller en las raciones de inicio, crecimiento y finalización. Se incorporaron harina de canola expeller y aceite de canola a la dieta a cambio de harina de soya y maíz para proporcionar a las aves dietas isoenergéticas e isonitrogénicas. Los investigadores no encontraron diferencias en la ganancia diaria promedio o la conversión alimenticia durante la prueba de alimentación de 35 días.

Las gallinas ponedoras

Oryschak et al. (2020) realizaron un ensayo de alimentación para evaluar los efectos de la harina de canola expeller en comparación con la harina de canola extraída con solvente y la harina de soya. También se incluyeron dos variedades de harina en la evaluación de 36 semanas con un nivel de inclusión del 20%. No hubo diferencias en el porcentaje de peso corporal de las ponedoras o gallinas con ninguna de las dietas. La proporción de huevo a alimento disminuyó ligeramente con la harina expeller. Las dietas con harina de canola aumentaron el porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados en los huevos. Estos resultados fueron similares a los hallazgos de Savary et al. (2017; 2019).

Gallinas de descarte

Las gallinas de descarte pueden desempeñar un papel en la seguridad alimenticia y, a menudo, se utilizan en sopas comerciales y platos especiales que requieren pollo con más textura. Semwogerere et al. (2019) realizaron un estudio exploratorio para comparar las características nutricionales de la carne obtenida de gallinas de descarte de una parvada que recibió una dieta de harina de soya (40 semanas de puesta) y de una parvada que recibió una dieta con 20% de harina de canola expeller (48 semanas de puesta). No se encontraron diferencias en los atributos sensoriales. Las gallinas que habían recibido la dieta de harina de canola tenían menos grasas saturadas (34.0% en comparación con el 38.7% del total de ácidos grasos para las aves que recibieron la dieta de harina de soya) y una mayor cantidad de ácidos grasos omega-3 (5.1% para las aves alimentadas con canola, en comparación con el 3.4% el control).

ALIMENTACIÓN DE AVES CON SEMILLA Y ACEITE DE CANOLA

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

El aceite de canola se utiliza habitualmente como fuente de energía para los 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 procedente de sebo de res, aceite de linaza, aceite de maíz, aceite de canola, aceite de macadamia o aceite de coco. Si bien no hubo diferencias en el rendimiento del crecimiento entre los diferentes tipos de grasa

proporcionada, las composiciones de ácidos grasos del tejido de las aves reflejaron las diferentes fuentes de grasa proporcionadas. Los tejidos musculares de las aves que recibieron aceite de canola tuvieron las concentraciones más bajas de ácidos grasos saturados y ocuparon el segundo lugar después de las aves alimentadas con aceite de linaza en contenido de ácidos grasos omega-3 en el 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 soya y 50:1 para el aceite de maíz. Esto es importante porque se utiliza una enzima desaturasa común para alargar ambos ácidos grasos. Las aves pueden alargar el ácido linolénico a ácido docosahexaenoico (ADH). El exceso de ácido linoleico limita la conversión (Cachaldora et al., 2008).

Dada la capacidad de las gallinas para sintetizar ADH a partir de 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 basal es la clave para el éxito de la producción de huevos enriquecidos con ADH cuando las dietas se complementan con ácido linolénico procedente de fuentes como el aceite de lino o el aceite de chía. Se ha demostrado que las dietas a base de canola son superiores a las dietas en las que los ingredientes principales aportan ácido linoleico competidor (González-Esquerra y Leeson, 2001; Goldberg et al., 2016). Además, Rowghani et al. (2007) demostraron que agregar entre un 3 y un 5 % de aceite de canola a las dietas de harina de maíz y soya daba como resultado concentraciones de ADH en los huevos ocho veces mayores que las dietas sin adición de aceite.

HARINA DE CANOLA Y SALUD INTESTINAL

A medida que el uso de agentes químicos promotores del crecimiento continúa disminuyendo en la industria avícola, sale a la luz cada vez más información sobre el papel de los ingredientes y nutrientes específicos en el mantenimiento de la salud. La harina de canola se ha destacado en varios ensayos de alimentación como un



ingrediente que puede contribuir a la salud intestinal y la digestión.

La fibra de la harina de canola se digiere parcialmente en los ciegos de las aves, lo que da como resultado la producción de ácidos grasos volátiles (AGV). Estos ácidos grasos, y en particular el butirato, sirven para inhibir las bacterias patógenas (Elnes et al., 2020) y suministran los nutrientes necesarios para los colonocitos en los ciegos y el intestino grueso. Kozłowski et al. (2018) descubrieron que los pavos que recibieron dietas con un 20 % de harina de canola canadiense como reemplazo de la harina de soya experimentaron un cambio en la proporción de butirato como porcentaje del total de AGV. La cantidad de AGV totales en el contenido cecal aumentó cuando también se agregaron a la dieta enzimas multi-carbohidrasas. Inglis et al. (2021) informaron una mayor fermentación en pollos de engorda en crecimiento cuando las dietas contenían harina de canola. Estos investigadores también informaron diferencias en el perfil bacteriano del contenido cecal.

Estudios anteriores sugirieron que la harina de canola podría alterar la integridad del revestimiento intestinal de las aves. Gopinger et al. (2014) proporcionaron a pollos de engorda machos dietas de inicio y de crecimiento y finalización que proporcionaban 0, 10, 20, 30 y 40% de harina de canola. No encontraron pérdida en la integridad del revestimiento mucoso.

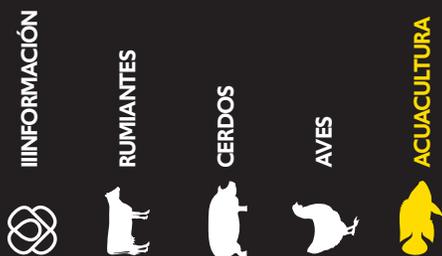
Investigadores de la Universidad de Georgia evaluaron recientemente los efectos de la harina de colza de expeller, la harina de canola extraída con solventes y un metabolito de la degradación de glucosinolatos (isotiocianato de alilo, ITCA) en dos estudios de exposición con *Eimeria maxima* y *Salmonella typhimurium*. Se utilizaron las mismas dietas en ambos estudios: control de harina de soya, 10% de harina de colza expeller, 30% de harina de colza expeller, 20% de harina de canola extraída con disolvente, 500 ppm de ITCA y 1,000 ppm de ITCA. El estudio de *Eimeria* (coccidiosis) (Yadav et al., 2022a) reveló que había diferencias en las tasas de crecimiento que no estaban relacionadas con el desafío de *Eimeria* que se impuso. Por lo tanto, esta

prueba no fue una medida significativa del resultado de los dos ensayos. Sin embargo, la permeabilidad intestinal aumentó en mayor medida con la dieta de harina de soya y de colza que con la dieta de harina de canola. Además, la capacidad protectora de la harina de canola mejoró numéricamente cuando la dieta contenía un 40%, en comparación con un 20% de harina de canola. El ITCA también fue muy eficaz para reducir la permeabilidad intestinal. En el segundo estudio (Yadav et al., 2022), los pollos de engorda fueron expuestos a *Salmonella* al nacer. La permeabilidad intestinal no aumentó por la exposición a *Salmonella*. La altura de las vellosidades intestinales fue mayor con la dieta con 30% de harina de colza, siendo los demás tratamientos los mismos que el control. La mortalidad fue mayor con el tratamiento de provocación con harina de soya. Por lo tanto, la harina de canola puede ofrecer ventajas cuando se padecen infecciones por *Eimeria* y puede ofrecer una ventaja sobre la harina de soya a través de una menor mortalidad cuando las aves están expuestas a *Salmonella*.



CAP. 6 – HARINA DE CANOLA PARA LA ACUICULTURA

La harina de canola se ha convertido en un ingrediente importante en las dietas de la acuicultura en todo el mundo. Debido a que muchas especies de peces cultivados son carnívoros, las existencias mundiales de harina de pescado están disminuyendo, lo que presiona a la industria a encontrar proteínas alternativas de origen vegetal que puedan proporcionar aminoácidos para sus altos requerimientos proteicos. Si bien persisten algunos desafíos, se ha demostrado que la harina de canola se acopla bien en muchas dietas para peces.



Niveles prácticos de inclusión de harina de canola en dietas para especies acuícolas comunes sin enzimas añadidas.

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	NIVEL DE INCLUSIÓN, %
Pargo australasian	Pagrus auratus	60
Carpa Negra	Mylopharyngodon piceus	11
Carpa comun	Cyprinus carpio	55
Carpa forragera	Ctenopharyngodon idella	37
Mrigal	Cirrhinus mrigala	24
Pacú blanco	Piaractus mesopotamicus	19
Tilalapia del Nilo	Oreochromis niloticus	33
Tiburón pangasius	Pangasius sutchi	30
Rohu	Labeo rohita	20
Perca plateada	Bidyanus bidyanus	60
Sábalo	Prochilodus lineatus	8
Besugo Wuchang	Megalobrama amblycephala	35
Salmon atlántico	Salmo salar	10
Lubina asiática/ barramundi	Lates calcarifer	30
Cobia	Rachycentron canadum	13
Lubina europea	Dicentrarchus labrax	25
Lubina japonesa	Lateolabrax japonicus	15
Palometa/jurel	Trachinotus ovatus	16
Trucha arcoiris	Oncorhynchus mykiss	20
Escalar/Pez angel de agua dulce	Pterophyllum scalare	8
Piavucú	Leporinus macrocephalus	38
Lubina blanca	Morone chrysops	20
Gambas	White Leg	15
Langostino	Macrobracium	30
Cangrejo de barro / Mangrove	Scylla serrata	20

RENTABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD

A medida que la vida de los peces en los océanos de la Tierra continúa agotándose y la población humana aumenta aún más, la dependencia de los peces de piscifactoría para suministrar a los consumidores proteínas de alta calidad aumenta en importancia. La industria de la acuicultura se esfuerza por reducir su dependencia del pescado capturado produciendo en su lugar pescado de piscifactoría. Como muestra la Tabla 1, la industria acuícola mundial actualmente proporciona a los consumidores 30 millones de toneladas métricas de alimentos de alta calidad a partir de 15 millones de toneladas métricas de peces marinos.

Tabla 1. Ratios de peces ingresado/peces salida- (Fish in-Fish out - FIFO) similar a conversión alimenticia (CA) para especies cultivadas seleccionadas (millones de toneladas métricas)¹.

GRUPO DE ESPECIES	FIFO	PRODUCCIÓN DE GRANJA, MTM	MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS, MTM
Anguilas	2.7	0.26	0.7
Salmolidos (salmón y trucha)	2.5	2.54	6.4
Peces marinos	1.6	2.55	4.1
Crustáceos (marinos y de agua dulce)	0.7	5.48	3.8
Otros peces de agua dulce	0.3	4.05	1.2
Tilapia	0.2	3.00	0.6
Carpa alimentada	0.1	12.17	1.2
Total	0.5	30.05	15.0

¹ <https://www.globalseafood.org/advocate/how-much-fish-is-consumed-in-aquaculture/>

Muchos factores relacionados con el impacto ambiental de los peces de piscifactoría están relacionados con el alimento. Los cambios en las prácticas de alimentación ofrecen una oportunidad para reducir el impacto de este sector en su potencial de calentamiento global (Sherry y Koester, 2020). Aumentar el uso de ingredientes sostenibles de origen

terrestre y/o reevaluar las métricas utilizadas para evaluar la producción son algunas de las opciones que podrían lograrlo. Las tasas de crecimiento más rápidas y las proporciones más altas de ganancia y alimento pueden no ser la mejor opción con respecto a la sostenibilidad.

La harina de canola se puede utilizar para reemplazar parcialmente la harina de pescado en las dietas de muchas especies de peces de cultivo. Tiene un perfil de aminoácidos que coincide con los requisitos de muchas especies (Albrektsen et al., 2022). Como muestra la Tabla 2, el costo de producción es menor para la harina de canola que para muchos otros ingredientes proteicos (Kaiser et al., 2022). Por lo tanto, existen oportunidades para utilizar la harina de canola para apoyar una industria acuícola más sostenible y rentable, y a un ritmo rápido está saliendo a la luz información de apoyo adicional.

Tabla 2. Producción calculada y costos de producción de proteínas (Datos de 2019)¹.

FUENTE DE PROTEÍNA	PRODUCCIÓN GLOBAL, MTM	COSTO DE PRODUCCIÓN, \$US/TM
Altramuces	1.0	453.7
Guisantes	21.8	1313.4
Canola/colza	70.5	406.0
Soya	333.7	507.6
Girasol	56.1	583.7
Harina de pescado	6.0 2	1596.0

¹Kaiser et al., 2022;

PALATABILIDAD Y CONSUMO DE ALIMENTO

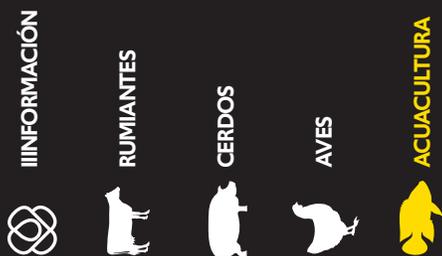
La harina de canola es una fuente sabrosa de proteína para su uso en dietas de acuicultura. De hecho, el concentrado de proteína de canola soluble se ha utilizado con éxito como atrayente en dietas en las que se han reducido las concentraciones de harina de pescado. Hill et al. (2013) informaron que la inclusión de 1% de concentrado de proteína de canola soluble en las dietas alimentadas a lubinas (perca blanca) aumentó significativamente el consumo de alimento y

la ganancia de peso. Como se describe en el Capítulo 2, los niveles de glucosinolatos en la harina de canola son ahora bastante bajos y ya no imparten un sabor amargo del alimento como se encontró en algunos estudios más antiguos.

El nivel de inclusión de la harina de canola en la dieta suele estar limitado por los requisitos de nutrientes de algunas especies de peces de criadero. Por ejemplo, los peces carnívoros tienen requerimientos proteicos muy altos y una baja tolerancia a los carbohidratos. Por otro lado, las especies omnívoras tienen una mayor tolerancia a los carbohidratos de la dieta. La Tabla 3 muestra que los niveles de inclusión pueden llegar al 60% en las dietas de algunas especies omnívoras comercialmente importantes, pero se limitan al 30% o menos para las especies carnívoras (Tabla 4) cuando se utiliza la tasa de crecimiento como criterio de respuesta principal.

Tabla 3. Niveles promedio de inclusión de harina de canola en dietas de peces omnívoros y herbívoros sin comprometer el rendimiento con respecto a la dieta estándar (estudios publicados desde 2000).

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	NIVEL DE INCLUSIÓN, %
Omnívoros de mar		
Pragus ¹	Pagrus auratus	60
Omnívoros de agua dulce		
Carpa Negra ²	Mylopharyngodon piceus	11
Carpa común ³	Cyprinus carpio	55
Carpa	Ctenopharyngodon idella	37
Mori ⁵	Cirrhinus mrigala	24
Pacu blanco ⁶	Piaractus mesopotamicus	19
Pez gato pangasius ⁷	Pangasius sutchi	30
Rohu ⁸	Labeo rohita	20
Perca plateada ⁹	Bidyanus bidyanus	60
Turbo ¹⁰	Prochilodus lineatus	8
Besugo wuchang ¹¹	Megalobrama amblycephala	35



ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	NIVEL DE INCLUSIÓN, %
Herbívoros de agua dulce		
Tilapia del nilo ¹²	Oreochromis niloticus	33

¹Glencross et al, 2004a; ²Huang et al, 2012; ³Hussain et al., 2020; ⁴Veiverberg et al., 2010; Jiang et al., 2016; ⁵Parveen et al., 2012; ⁶Viegas et al., 2008; ⁷Van Minh et al., 2013; ⁸Iqbal et al., 2015; Umer and Ali, 2009; Parveen et al., 2012; Umer et al., 2011; ⁹Booth and Allen, 2003. ¹⁰Galdioli et al, 2002. ¹¹Zhou et al., 2018; ¹²Yigit and Olmez, 2009, Zhou and Yue, 2010; Luo et al, 2012; Mohammadi et al., 2016; Fangfang et al., 2014; Soares et al., 2001.

Tabla 4. Niveles promedio de inclusión de harina de canola en dietas de peces carnívoros sin comprometer el rendimiento con respecto a la dieta estándar (estudios publicados desde 2000).

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	NIVEL DE INCLUSIÓN, %
Carnívoros de mar		
Salmon Atlántico ¹	Salmo salar	10
Barramundi ²	Lates calcarifer	30
Cobia ³	Rachycentron canadum	13
Lubina europea ⁴	Dicentrarchus labrax	25
Lubina japonesa ⁵	Lateolabrax japonicus	15
Pompano ovado ⁶	Trachinotus ovatus	16
Trucha arco iris ⁷	Oncorhynchus mykiss	20
Carnívoros de agua dulce		
Escalar/Pez angel de agua dulce ⁸	Pterophyllum scalare	8
Piavucu ⁹	Leporinus macrocephalus	38
Lubina blanca ¹⁰	Morone chrysops	20

¹Burr et al., 2013; Collins, et al., 2013; ²Ngo et al., 2015; ³Luo et al., 2012; ⁴Lanari and D'Agaro, 2005; ⁵Cheng et al., 2010; ⁶Kou et al., 2015; ⁷Thiessen et al., 2003; Thiessen et al., 2004; Yigit et al., 2012; Collins et al, 2012; Collins et al., 2013; ⁸Erdogan and Olmez, 2009; ⁹Galdioli et al., 2001; Soares et al., 2000; ¹⁰Webster et al., 2000.

PROTEÍNA Y AMINOÁCIDOS PARA CERDOS

La digestibilidad de la proteína de la harina de canola es alta para la mayoría de las especies de peces. NRC (2011) no incluye la harina de canola como ingrediente, pero sí enumera la digestibilidad aparente de la proteína en la harina de colza para las siguientes especies: 91% para la trucha arco iris, 85% para la tilapia azul/del Nilo y 89% para la cobia. Hajen et al. (1993) determinaron que la digestibilidad de la proteína de la harina de canola por parte del salmón chinook fue del 85%, superior a la digestibilidad de la proteína de la harina de soya (77%) e igual a la digestibilidad del aislado de proteína de soya (84%). Los resultados de digestibilidad de proteínas de estudios publicados desde 2000 se proporcionan en las Tablas 5 y 6 para especies omnívoras y carnívoras, respectivamente.

Tabla 5. Digestibilidad de proteínas (%) de la harina de canola para peces omnívoros y herbívoros según lo determinado en estudios publicados desde 2000 en los que no se agregaron enzimas.

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	DIGESTIBILIDAD, %
Omnívoros de mar		
Pargo australasian ¹	Pagrus auratus	83.0
Eglefino ²	Melanogrammus aeglefinus	82.3
Omnívoros de agua dulce		
Bagre africano ³	Clarias gariepinus	89.8
Bagre de canal ⁴	Ictalurus punctatus	91.4
Rohu ⁵	Labeo rohita	49.9
Perca plateada ⁶	Bidyanus bidyanus	83.0
Herbívoros de agua dulce		
Tilapia del nilo ⁷	Oreochromis niloticus	82.0

¹Glencross et al., 2004a; ²Tibbitts et al, 2004; ³Elescho et al., 2021; ⁴Kitagima and Fracalossi, 2011; ⁵Hussain et al, 2015; ⁶Allan et al, 2000; ⁷Borgeson et al., 2006.

Tabla 6. Digestibilidad de proteínas (%) de la harina de canola para peces carnívoros según lo determinado en estudios publicados desde 2000 en los que no se agregaron enzimas.

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	DIGESTIBILIDAD, %
Carnívoros de mar		
Trucha ártica ¹	Salvelinus alpinus	72.8
Bacalao del atlántico ²	Gadus morhua	60.6
Salmon del atlántico ³	Salmo salar	86.2
Barramundi ⁴	Lates calcarifer	85.4
Bacalao ⁵	Rachycentron canadum	89.0
Lubina europea ⁶	Dicentrarchus labrax	89.8
Lubina japonesa ⁷	Lateolabrax japonicus	71.4
Perca regia ⁸	Argyrosomus regius	95.9
Trucha arco iris ⁹	Oncorhynchus mykiss	88.3
Lubina rayada ¹⁰	Morone saxatilis	43.0
Dorada aleta amarilla ¹¹	Acanthopagrus latus	84.7
Carnívoros de agua dulce		
Pez ángel de agua dulce ¹²	Pterophyllum scalare	86.5
Piavucu ¹³	Leporinus macrocephalus	78.7
Esturión siberiano ¹⁴	Acipenser baerii	61.0

¹Burr et al., 2011; ²Erdogan et al., 2010; ³Burr et al., 2011; ⁴Ngo et al., 2015; ⁵Zhou et al., 2004; Luo et al., 2012; ⁶Lanari and D'Agaro, 2005; ⁷Cheng et al., 2010; ⁸Rodrigues Olim, 2012; Olim, 2012; ⁹Mwachireya 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; Lee et al., 2020; ¹⁰Gaylord et al., 2004; ¹¹Wu et al., 2006; ¹²Erdogan and Olmez., 2010; ¹³Goncalves et al., 2002; Goncalves 2004; ¹⁴Mirzakhani et al., 2020.

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, las dietas de acuicultura suelen tener más proteína cruda que las dietas de aves

y ganado. Las dietas para los salmónidos carnívoros suelen contener más del 40% de proteína cruda. Las dietas para peces omnívoros o herbívoros como la carpa o la tilapia suelen contener entre un 25 y un 30% de proteína cruda. La tasa de inclusión factible de harina de canola es inferior al 20% cuando se formulan dietas prácticas para especies carnívoras como los salmónidos porque la harina de canola alimentada contiene menos del 40% de proteína cruda. 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.

Las Tablas 7 y 8 (digestibilidad de la materia seca) y las Tablas 9 y 10 (digestibilidad energética) ilustran la variabilidad de estos parámetros cuando se utiliza harina de canola en dietas para peces. Esto se puede atribuir en gran parte a las diversas especies de peces que se crían en todo el mundo, así como a los diversos sistemas de procesamiento utilizados para fabricar la harina de canola.

El valor energético de la harina de canola variará debido a la cantidad de lípidos presentes en la harina. Los métodos de procesamiento también afectan el valor de la harina. Burel et al. (2000) determinaron que la digestibilidad de la harina de colza por la trucha arco iris era del 69% para la harina extraída con solventes y del 89% con procesamiento térmico, lo que demuestra el amplio rango de valores posible.

Las especies acuícolas no digieren la fibra en gran medida. La fibra vegetal se puede dividir en dos categorías: fibra soluble, 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 soja (Mejicanos et al., 2016), lo que puede ser una ventaja para algunas especies. Cantidades modestas de fibra insoluble pueden mejorar el tiempo de tránsito y el consumo de alimento, pero cantidades grandes dan como resultado un exceso de volumen, dependiendo nuevamente de la especie de pez. Reducir la fracción de fibra de la harina de canola podría mejorar su valor en alimentos acuáticos ricos en nutrientes.

Tabla 7. Digestibilidad de la materia seca (%) de la harina de canola para peces omnívoros y herbívoros según lo determinado en estudios publicados desde 2000 en los que no se agregaron enzimas.

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	DIGESTIBILIDAD, %
Omnívoros de mar		
Pargo australasian ¹	Pagrus auratus	52.7
Eglefino/abadejo ²	Melanogrammus aeglefinus	58.9
Omnívoros de agua dulce		
Pez gato (bagre) africano ³	Clarias gariepinus	74.6
Pez gato (bagre) de canal ⁴	Ictalurus punctatus	69.4
Rohu ⁵	Labeo rohita	49.9
Perca plateada ⁶	Bidyanus bidyanus	51.9
Herbívoros de agua dulce		
Tilaoia del nilo ⁷	Oreochromis niloticus	80.5

¹Glencross et al., 2004a; ²Tibbetts et al., 2004; ³Elescho et al., 2021; ⁴Kitagima and Fracalossi, 2011; ⁵Hussain et al., 2015. ⁶Allan et al., 2000; Allan et al., 2004; ⁷Bibi et al., 2020; Borgeson et al., 2006 Furura et al., 2001; Pezzato et al., 2002.

Tabla 8. Digestibilidad de la materia seca (%) de la harina de canola para peces carnívoros según lo determinado en estudios publicados desde 2000 en los que no se agregaron enzimas.

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	DIGESTIBILIDAD, %
Carnívoros de mar		
Salvelino/Trucha ártica ¹	Salvelinus alpinus	46.8
Bacalao del atlántico ²	Gadus morhua	60.6
Salmon del Atlántico ³	Salmo salar	76.2
Barramundi ⁴	Lates calcarifer	41.2
Cobia o bonito negro ⁵	Rachycentron canadum	48.0
Lubina europea ⁶	Dicentrarchus labrax	71.2

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	DIGESTIBILIDAD, %
Lubina japonesa ⁷	Lateolabrax japonicus	40.0
Perca regia/meagre ⁸	Argyrosomus regius	44.1
Trucha arcoiris ⁹	Oncorhynchus mykiss	65.6
Dorada aleta amarilla ¹⁰	Acanthopagrus latus	33.5
Carnívoros de agua dulce		
Escalar/Pez ángel de agua dulce ¹¹	Pterophyllum scalare	71.2
Piavucu ¹²	Leporinus macrocephalus	63.8
Esturion siberiano ¹³	Acipenser baerii	76.4

¹Burr et al., 2011; ²Tibbetts et al., 2004; ³Burel et al., 2000; Dalsgaard et al., 2012; ⁴Ngo et al., 2015; ⁵Luo et al., 2012; ⁶Iqbal et al., 2015; ⁷Cheng et al., 2010; ⁸Rodrigues Olim et al., 2012; ⁹Mwachireya et al., 2000; Burel et al., 2000; Dalsgaard et al., 2012; Lee et al., 2020; ¹⁰Wu et al., 2006; ¹¹Erdogan and Olmez., 2010; ¹²Goncalves et al., 2002; Goncalves, 2004; ¹³Mirzakhani et al., 2020.

Tabla 9. Digestibilidad energética (%) de la harina de canola para peces omnívoros según lo determinado en estudios publicados desde 2000 en los que no se agregaron enzimas.

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	DIGESTIBILIDAD, %
Omnívoros de mar		
Pargo australasian ¹	Pagrus auratus	43.9
Eglefino/abadejo ²	Melanogrammus aeglefinus	60.1
Omnívoros de agua dulce		
Bagre africano ³	Clarias gariepinus	79.9
Bagre de canal ³	Ictalurus punctatus	72.1
Rohu ⁵	Labeo rohita	49.9
Perca plateada ⁶	Bidyanus bidyanus	58.0
Herbívoros de agua dulce		
Tilapia del Nilo ⁷	Oreochromis niloticus	76.9

¹Glencross et al., 2004a; ²Tibbitts et al, 2004; ³Elescho et al., 2021; ⁴Kitagima and Fracalossi, 2011; ⁵Hussain et al, 2015; ⁶Allan et al, 2000; ⁷Borgeson et al., 2006; Furura et al., 2001.

Tabla 10. Digestibilidad energética (%) de la harina de canola para peces carnívoros según lo determinado en estudios publicados desde 2000 en los que no se agregaron enzimas.

ESPECIES	NOMBRE CIENTÍFICO	NIVEL DE INCLUSIÓN, %
Carnívoros de mar		
Salvelino/Trucha ártica ¹	Salvelinus alpinus	46.8
Bacalao del atlántico ²	Gadus morhua	60.6
Salmon del atlántico ³	Salmo salar	49.0
Barramundi ⁴	Lates calcarifer	47.6
Cobia o bonito negro ⁵	Rachycentron canadum	83.1
Lubina europea ⁶	Dicentrarchus labrax	91.7
Perca regia/meagre ⁷	Argyrosomus regius	73.6
Trucha arco iris ⁸	Oncorhynchus mykiss	74.1
Dorada aleta amarilla ⁹	Acanthopagrus latus	56.3
Carnívoros de agua dulce		
Escalar/Pez ángel de agua dulce ¹⁰	Pterophyllum scalare	72.3
Piavucu ¹¹	Leporinus macrocephalus	79.0
Esturion	Acipenser baerii	68.1

¹Burr et al, 2011; ²Tibbitts et al., 2006; ³Burr et al., 2011; ⁴Ngo et al., 2015 ⁵Zhou et al., 2005; ⁶Lanari and D'Agaro, 2005; ⁷Glencross et al., 2004a; ⁸Mwachireya et al., 2000; Burel et al., 2000; Thiessen et al., 2004; Cheng and Hardy, 2002; Lee et al., 2020; ⁹Wu et al., 2006; ¹⁰Erdogan and Olmez., 2010; ¹¹Goncalves et al., 2002; Goncalves 2004; ¹²Mirzakhani et al., 2020.

MINERALES Y VITAMINAS

La harina de canola es una fuente rica de fósforo. Gran parte del fósforo se encuentra en forma de ácido fítico, que no está disponible para la mayoría de las especies de peces criados en granjas. Debido a esto, muchas

dietas de acuicultura están formuladas para contener fitasa (NRC, 2011), la enzima necesaria para separar el fósforo del ácido fítico. Las investigaciones también han indicado 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 suplementación de estos minerales. Una investigación reciente de Habib et al. (2018) demostraron que el ácido cítrico, al igual que la fitasa, puede ser beneficioso para liberar minerales del ácido fítico.

PROPIEDADES ANTINUTRICIONALES DE LA HARINA DE CANOLA

Como cualquier ingrediente alimenticio, la harina de canola contiene algunos componentes moleculares que pueden afectar negativamente a una variedad de especies de acuicultura. Estos deben tenerse en cuenta al formular dietas con 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).

Glucosinolatos

Los glucosinolatos parecen ser mejor tolerados por muchas especies de peces (la carpa, por ejemplo) que por los cerdos y las aves (Bischoff, 2019; Prabu et al., 2017). Afortunadamente, la harina de canola canadiense contiene actualmente cantidades muy limitadas de glucosinolatos (3.2 µmol/g). Varias publicaciones han identificado límites superiores de inclusión de glucosinolatos en las dietas para peces. El límite más conservador se establece para la trucha, en 1.4 µmol/g de alimento (Bischoff, 2019). Esto aún permitiría una inclusión máxima teórica relativamente alta de harina de canola, superior al 40%.

Ácido fítico

Los ingredientes vegetales suelen almacenar fósforo en forma de ácido fítico. Se ha demostrado que el ácido fítico agregado como tal deprime el crecimiento en muchas especies acuícolas cuando los niveles dietéticos totales exceden el 1% de la dieta. Algunos ejemplos son la carpa (Hossain y Jauncey, 1993), el

bagre de canal (Satoh et al., 1989), el rohu (Usmani y Jafri, 2002) y el salmón del Atlántico (Storebakken et al., 1998). Se ha descubierto que el ácido fítico no sólo reduce la disponibilidad de minerales, sino que también puede unirse a las proteínas y reducir su digestibilidad.

Tabla 11. Evaluación de la inclusión de fitasa en dietas que contienen harina de canola sobre la digestibilidad de la materia seca (MS), la proteína cruda (PC), la energía bruta (E) y el fósforo (F).

Referencias	Especies	Canola en dieta, %	INCREMENTO EN DIGESTIBILIDAD, %			
			MS	PC	E	F
Xu et al., 2022	Carpa Gibel	18	6	4		19
Habib et al., 2018	Rohu	56				60
Hussain et al., 2017	Rohu	56		28	24	
Iqbal et al., 2021	Rohu	54	25	19	29	
Tayyab et al., 2017	Rohu	56		10	9	31
Maas et al., 2018	Tilapia del Nilo	10	9	0	5	59
von Danwitz et al., 2016	Rodaballo	26	0	2		42
Fries et al., 2020	Bagre plateado	30	4	13	10	29
Sajjadi and Carter, 2004	Salmon del atlántico	35		0	0	18
Yigit and Keser, 2016	Trucha arco iris	32	0	0		0
Cheng and Hardy, 2002	Trucha arco iris	100 ¹				350

¹Calculado por regresión.

El propósito original de agregar fitasa a las dietas era permitir que los animales accedieran a la mayor parte del fósforo fitato en las plantas y reducir la dependencia de fuentes de fosfato inorgánico, reduciendo así significativamente la contaminación por fósforo. Cuando se utiliza en dietas para peces, la

fitasa a menudo mejora la digestibilidad de la materia seca, la proteína cruda y la energía (Tabla 11) en dietas que contienen harina de canola. Como resultado, se trata de una enzima exógena importante para la industria de la acuicultura.

Reducción de la producción de proteasas

Algunas especies de peces pueden experimentar una producción reducida de enzimas endógenas cuando se incluyen ingredientes de origen vegetal en la dieta (Santigosa, 2008; Zheng et al., 2020), lo que a menudo se asocia con inhibidores de proteasa que se encuentran en los ingredientes vegetales. Los inhibidores de proteasa son menos comunes en la canola que en algunos otros ingredientes, en particular la harina de soya (Hussain et al., 2021; Francis et al., 2001). Si estos ingredientes se incluyen en las dietas junto con la harina de canola, la digestión de la proteína de la harina de canola puede verse afectada.

La adición de proteasas a la dieta puede complementar la producción endógena. Drew et al. (2005) informaron una mejora del 30% y el 11% en la digestibilidad de la materia seca y la proteína, respectivamente, con la inclusión de proteasa en dietas para trucha arco iris que contenían un 12% de harina de canola. En un estudio de sustitución de ingredientes, Lee et al. (2020) determinaron que la proteasa mejoró la digestibilidad de la materia seca, la proteína cruda y la energía de la harina de canola en un 24, 6 y 14%, respectivamente, para la trucha arco iris. Los índices de eficiencia proteica mejoraron cuando se agregó proteasa a dietas que contenían 20% y 64% de harina de canola para langostinos (Buchanan et al., 1997).

Fibra

Los peces no pueden digerir fácilmente las fibras solubles e insolubles y no son una parte normal de sus dietas. Si bien estos componentes vegetales pueden considerarse simplemente diluyentes para algunas especies cultivadas, la fibra es antinutricional para otras especies. Esto sugiere que agregar enzimas carbohidrasas a los alimentos para acuicultura podría ser beneficioso. La adición de enzimas carbohidrasas

se ha estudiado recientemente, pero hay datos limitados disponibles sobre la harina de canola. En un ensayo de alimentación inicial, Yigit y Olmez (2010) no encontraron ninguna ventaja en la inclusión de celulasa en dietas que contenían 21% o 42% de harina de canola para tilapia. Maas et al. (2020) observaron cierta mejora en el crecimiento de la tilapia provista de xilanasa añadida a una dieta de baja calidad que contenía un 12 % de harina de colza. Buchanan et al. (1997) revelaron que la adición de una enzima multicarbohidrasa a una dieta que contenía harina de canola aumentó la digestibilidad de la materia seca y el crecimiento en langostinos tigre negro, y Ali Zamini et al. (2014) determinaron que el salmón se benefició de una enzima multicarbohidrasa y observaron una mejor tasa de crecimiento, supervivencia y conversión alimenticia.

ALIMENTACIÓN DE HARINA DE CANOLA EN PECES OMNÍVOROS Y CARNÍVOROS

La harina de canola se utiliza cada vez más en las dietas de acuicultura para especies como el bagre, la carpa, la tilapia, la lubina, la perca, la dorada y el rodaballo, que prosperan con dietas bajas en proteínas. Si bien aún queda mucho por aprender, se han logrado avances significativos, particularmente para algunas especies.

Tilapia

La harina de canola incluida en las dietas para tilapia herbívora se utiliza para sustituir parcialmente la harina de pescado, la harina de soya o ambas. Soares et al. (2001) proporcionaron a tilapia juvenil dietas que contenían 0, 25, 50 o 75% de harina de canola, reemplazando la proteína de la harina de soya. Las proporciones alimento-ganancia y proteína-ganancia no difirieron entre tratamientos. Los aumentos de peso no disminuyeron hasta que se alcanzó el nivel de inclusión del 75% de harina de canola. Yigit y Olmez (2009) reemplazaron hasta el 50% de la proteína de la harina de pescado con proteína de la harina de canola en incrementos del 10% en su estudio. La tasa de conversión alimenticia aumentó con la inclusión de harina de canola y la ganancia disminuyó linealmente en niveles superiores al 10%. No hubo diferencias en la

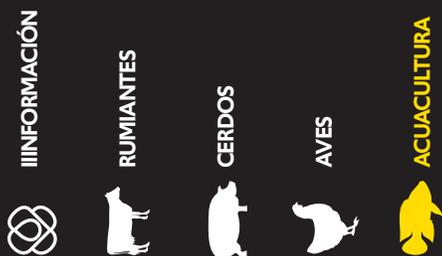
composición corporal final de los peces debido al nivel de alimentación de canola. Todas las dietas contenían un 26% de harina de soya, y este nivel de harina de soya puede haber contribuido a un desequilibrio de aminoácidos a medida que aumentaron los niveles de harina de canola y se redujeron los niveles de harina de pescado. En un estudio similar, Luo et al. (2012) reemplazaron hasta el 75% de la proteína de la harina de pescado con harina de canola (hasta un 55% de harina de canola) sin disminución en la supervivencia, la tasa de crecimiento o la eficiencia alimenticia. Las dietas evaluadas en este estudio contenían solo un 12% de harina de soya. No hubo diferencias en la composición muscular de los peces en este ensayo.

Si bien la tasa de crecimiento es a menudo la medida utilizada para asignar valor a los ingredientes alternativos de los piensos, reemplazar la harina de pescado con proteína vegetal puede proporcionar ventajas económicas significativas con tasas de ganancia subóptimas. Recientemente, Kirimi et al (2020) determinaron que las dietas para tilapia en las que 1/3 de la proteína de la dieta procedía de harina de canola, harina de girasol o harina de soya dieron como resultado dietas con puntuaciones de proteína del 76-78%, en comparación con el 97% para harina de pescado. Sin embargo, el uso de proteínas alternativas redujo los costos de producción. Iqbal et al (2021b) determinaron que la harina de canola proporcionaba los mejores rendimientos económicos cuando se utilizaba al 50 % de la proteína de la dieta, reemplazando tanto la harina de pescado como la harina de soya.

Carpa

En todo el mundo se crían al menos ocho especies de carpa para consumo humano (Cuadro 12). El interés en la harina de canola para estas especies está creciendo debido al perfil único de aminoácidos de este ingrediente (Kaiser et al., 2022).

Un estudio anterior de Abbas et al. (2008) demostraron que la harina de canola podría reemplazar fácilmente una porción de la harina de pescado en la dieta de tres de estas especies sin dañar a los peces, pero con cierta reducción en el aumento de peso (Tabla 13). Jiang et al.



(2016) determinaron que la carpa herbívora crecía de manera óptima con dietas que contenían 34% de harina de canola, 20% de harina de soya y 10% de harina de semilla de algodón y nada de harina de pescado, siempre que las dietas se complementaran con lisina y metionina. La producción de enzimas digestivas se redujo cuando se omitieron los aminoácidos libres de la dieta. La harina de pescado también podría reemplazarse totalmente con una combinación de harina de colza y alga chlorella (Shi et al., 2017), lo que sugiere que se podrían esperar resultados similares con la harina de canola. Habib et al. (2018) incluyeron fitasa o citrato en las dietas de harina de canola para rohu y descubrieron que ambas opciones mejoraban la digestibilidad del calcio, fósforo, sodio, potasio y magnesio, lo que permitía una menor suplementación de estos minerales. Rohu que recibieron harina de canola como fuente principal de proteína tuvieron tasas de crecimiento más altas que aquellos que recibieron harina de semilla de algodón, harina de colza, harina de soya o harina de pescado (Iqbal et al., 2015).

Tabla 12. Principales especies de carpa que se crían en granjas.

ESPECIES	NOMBRE COMÚN	ORIGEN
Cyprinus caprio	Carpa común, European carp	Asia y Europa
Ctenopharyngodon Idella	Carpa forragera, White amur	Vietnam, Siberia, China
Hypophthalmichthys nobilis	Carpa cabezona, Bighead carp	Este de Asia, China
Mylopharyngodon piceus	Carpa Negra, Black Chinese roach, Snail carp, Black amur	Este de Asia, China, Vietnam
Hypophthalmichthys molitrix	Carpa plateada, Flying carp	Siberia, China
Catla catla	Katla, Katol, Chepti, Baudhekra, Bacha, Karakatla, Tambra	India, Nepal, Pakistan, Myanmar, Bangladesh,
Cirrhinus mrigala	Morakhi, Moree, White carp, Mrigal carp	Southwest de Asia, India

ESPECIES	NOMBRE COMÚN	ORIGEN
Labeo rohita	Rohu, Rohita, Roho	India, Nepal, Bangladesh, Pakistan y Myanmar

Tabla 13. Evaluación de la harina de canola como reemplazo parcial de la harina de pescado en tres especies de carpas¹.

DIETA	ESPECIES	SUPERVIVENCIA, %	PESO INICIAL, G	PESO FINAL, G	GANANCIA DE PESO, G
Control harina de pescado	Labeo rohita	100	123.0	356.6	233.6
	Cirrhinus mrigala	100	118.0	332.6	214.6
	Catla catla	100	123.0	362.4	239.4
Canola reemplazando 20% de harina de pescado	Labeo rohita	100	122.7	420.4	197.7
	Cirrhinus mrigala	100	118.7	305.6	186.9
	Catla catla	100	123.5	337.1	213.6
Canola reemplazando 40% de harina de pescado	Labeo rohita	100	122.5	284.6	162.1
	Cirrhinus mrigala	100	118.1	282.2	164.1
	Catla catla	100	123.7	305.1	181.4

¹Abbas et al., 2008.

La harina de canola es una alternativa atractiva a la harina de pescado para la carpa común (Hussain et al. (2020). Por lo general, se incluye en las dietas de estos peces en niveles iguales al 50-55% de la dieta. Los investigadores señalaron además que la carpa común es a menudo criada en áreas donde hay cierta contaminación del agua y pueden beneficiarse de los compuestos polifenólicos en la harina de canola. Determinaron que mantener los polifenoles de Brassica en niveles entre 200 y 500 mg/kg de alimento mejoraba el consumo de alimento, la digestibilidad de la dieta y el crecimiento (Brassica napus) es rica en polifenoles como la sinapina, el ácido sinápico y el canolol (Nandasiri et al, 2019) que tienen propiedades

antioxidantes y antibacterianas. Por lo tanto, la harina de canola puede proporcionar una ventaja adicional en condiciones de cría subóptimas.

Bagre (pez gato)

El bagre se cultiva fácilmente en canales o estanques, y muchas especies de bagre se utilizan para este fin. Las especies más cultivadas se dividen en tres géneros, caracterizados por su origen. Estos se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Principales generos de peces gato criados en granja.

GENEROS	NOMBRE COMÚN	ORIGEN
Pangasiidae	Pez gato (bagre) de rayas	Sur de Asia
Icaluridae	Pez gato (bagre) de canal	Norte America
Claridae	Pez gat (bagre)jo de Africa	Norte de Africa, Sur de Asia

Quizás debido a la facilidad de criar bagre, sorprendentemente hay pocos estudios publicados sobre los efectos de la dieta en los parámetros de rendimiento. En un ensayo inicial, Webster et al (1997) sustituyeron la harina de maíz y la harina de soya por harina de canola en las dietas para el bagre de canal. Como muestra la Tabla 15, el reemplazo parcial de la harina de soya por harina de canola (dietas 3, 4 y 5) mejoró el rendimiento con respecto a la harina de soya sola (dieta 2) para dietas con hasta un 36 % de inclusión de harina de canola. Ninguna de las dietas tuvo un rendimiento tan bueno como la dieta rica en harina de pescado (dieta 1).

Tabla 15. Evaluación de mezclas de harina de canola y harina de soya en dietas para bagre de canal¹.

Ingredientes	DIETA					
	1	2	3	4	5	6
Harina de pescado, %	8	4	4	4	4	4
Harina de soya, %	51	57	47	37	27	17
Harina de canola, %	0	0	12	24	36	48
Parámetros						
Ganancia de peso, %	743	379	599	542	608	442

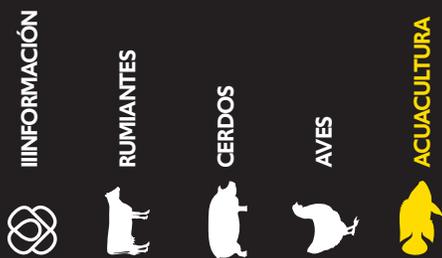
Relacion de la eficiencia de la proteina	DIETA					
	1	2	3	4	5	6
Supervivencia, %	100	98	100	100	100	100

¹Webster et al., 1997.

Zhang et al. (2020) evaluaron la harina de colza como sustituto de la harina de pescado en las dietas del bagre o pez gato asiático de cola roja. La harina se incluyó en el 0, 12, 24, 36 y 48% de la dieta total. Los pesos finales y las ganancias de peso no difirieron del control cuando se incluyó en la dieta hasta un 36% de harina de colza. Cuando se consideraron todos los tratamientos, hubo una tendencia a que las ganancias disminuyeran y las ingestas aumentaran a medida que aumentaban los niveles de harina de colza. No hubo diferencias en la supervivencia para ninguno de los tratamientos. La actividad de las enzimas digestivas (pepsina, tripsina, lipasa y amilasa) disminuyó con todos los niveles de inclusión de harina de colza.

ALIMENTACIÓN DE HARINA DE CANOLA EXTRAIDA CON SOLVENTE A ESPECIES DE PECES CARNÍVOROS

Según Oliva-Teles et al. (2015), es relativamente fácil reemplazar hasta la mitad de la harina de pescado en las dietas de peces carnívoros con proteínas alternativas. El uso de proteínas de origen vegetal para reemplazar más del 50% de la harina de pescado de la dieta plantea problemas porque los tractos digestivos de las especies carnívoras son adecuados para la digestión de proteínas animales. Además, estas especies tienen requerimientos muy altos de proteína y aminoácidos (Araujo et al., 2021), que son difíciles de satisfacer sin el uso de concentrados de proteína, algunos de los cuales pueden no estar bien equilibrados en cuanto a todos los aminoácidos esenciales. El equilibrio de aminoácidos de la proteína de la harina de canola se acerca más al de la harina de pescado que el de cualquier otra fuente de proteína vegetal, y es la mejor fuente para sustituir la harina de pescado (Enami, 2011; Kaiser et al., 2022). En ese contexto, la harina de canola es adecuada para reemplazar una porción de la proteína en estas dietas,



aunque sea una porción más pequeña que la que puede usarse para los peces omnívoros.

Trucha

Se ha demostrado que el perfil de aminoácidos de la harina de canola/colza es ideal como sustituto de la harina de pescado para la trucha arco iris (Slawski et al 2013) y con una digestibilidad de la proteína (90.9 %) similar a la de la harina de pescado (89.2 % Burel et al., 2000).

Además de la determinación de la digestibilidad, algunos ensayos han informado resultados alentadores sobre el uso de harina de canola. En un ensayo de alimentación (Shafaeipour et al., 2008), la harina de canola más DL-metionina se reemplazó del 10 al 57 % de la proteína de la harina de pescado (del 5 % al 30 % del alimento) en dietas para truchas. Al final del período de alimentación de 16 semanas, los investigadores determinaron que no había efectos adversos de la dieta sobre el crecimiento y que la harina de canola tenía el potencial de reemplazar niveles sustanciales de harina de pescado en las dietas de las truchas.

Yigit et al. (2012) proporcionaron alevines de trucha arco iris (peso inicial 1.5 g) durante 12 semanas con dietas isonitrogénicas que contenían 0, 8, 16, 24 o 32 % de harina de canola extraída con solvente. La harina de canola reemplazó a la harina de pescado y la harina de maíz en las dietas. Las tasas de crecimiento disminuyeron ligeramente con cada aumento incremental en la harina de canola, pero se consideraron aceptables y no hubo efectos adversos de la harina de canola en el consumo de alimento. Los parámetros de rendimiento obtenidos con los niveles de inclusión de 8% y 16% no fueron estadísticamente diferentes de los obtenidos cuando las truchas recibieron la dieta con 0% de harina de canola, aunque los valores fueron numéricamente más bajos para el aumento de peso y la tasa de crecimiento específico. En la Tabla 16 se muestran los resultados.

Tabla 16. Comportamiento de alevines de trucha arco iris con dietas que contienen varios niveles de harina de canola¹.

Parámetros	NIVELES DE INCLUSIÓN DE HARINA DE CANOLA, %				
	0	8	16	24	32
Peso inicial, g	1.55	1.57	1.56	1.57	1.58
Peso final, g	14.21	13.06	12.82	11.79	10.48
Ganancia de peso, g	12.65	11.51	11.24	10.20	8.88
Ganancia de peso específico, %/day	2.45	2.36	2.30	2.24	2.10
Consumo de alimento, g	12.80	12.77	12.55	12.35	11.49
Ganancia /alimento	1.04	1.10	1.09	1.19	1.30
Supervivencia, %	98.3	98.3	98.3	98.3	96.6

¹Yigit et al., 2012.

En un experimento similar, Collins et al. (2012) proporcionaron a trucha arco iris dietas en las que se incluía harina de canola al 0, 7,5, 15, 22,5 y 30%. Al igual que el estudio de Yigit et al. (2012), hubo disminuciones lineales en la tasa de crecimiento específico a medida que aumentaba la inclusión de harina de canola. Los investigadores sugirieron limitar el nivel de inclusión de harina de canola al 15%.

La canola de semillas marrones o amarillas se incluyó en dietas para trucha arco iris con un peso inicial de 2,5 gramos y un nivel de inclusión del 15% (Anderson et al., 2018). El peso corporal final fue ligeramente menor con la canola con semillas marrones, pero no con la canola de semillas amarillas en relación con el control. No hubo diferencias significativas en la tasa de crecimiento específico o la eficiencia alimenticia para ninguno de los tratamientos.

Se ha demostrado que las dietas que incorporan hasta un 32 % de harina de canola no tienen efectos perjudiciales sobre el crecimiento cuando se complementan con celulasa, fitasa y pectinasa (Yigit y Keser, 2016). Se necesitan más estudios sobre el uso de enzimas con la harina de canola.

Estos resultados demuestran que se pueden formular dietas prácticas utilizando hasta un 15% de harina de canola para reducir el uso de harina de pescado en dietas para trucha arco iris. Es posible que se puedan alcanzar niveles más altos con la suplementación de enzimas. Si bien no es un sustituto completo de la harina de pescado, la inclusión de harina de canola a este nivel sería beneficiosa para mejorar aún más la sostenibilidad de estos peces.

Salmón

El salmón, más que la trucha, tiene poca tolerancia a los carbohidratos vegetales. Se han realizado muchos estudios que investigan las fuentes de proteínas vegetales, y esto se ha realizado en gran medida con harina de soya y concentrado de proteína de soya, pero ha habido algunos estudios recientes que evalúan la harina de canola.

Drew (2004) demostró que la harina de canola es una fuente de proteína superior a la harina de soya para el salmón, ya que tiene menos propiedades antigénicas y, por lo tanto, es menos probable que cause hipersensibilidad. La harina de soya y los concentrados de proteína de soya pueden ser problemáticos para el salmón y provocar reacciones alérgicas en el intestino (Kaiser et al., 2022). Además, la proteína de la harina de canola tiene un valor biológico mayor que la harina de soya (Enami, 2011).

La recomendación segura más común para el nivel de inclusión de harina de canola es del 10% (Burr et al., 2013; Collins et al., 2013), debido al contenido de fibra de la harina. Sin embargo, hay indicios de que se pueden utilizar niveles mayores. En un ensayo de alimentación en Tasmania en el que se utilizó harina de canola australiana (Sajjadi y Carter, 2004), se evaluaron dietas que contenían un 35% de harina de canola. La supervivencia fue del 100% con estos niveles y proteínas, y la digestibilidad de las dietas superó el 90%.

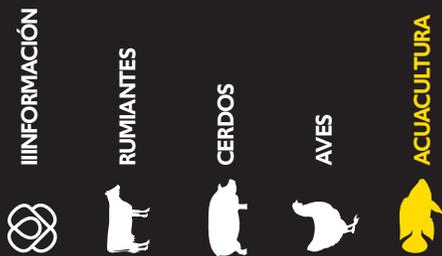
ALIMENTACIÓN DE HARINA DE CANOLA EXTRAIDA CON SOLVENTE A CRUSTÁCEOS

Camarón

La harina de canola se ha utilizado con éxito en dietas para camarones y langostinos en muchas partes del mundo. En un estudio anterior realizado en China, Lim et al. (1997) encontraron que un 15% de harina de canola en dietas para camarones no produjo diferencias significativas en el rendimiento en relación con la dieta de control, pero niveles de inclusión de 30% y 45% dieron como resultado tasas de crecimiento y consumo de alimento más bajos. Desde entonces se han ido adquiriendo conocimientos relacionados con los requerimientos de nutrientes de estas especies.

Investigaciones realizadas en México (Cruz-Suarez et al., 2001) revelaron que la harina de canola se puede incorporar a la dieta en un 30%, reemplazando la harina de pescado, la harina de soya y el trigo, sin alterar el rendimiento de los juveniles de camarón azul. En Malasia (Bulbul et al., 2014), los investigadores descubrieron 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 de camarones Kumura, siempre que también se agregara un atrayente a la harina.

Escobar et al. (2022) proporcionaron a los camarones una dieta de control comercial basada en harina de pescado o dietas que contenían una mezcla (50:50) de harina de canola y harina de soya (dietas basadas en proteínas vegetales) incluidas en un 46% de la dieta que se ofrecía tal cual o procesado por fermentación. La digestibilidad de las proteínas de la dieta que contenía la mezcla de proteínas fermentadas fue del 93.0%, comparable a la dieta de control (94.7%) y superior a la de la dieta con la fuente de proteínas no fermentadas (83.7%). Las ganancias promedio fueron mayores para la dieta que contenía proteína vegetal no fermentada (1.1, 1.0 y 0.9 g/semana para soya/canola no fermentada, soya/canola fermentada y harina de pescado, respectivamente), aunque las tasas de



supervivencia mejoraron cuando se añadió la mezcla de soya/canola fermentado.

Langostinos

Al igual que los camarones, los langostinos pueden crecer normalmente con dietas que contengan proteínas vegetales, siempre que sean apetecibles. Investigadores en Australia (Buchanan et al., 1997) alimentaron dietas de langostinos con 0, 20 o 64% de harina de canola. Los resultados indicaron que se requería un cóctel de enzimas para que el nivel más alto de harina de canola produjera tasas de crecimiento equivalentes a la dieta de control sin harina de canola. Suárez et al. (2009) determinaron que la tasa de crecimiento y la tasa de supervivencia en langostinos que recibieron dietas que incluían un 18% de harina de canola permanecieron equivalentes a la dieta de referencia. En la dieta de prueba se incluyó seis por ciento de harina de pescado. Glencross et al. (2018) publicaron valores de digestibilidad para 29 ingredientes de uso potencial en dietas para langostino tigre negro, *Penaeus monodon*. Los valores de la harina de canola se proporcionan en la Tabla 17. Los valores de digestibilidad de tres fuentes de harina de pescado se proporcionan para comparar.

Biabani et al. (2016) proporcionaron a los langostinos una dieta de control basada en harina de pescado y 4 dietas de prueba, en las que la proteína de la harina de canola reemplazó el 25, 50, 75 y 100% de la proteína de la harina de pescado. Las tasas de crecimiento fueron superiores a las encontradas con la dieta de control cuando los langostinos recibieron dietas con 25 o 50% de proteína de harina de canola. Las tasas de crecimiento de las dietas con 75 o 100% de reemplazo de harina de pescado fueron equivalentes a las de la dieta de control. Los investigadores concluyeron que hasta el 50% de la proteína de la harina de pescado podría reemplazarse de manera segura con harina de canola.

Tabla 17. Digestibilidad (%) de la harina de canola y tres fuentes de harina de pescado para camarones.

DIGESTIBILIDAD	HARINA DE CANOLA	ANCHOA	MACKAREL	TUNA
Materia seca	34.5	58.7	48.6	35.5
Proteína cruda	75.0	83.7	81.5	73.5
Extracto etéreo	71.6	67.3	100	95.2
Energía	26.5	65.1	53.0	52.1

Otros crustáceos

Los cangrejos de barro parecen poder digerir fácilmente la harina de canola. Thuong et al. (2008) determinaron que la digestibilidad de la materia seca y la proteína de la harina de canola fue del 83.5% y 87.6%, respectivamente, para los cangrejos de barro. Esto se compara favorablemente con la harina de pescado (85.4% y 88.3% de digestibilidad para la materia seca y la proteína). A los cangrejos chinos de la manopla se les pueden dar dietas en las que hasta el 40% de la harina de pescado se reemplaza por una mezcla 50:50 de harina de canola y harina de soya sin pérdida de crecimiento. Ren et al. (2018) señala que la pectina actuó como un factor antinutricional para la harina de colza y canola, lo que sugiere que la inclusión de una pectinasa podría mejorar la utilidad de la harina de canola en las dietas del cangrejo de manopla chino.

Safari et al. (2014) realizaron un estudio sobre los ingredientes que podrían incluirse en las dietas para cangrejos de río de uñas cortas. El estudio reveló que la semilla de canola molida era un ingrediente prometedor para el cangrejo de río.

HARINA DE CANOLA PROCESADA

La harina de canola se puede utilizar para producir concentrado de proteína de canola (CPC) mediante la extracción acuosa de proteínas (Burr et al., 2013; Thiessen et al., 2004). Esto da como resultado la eliminación de factores antinutricionales (principalmente fibra) y produce un producto con un mayor contenido de proteínas que la harina de canola, lo que facilita su uso en formulaciones para especies con altos requerimientos de proteínas. 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 el concentrado de proteína de soya. La capacidad de utilizar CPC o concentrado de proteína de colza (RPC) para reemplazar completamente la harina de pescado varía según la especie de pescado y posiblemente esté asociada con las propiedades organolépticas de las dietas utilizadas en los estudios realizados hasta la fecha.

Collins et al. (2012) determinaron que el CPC no tuvo efectos negativos sobre el crecimiento de la trucha arco iris en comparación con la harina de pescado. De manera similar, Slawski et al. (2012) determinaron que la RPC podría usarse para reemplazar completamente las dietas de harina de pescado para la trucha arcoiris. Este último ensayo se repitió utilizando CPC (Slawski et al., 2013). La harina de canola reemplazó el 0, 25, 50, 75 y 100% de la harina de pescado. Al nivel de reemplazo del 75%, el aumento de peso fue mayor que con la dieta de control de harina de pescado. Sin embargo, Burr et al. (2013) determinaron que el salmón provisto de una dieta testigo rica en ingredientes de proteínas vegetales podía tolerar solo un 10 % de CPC como sustituto de la harina de pescado. El veinte por ciento no era aceptable y dio como resultado tasas de crecimiento más bajas. Es posible que algunas especies de peces necesiten atrayentes.

USO DE ACEITE DE CANOLA EN ACUICULTURA

Dada la gran demanda de peces y crustáceos criados comercialmente, hay escasez de aceite de pescado, y se espera que esta situación aumente en el futuro. La sustitución del aceite de pescado por aceites vegetales ha sido ampliamente documentada, generalmente con muy poco impacto negativo en el crecimiento de los peces (Glencross y Turchini, 2011). El aceite de canola es único porque contiene una alta proporción de ácido graso monoinsaturado, ácido oleico.

Según Turchini et al. (2013), el aceite de canola y el aceite de colza son los aceites vegetales más utilizados en las dietas para salmón y trucha. El aceite de canola es muy deseado debido a sus bajos niveles de ácido

linoleico (omega 6), que ayuda a mantener una proporción de omega 3 a omega 6 que se encuentra naturalmente en el pescado. Salini et al. (2015) también descubrieron que los ácidos grasos saturados y monoinsaturados se oxidan preferentemente para obtener energía, evitando así la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga. Turchini et al. (2013) reemplazaron hasta el 90% del aceite de pescado con aceite de canola en dietas para trucha arco iris, sin pérdida de rendimiento y con solo un cambio mínimo en la proporción total de omega 3 a omega 6 en los filetes. De manera similar, Karayucel y Dernekbaşı (2010) no encontraron diferencias en el rendimiento cuando el 100% del suplemento de lípidos fue proporcionado por aceite de canola en trucha arco iris.

Otro método para utilizar aceite vegetal es incluirlo en las dietas durante la fase de crecimiento y luego proporcionar dietas ricas en aceite de pescado durante las etapas finales del crecimiento. Esto permite que los peces crezcan con aceites menos costosos y depositen lípidos en los tejidos que reflejan mejor a los peces en las etapas finales de crecimiento. Izquierdo et al. (2005) proporcionaron dietas ricas en aceite vegetal a lubinas y luego cambiaron a aceite de pescado durante el período de finalización. El aceite de canola alimentado durante la fase de crecimiento, seguido del aceite de pescado en la fase de acabado, permitió que la dorada desarrollara un perfil ideal de ácidos grasos en el tejido, mientras que los peces alimentados con harina de soya en la fase de crecimiento depositaron cantidades significativas de ácido linoleico que no pudo ser reducido adecuadamente durante la alimentación con aceite de pescado en la fase de finalización.

REFERENCIAS

- 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.
- 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.
- Canadian Grains Commission. 2023. <https://www.grainscanada.gc.ca/en/grain-research/export-quality/oilseeds/canola/2022/>
- 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.
- DairyOne, Feed Composition Library. 2023. <https://dairyone.com/services/forage-laboratory-services/feed-composition-library/>
- Evonik, AminoDat 6.2.2023. <https://animal-nutrition.evonik.com/en/products-and-solutions/feed-quality/aminodat-62-132013.html>
- Feedipedia.org. 2018. <https://www.feedipedia.org/>
- 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.
- Ghazani, S.M. and Marangoni, A.G., 2013. Minor components in canola oil and effects of refining on these constituents: A review. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90, pp.923-932.
- 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. 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.
- Sauvant, D., Perez, J.M. and Tran, G., 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials. *Wageningen Academic Publishers, INRA Editions*.

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.

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.

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), pp.1-9.

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. *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.

Ahsani, M., Mohammadabadi, M., Fozi, M.A., Koshkooieh, A.E., Khezri, A., Babenko, O., Bushtruk, M., Tkachenko, S., Stavetska, R. and Klopenko, N., 2019. Effect of roasted soybean and canola seeds on peroxisome proliferator activated receptors gamma (PPARG) gene expression and cattle milk characteristics. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 9(4), pp. 635-642.

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

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.

Arce-Cordero, J.A., Paula, E.M., Daniel, J.L., Silva, L.G., Broderick, G.A. and Faciola, A.P., 2021. Effects of neutral detergent fiber digestibility estimation method on calculated energy concentration of canola meals from 12 Canadian processing plants. *Journal of Animal Science*, 99(11), p. skab309.

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.

Auldust, M.J., Marett, L.C., Greenwood, J.S., Wright, M.M., Hannah, M., Jacobs, J.L. and Wales, W.J., 2013. 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.

Auldust, M.J., Wright, M.M., Marett, L.C., Hannah, M.C., Kennedy, E., Jacobs, J.L. and Wales, W.J., 2019. Milk production of cows grazing pasture supplemented by a partial mixed ration with or without canola meal. *Animal Production Science*, 59(4), pp.778-786.

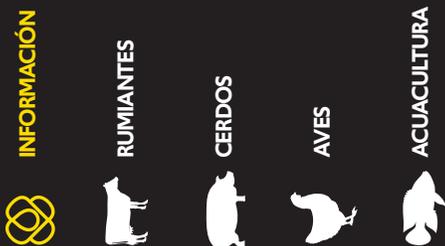
Baldin, M., Rico, D.E., Green, M.H. and Harvatine, K.J., 2018. An in vivo method to determine kinetics of unsaturated fatty acid biohydrogenation in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 101(5), pp.4259-4267.

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., Kreuzer, M., O'Mara, F. and McAllister, T.A., 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2), pp.21-27.

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.



Benchaar, C., Hassanat, F., Beauchemin, K.A., Gislou, G. and Ouellet, D.R., 2021. Diet supplementation with canola meal improves milk production, reduces enteric methane emissions, and shifts nitrogen excretion from urine to feces in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(9), pp.9645-9663.

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 cows. *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, (Supplement 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.

Broderick, G.A., Wallace, R.J. and Ørskov, E.R., 1991. Control of rate and extent of protein degradation. In *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants* (pp. 541-592). Academic Press.

Burakowska, K., Górka, P., Kent-Dennis, C., Kowalski, Z.M., Laarveld, B. and Penner, G.B., 2020. Effect of heat-treated canola meal and glycerol inclusion on performance and gastrointestinal development of Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 103(9), pp.7998-8019.

Burakowska, K., Górka, P. and Penner, G.B., 2021. Effects of canola meal inclusion rate in starter mixtures for Holstein heifer calves on dry matter intake, average daily gain, ruminal fermentation, plasma metabolites, and total-tract digestibility. *Journal of Dairy Science*, 104(8), pp.8736-8745.

Burakowska, K., Penner, G.B., Flaga, J., Kowalski, Z.M., Korytkowski, and Górka, P., 2021. Canola meal or soybean meal as protein source and the effect of microencapsulated sodium butyrate supplementation in calf starter mixture. I. Performance, digestibility and selected blood variables. *Journal of Dairy Science*, 104(6), pp.6646-6662.

Burakowska, K., Penner, G.B., Flaga, J., Przybyło, M., Barc, J., Wojciechowska-Puchałka, J., Wojtysiak, D., Kowalski, Z.M. and Górka, P., 2021b. Canola meal or soybean meal as protein source and the effect of microencapsulated sodium butyrate supplementation in calf starter mixture. II. Development of the gastrointestinal tract. *Journal of Dairy Science*, 104(6), pp.6663-6676.

Burakowska, K., Przybyło, M., Penner, G.B. and Górka, P., 2017. Evaluating the effect of protein source and micro-encapsulated sodium butyrate in starter mixtures on gastrointestinal tract development of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 100(Suppl. 2), pp.347

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.

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.

Chmielewska, A., Kozłowska, M., Rachwał, D., Wnukowski, P., Amarowicz, R., Nebesny, E. and Rosicka-Kaczmarek, J., 2021. Canola/rapeseed protein—nutritional value, functionality and food application: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(22), pp.3836-3856.

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.

Claypool, D.W., Hoffman, C.H., Oldfield, J.E. and Adams, H.P., 1985. Canola meal, cottonseed, and soybean meals as protein supplements for calves. *Journal of Dairy Science*, 68(1), pp.67-70.

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.

Dorea, J.R.R. and Armentano, L.E., 2017. Effects of common dietary fatty acids on milk yield and concentrations of fat and fatty acids in dairy cattle. *Animal Production Science*, 57(11), pp.2224-2236.

Easton, E., Edwards, J.H. and White, C., 1998. The effect of adding salt to a canola meal supplement on wool growth in weaner sheep. *Animal Production in Australia*, 22, pp.257-260.

ElsHEREEF, A.A., Arroyave-Jaramillo, J., Zavala-Escalante, L.M., Piñeiro-Vázquez, A.T., Aguilar-Pérez, C.F., Solorio-Sánchez, F.J. and Ku-Vera, J.C., 2020. Enteric methane emissions in crossbred heifers fed a basal ration of low-quality tropical grass supplemented with different nitrogen sources. *Czech Journal of Animal Science*, 65(4), pp.135-144.

Eugène, M., Massé, D., Chiquette, J. and Benchaar, C., 2008. Meta-analysis on the effects of lipid supplementation on methane production in lactating dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 88(2), pp.331-337.

Faldet, M. 2018. Evaluating feed financials. 2018. *Proceedings 4-State Dairy Nutrition Conference*, pp.152-157.

Flachowsky, G., Franke, K., Meyer, U., Leiterer, M. and Schone, 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, Pellerin D. 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 exogenous phytase addition to diets on phytate phosphorus digestibility in dairy cows. *MS Thesis, Washington State University*.

Gauthier, H., Swanepoel, N. and Robinson, P.H., 2019. Impacts of incremental substitution of soybean meal for canola meal in lactating dairy cow diets containing a constant base level of corn derived dried distillers' grains with solubles. *Animal Feed Science and Technology*, 252, pp.51-63.

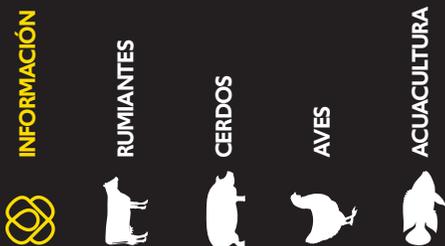
Gidlund, H., Hetta, M. and Huhtanen, P., 2017. Milk production and methane emissions from dairy cows fed a low or high proportion of red clover silage and an incremental level of rapeseed expeller. *Livestock Science*, 197, pp.73-81.

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., 2018. Evaluation of canola meal versus soybean meal as a protein supplement for beef cattle: effects on growth performance, carcass characteristics, rumen fermentation and nutrient digestion. (*Doctoral dissertation, University of Saskatchewan*).

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.

Gorka, P. and Penner, G.B., 2020. Rapeseed and canola meal as protein sources in starter diets for calves: current knowledge and directions of future studies. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 67(3), pp.313-321.



Grande, P.A., Alcalde, C.R., Lima, L.S.D., Zambom, M.A. and Macedo, F.D., 2014. Effect of whole oilseeds feeding on performance and nutritive values of diets of young growing saanen goats. *Ciência e Agrotecnologia*, 38, pp.181-187.

Hadam, D., Kaski, J., Burakowska, K., Penner, G.B., Kowalski, Z.M. and Górká, 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.

Hassanat, F., Gislón, G., Beauchemin, K.A. and Benchaar, C., 2020. Canola meal in dairy cow diets: Effect on nitrogen utilization. *Journal of Dairy Science*, 103(supplement 1), pp.288.

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), 1447-1461.

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.

Heim, R. and Krebs, G., 2020. Utilisation of canola meal as protein source in dairy cow diets: a review. *Agriculture and Natural Resources*, 54(6), pp.623-632.

Hentz, F., Kozloski, G.V., Orlandi, T., Ávila, 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.

Holtshausen, L., Benchaar, C., Kröbel, R. and Beauchemin, K.A., 2021. Canola meal versus Soybean meal as protein supplemented in the diets of lactating dairy cows affects the greenhouse gas intensity of milk. *Animals*, 11(6), p.1636.

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.

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., Kalscheur, K.F., Anderson, J.L. and Casper, D.P., 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 Scandinavica 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.

Kobayashi, Y., 2010. Abatement of methane production from ruminants: trends in the manipulation of rumen fermentation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(3), pp.410-416.

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.

Kuehnl, J.M. and Kalscheur, K.F., 2021. Production and temporal plasma metabolite effects of soybean meal versus canola meal fed to dairy cows during the transition period and early lactation. *Journal of Dairy Science* 104(Supplement 1), pp.23.

Kuehnl, J. and Kalscheur, K. 2022. Canola meal enhances early lactation milk production. Hoard's Dairyman. Available at: <https://hoards.com/article-31588-canola-meal-enhances-early-lactation-milk-production.html>. Accessed May 3, 2023.

Kuehnl, J. and Kalscheur, K. 2022. Production effects of feeding soybean meal versus canola meal to dairy cows with low versus high residual feed intake. *Journal of Dairy Science* 105(Supplement 1), pp.71 (abstract).

Lage, C.F.A., Räisänen, S.E., Stefenoni, H., Melgar, A., Chen, X., Oh, J., Fetter, M.E., Kniffen, D.M., Fabin, R.A. and Hristov, A.N., 2021. Lactational performance, enteric gas emissions, and plasma amino acid profile of dairy cows fed diets with soybean or canola meals included on an equal protein basis. *Journal of Dairy Science*, 104(3), pp.3052-3066.

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.

Loganes, C., Ballali, S. and Minto, C., 2016. Main properties of canola oil components: A descriptive review of current knowledge. *The Open Agriculture Journal*, 10(Suppl 1) 69-74.

Lopes, J.C., Harper, M.T., Giallongo, F., Oh, J., Smith, L., Ortega-Perez, A.M., Harper, S.A., Melgar, A., Kniffen, D.M., Fabin, R.A. and Hristov, A.N., 2017. Effect of high-oleic-acid soybeans on production performance, milk fatty acid composition, and enteric methane emission in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(2), pp.1122-1135.

Lynch, E.E., Campbell, M.A., Piltz, J.W., Krebs, G.L. and Friend, M.A., 2021. Responses to varying inclusion levels of canola meal as a grassfed supplement for weaner calves. In Proceedings of the 33rd Biennial Conference of the Australian Association of Animal Sciences. *CSIRO Publishing*.

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.

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

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. *Proceedings, 10th International Rapeseed Congress, Canberra, Australia*.

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, H., 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*, 102(6), pp.5066-5078.

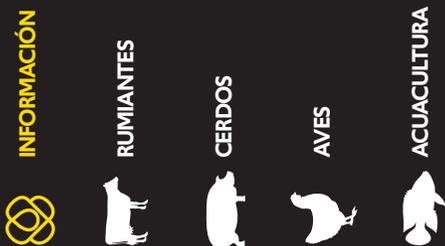
Maxin, G., Ouellet, D.R. and Lapierre, H., 2013a. Effect of substitution of soybean meal by canola meal or distillers' grains in dairy rations on amino acid and glucose availability. *Journal of Dairy Science*, 96(12), pp.7806-7817.

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.

McNabb, W.C., Spencer, D., Higgins, T.J. and Barry, T.N., 1994. Invitro rates of rumen proteolysis of ribulose 1, 5 bisphosphate carboxylase (rubisco) from lucerne leaves, and of ovalbumin, vicilin and sunflower albumin 8 storage proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 64(1), pp.53-61.

Melendez, P., Ramirez, R., Marin, M.P., Duchens, M. and Pinedo, P., 2020. Comparison between linseed expeller and canola expeller on concentrate intake, and circulating inflammatory mediators in Holstein calves. *Animal Nutrition*, 6(1), pp.47-53.

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 Kalscheur K.J. 2016. Canola meal in dairy cow diets during early lactation increases production compared with soybean meal. *Journal of Animal Science*, 94(Suppl 1), p.731.

Moore, S.A.E., Kalscheur, K.F., Aguerre, M.J. and Powell, M.J., 2016. Effects of canola meal and soybean meal as protein sources on methane and ammonia emissions of high producing dairy cows. *Journal of Animal Science*, 94(Suppl E), p.572.

Moura, D.C, Alessi, K.C., Assis, J.R., Torres, R.N., Soares, S.R., Donadia, A.B. and Silva, H.M. 2018. Meta-analysis of the use of canola meal in diets for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100 (Supplement 2) pp. 107 (Abstract).

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, and production in cows. *Journal of Dairy Science*, 99(2), pp.1216-1227.

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.

NASEM. 2021. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Research Council, *National Academies Press*, Washington, D.C.

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

NRC. 2015. Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Research Council, National Academies Press, Washington, D.C. Patterson, H.H., Whittier, J.C., Rittenhouse, L.R., Larsen, L. and Howes, A.D., 1999a. Effects of cull beans, sunflower meal and canola meal as protein supplements to beef steers consuming grass hay on in-situ digestion kinetics. *The Professional Animal Scientist*, 15(3), pp.185-190.

Patterson, H.H., Whittier, J.C., Rittenhouse, L.R. and Schutz, D.N., 1999b. Performance of beef cows receiving cull beans, sunflower meal, and canola meal as protein supplements while grazing native winter range in eastern Colorado. *Journal of Animal Science*, 77(3), pp.750-755.

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., Broderick, G.A. and Faciola, A.P., 2020. Effects of replacing soybean meal with canola meal for lactating dairy cows fed 3 different ratios of alfalfa to corn silage. *Journal of Dairy Science*, 103(2), pp.1463-1471.

Paula, E.M., Daniel, J.L.P., Silva, L.G., Costa H.H.A., and Faciola, A.P. 2017. Assessing potentially digestible NDF and energy content of canola meal from twelve Canadian crushing plants over four production years. *Journal of Dairy Science*, 100(Suppl 2) pp. 329-330.

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(Suppl 2), p.387.

Perera, S.P., McIntosh, T.C. and Wanasundara, J.P.D., 2016. Structural properties of cruciferin and napin of Brassica napus (canola) show distinct responses to changes in pH and temperature. *Plants*, 5(3), pp.36-60.

Pereira, A.B.D., Moura, D.C., Whitehouse, N.L. and Brito, A.F., 2020. Production and nitrogen metabolism in lactating dairy cows fed finely ground field pea plus soybean meal or canola meal with or without rumen-protected methionine supplementation. *Journal of Dairy Science*, 103(4), pp.3161-3176.

Prado, I.N.D. and Martins, A.D.S., 1999. Effect of cottonseed meal replacement by canola meal on performance of feedlot Nellore heifers. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 28(6), pp.1390-1396.

Prom, C.M. and Lock, A.L., 2021. Replacing stearic acid with oleic acid in supplemental fat blends improves fatty acid digestibility of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(9), pp.9956-9966.

Prom, C.M., dos Santos Neto, J.M., Newbold, J.R. and Lock, A.L., 2021. Abomasal infusion of oleic acid increases fatty acid digestibility and plasma insulin of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(12), pp.12616-12627.

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.

Ramirez-Bribiesca, J.E., McAllister, T., Ungerfeld, E. and Ortega-Cerrilla, M.E., 2018. In vitro rumen fermentation and effect of protein fractions of canola meals on methane production. *Scientia Agricola*, 75(1), pp.12-17.

Ravichandiran, S., Sharma, K., Dutta, N., Patianaik, A.K., Chauhan, J.S., Agnihotri, A. and Kumar, A., 2008. Performance of crossbred calves on supplements containing soybean meal or rapeseed-mustard cake with varying glucosinolate levels. *Indian Journal of Animal Sciences*.

Reynolds, M.A., Brown-Brandl, T.M., Judy, J.V., Herrick, K.J., Hales, K.E., Watson, A.K. and Kononoff, P.J., 2019. Use of indirect calorimetry to evaluate utilization of energy in lactating Jersey dairy cattle consuming common coproducts. *Journal of Dairy Science*, 102(1), pp.320-333.

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.

Robles Jimenez, L.E., Sanchez, A.Z., Ortega, O.A.C., Avalos, J.O., Florez, J.G.E., Gonzalez-Ronquillo, M and Bello-Perez, E.V. 2021. Effect of different growth stages of canola on nutrient intake and digestibility, nitrogen balance, and rumen fermentation kinetics in sheep diets. *Journal of Dairy Science*, 104 (Supplement 1), pp. 195.

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.

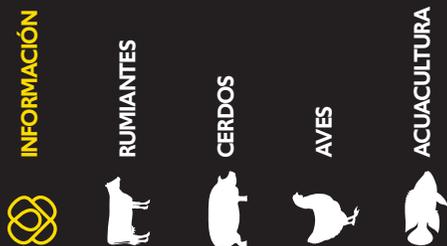
Salehi, R., Colazo, M.G., Oba, M. and Ambrose, D.J., 2016. Effects of prepartum diets supplemented with rolled oilseeds on calf birth weight, postpartum health, feed intake, milk yield, and reproductive performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99(5), pp.3584-3597.

Sánchez-Duarte, J.I., Kalscheur, K.F., Casper, D.P. and García, A.D., 2019. Performance of dairy cows fed diets formulated at 2 starch concentrations with either canola meal or soybean meal as the protein supplement. *Journal of Dairy Science*, 102(9), pp.7970-7979.

Schingoethe, D.J., 1996. Balancing the amino acid needs of the dairy cow. *Animal Feed Science and Technology*, 60(3-4), pp.153-160.

Schmidely, P. and Andrade, P.V.D., 2011. Dairy performance and milk fatty acid composition of dairy goats fed high or low concentrate diet in combination with soybeans or canola seed supplementation. *Small Ruminant Research*, 99(2-3), pp.135-142.

Sekali, M., Mlambo, V., Marume, U. and Mathuthu, M., 2020. Replacement of soybean meal with heat-treated canola meal in finishing diets of meatmaster lambs: physiological and meat quality responses. *Animals*, 10(10), p.1735.



Seo, S., Tedeschi, L.O., Lanzas, C., Schwab, C.G. and Fox, D.G., 2006. Development and evaluation of empirical equations to predict feed passage rate in cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 128(1-2), pp.67-83.

Silva, L.H.P., Reyes, D.C., Sacramento, P. Geng, Y., Ghelichkhan, M., Dillard, S.L., Soder, K.J. and Brito, A.F. 2022. Energy utilization in Jersey cows fed TMR or partial TMR plus forage canola. *Journal of Dairy Science*, 105(Supplement 1), pp. 121.

Skrivanova, V., Marounek, M. and Dvorak, R., 2004. Digestibility of total and phytate phosphorus in young calves. *Veterinarni medicina-UZPI*, 49(6), 191-196.

Soliva, C.R., Zeleke, A.B., Clement, C., Hess, H.D., Fievez, V. and Kreuzer, M., 2008. In vitro screening of various tropical foliages, seeds, fruits and medicinal plants for low methane and high ammonia generating potentials in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 147(1-3), pp.53-71.

Spears, J.W., 2003. Trace mineral bioavailability in ruminants. *The Journal of Nutrition*, 133(5 Suppl 1), pp.1506S-1509S.

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 Conley, A., 2020. Impacts of substitution of canola meal with soybean meal, with and without ruminally protected methionine, on production, reproduction and health of early lactation multiparous Holstein cows through 160 days in milk. *Animal Feed Science and Technology*, 264, p.114494.

Swanepoel, N., Robinson, P.H. and Conley, A., 2020. Impacts of substitution of canola meal with soybean meal, with and without ruminally protected methionine, on production, reproduction and health of early lactation multiparous Holstein cows through 160 days in milk. *Animal Feed Science and Technology*, 264, p.114494.

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.

Tajaddini, M.A., Dayani, O., Khezri, A., Tahmasbi, R. and Sharifi-Hoseini, M.M., 2021. Production efficiency, milk yield, and milk composition and fatty acids profile of lactating goats feeding formaldehyde-treated canola meal in two levels of dietary crude protein. *Small Ruminant Research*, 204, p.106519.

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

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 press cake, 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.

Troan, G., Pihlava, J.-M., Brandt-Kjelsen, A., Salbu, B. and Prestlokken, 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.

Urie, N.J., Lombard, J.E., Shivley, C.B., Koprak, C.A., Adams, A.E., Earleywine, T.J., Olson, J.D. and Garry, F.B., 2018. Preweaned heifer management on US dairy operations: Part V. Factors associated with morbidity and mortality in preweaned dairy heifer calves. *Journal of Dairy Science*, 101(10), pp.9229-9244.

Vesely, A., Kižova, L., Tinacty, J., Hadrova, S., Navratilova, 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.

Vuorela, S., Meyer, A.S. and Heinonen, M., 2004. Impact of isolation method on the antioxidant activity of rapeseed meal phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), pp.8202-8207.

Wallace, R.J., 1983. Hydrolysis of ¹⁴C-labelled proteins by rumen micro-organisms and by proteolytic enzymes prepared from rumen bacteria. *British Journal of Nutrition*, 50(2), pp.345-355.

Wanasundara, U.N., Amarowicz, R. and Shahidi, F., 1995. Partial characterization of natural antioxidants in canola meal. *Food Research International*, 28(6), pp.525-530.

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.; 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.

White, C.L., Young, P., Phillips, N. and Rodehutsord, M., 2000. The effect of dietary protein source and protected methionine (Lactet) on wool growth and microbial protein synthesis in Merino wethers. *Australian Journal of Agricultural Research*, 51(2), pp.173-183.

Williams, S.R.O., Hannah, M.C., Eckard, R.J., Wales, W.J. and Moate, P.J., 2020. Supplementing the diet of dairy cows with fat or tannin reduces methane yield, and additively when fed in combination. *Animal*, 14(Suppl 3), pp.s464-s472.

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.

Wu, D., Xu, L., Tang, S., Guan, L., He, Z., Guan, Y., Tan, Z., Han, X., Zhou, C., Kang, J. and Wang, M., 2016. Influence of oleic acid on rumen fermentation and fatty acid formation in vitro. *PLoS One*, 11(6), p.e0156835.

Wu, W.X., Liu, J.X., Xu, G.Z. and Ye, J.A., 2008. Calcium homeostasis, acid-base balance, and health status in periparturient Holstein cows fed diets with low cation-anion difference. *Livestock Science*, 117(1), pp.7-14.

Yang, W.Z., Xu, L., Li, C. and Beauchemin, K.A., 2013. Effects of supplemental canola meal and various types of distillers' grains on growth performance of backgrounded steers. *Canadian Journal of Animal Science*, 93(2), pp.281-286.

Yoon, B., Jackman, J., Valle-González, E. and Cho, N.J., 2018. Antibacterial free fatty acids and monoglycerides: biological activities, experimental testing, and therapeutic applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(4), p.1114.

Zimpel, R., Marinho, M.N., Almeida, K.V., Ruiz, A.R., Perdomo, M.C., Poindexter, M.B., Vieira-Neto, A., Arshad, U., Husnain, A., Nelson, C.D. and Santos, J.E.P., 2021. Parturition level of dietary cation-anion difference fed to nulliparous cows: Acid-base balance, mineral metabolism, and health responses. *Journal of Dairy Science*, 104(12), pp.12580-12599.

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.

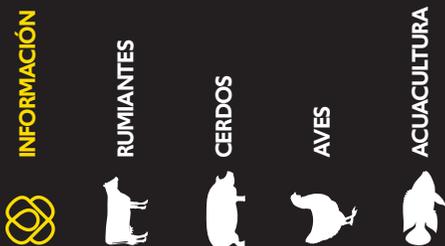
Adhikari, P.A., Heo, J.M. and Nyachoti, C.M., 2016. High dose of phytase on apparent and standardized total tract digestibility of phosphorus and apparent total tract digestibility of calcium in canola meals from Brassica napus black and Brassica juncea yellow fed to growing pigs. *Canadian Journal of 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., Gonzalez-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.



Bischoff, K., 2019. Glucosinolates and organosulfur compounds. *In Nutraceuicals in Veterinary Medicine* (pp. 113-119). Springer, Cham.

Do, S.H., Kim, B.O., Fang, L.H., You, D.H., su Hong, J. and Kim, Y.Y., 2017. Various levels of rapeseed meal in weaning pig diets from weaning to finishing periods. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(9), p.1292.

Dufour, V., Stahl, M. and Baysse, C., 2015. The antibacterial properties of isothiocyanates. *Microbiology*, 161(2), pp.229-243.

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.

Gonzalez-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.

Hansen, J.Ø., Øverland, M., Skrede, A., Anderson, D.M. and Collins, S.A., 2020. A meta-analysis of the effects of dietary canola/double low rapeseed meal on growth performance of weanling and growing-finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 259, p.114302.

Heo, J.M., Adewole, D. and Nyachoti, M., 2014. Determination of the net energy content of canola meal from Brassica napus yellow and Brassica 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.

Hong, J., Ariyibi, S., Antony, L., Scaria, J., Dilberger-Lawson, S., Francis, D. and Woyengo, T.A., 2021. Growth performance and gut health of Escherichia coli-challenged weaned pigs fed canola meal-containing diet. *Journal of Animal Science*, 99(8), p.skab196.

Hong, J., Ndou, S.P., Adams, S., Scaria, J. and Woyengo, T.A., 2020. Canola meal in nursery pig diets: growth performance and gut health. *Journal of Animal Science*, 98(11), p.skaa338.

Kerr, B.J. and Shurson, G.C., 2013. Strategies to improve fiber utilization in swine. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 4(1), pp.1-12.

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. *Animal Feed 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.

Kim, J.W., Koo, B. and Nyachoti, C.M., 2020. Pigs weighing less than 20 kg are unable to adjust feed intake in response to dietary net energy density regardless of diet composition. *Canadian Journal of Animal Science*, 101(1), pp.118-125.

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., Nurnberg, 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.

Lannuzel, C., Smith, A., Mary, A.L., Della Pia, E.A., Kabel, M.A. and de Vries, S., 2022. Improving fiber utilization from rapeseed and sunflower seed meals to substitute soybean meal in pig and chicken diets: A review. *Animal Feed Science and Technology*, p.115213.

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. and Nyachoti, C.M., 2021. Heat processing increased the digestibility of phosphorus in soybean expeller, canola meal, and canola expeller fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*, 99(10), p.skab276.

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.

Lee, J.W., Wang, S., Seefeldt, T., Donkor, A., Logue, B.A., Kim, H.S., Hong, J. and Woyengo, T.A., 2022. Porcine in vitro fermentation characteristics of canola co-products in neutral and acidic fermentation medium pH. *Animal Feed Science and Technology*, 284, p.115188.

Le Thanh, B.V., Beltranena, E., Zhou, X., Wang, L.F. and Zijlstra, R.T., 2019. Amino acid and energy digestibility of Brassica napus canola meal from different crushing plants fed to ileal-cannulated grower pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 252, pp.83-91.

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.

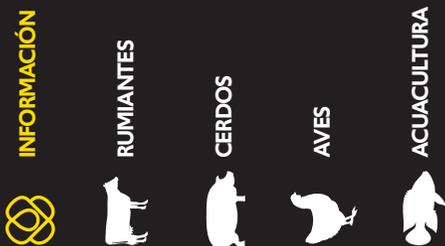
Liu, Y., Song, M., Maison, T. and Stein, H.H., 2014. Effects of protein concentration and heat treatment on concentration of digestible and metabolizable energy and on amino acid digestibility in four sources of canola meal fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*, 92(10), pp.4466-4477.

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. *Animal Feed Science and Technology*, 58(1), pp.7-20.

Messad, F., Létourneau-Montminy, M.P., Charbonneau, E., Sauvant, D. and Guay, F., 2016. Meta-analysis of the amino acid digestibility of oilseed meal in growing pigs. *Animal*, 10(10), pp.1635-1644.

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.

Navarro, D.M.D.L., Bruininx, E.M.A.M., De Jong, L. and Stein, H.H., 2018. The contribution of digestible and metabolizable energy from high-fiber dietary ingredients is not affected by inclusion rate in mixed diets fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*, 96(5), pp.1860-1868.

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.

Park, C.S., Ragland, D., Helmbrecht, A., Htoo, J.K. and Adeola, O., 2019. Digestibility of amino acid in full-fat canola seeds, canola meal, and canola expellers fed to broiler chickens and pigs. *Journal of Animal Science*, 97(2), pp.803-812.

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.

Sanchez-Zannatta, J., Le Thanh, B.V., Wang, L.F., Beltranena, E., Newkirk, R.W. and Zijlstra, R.T., 2022. Ileal nutrient and energy digestibility of steam-exploded canola meal in cannulated grower pigs and total tract nutrient digestibility and growth performance of diets containing steam-exploded canola meal in weaned pigs. *Animal Feed Science and Technology*, p.115518.

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.

Schone, 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.

Schone, F., Rudolph, B., Kirchheim, U. and Knapp, G., 1997b. 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., 2009. Nutritional characterization of canola co-products for swine. MS Thesis, *University of Alberta*.

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.

Seneviratne, R.W., Young, M.G., Beltranena, E., Goonewardene, L.A., Newkirk, R.W. and Zijlstra, R.T., 2010. The nutritional value of expeller-pressed canola meal for grower-finisher pigs. *Journal of Animal Science*, 88(6), pp.2073-2083.

Silva, J.D., Costa, K.A., Almeida, V.V., Coutinho, L.L., Silva, B.D. and Cesar, A.S.M., 2021. Fatty acid profile in brain and hepatic tissues from pigs supplemented with canola oil. *Rev. Bras. Agrotecnologia*, 11 (2), pp.414-420.

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.

Trabue, S.L., Kerr, B.J., Scoggin, K.D., Andersen, D. and Van Weelden, M., 2021. Swine diets impact manure characteristics and gas emissions: Part II protein source. *Science of The Total Environment*, 763, p.144207.

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.

Velayudhan, D.E., Hossain, M.M., Stein, H.H. and Nyachoti, C.M., 2019. Standardized ileal digestibility of amino acids in canola meal fed to gestating and lactating sows. *Journal of Animal Science*, 97(10), pp.4219-4226.

Velayudhan, D.E., Schuh, K., Woyengo, T.A., Sands, J.S. and Nyachoti, C.M., 2017. Effect of expeller extracted canola meal on growth performance, organ weights, and blood parameters of growing pigs. *Journal of Animal Science*, 95(1), pp.302-307.

Veum, T.L. and Liu, J., 2018. The effect of microbial phytase supplementation of sorghum-canola meal diets with no added inorganic phosphorus on growth performance, apparent total-tract phosphorus, calcium, nitrogen and energy utilization, bone measurements, and serum variables of growing and finishing swine. *Livestock Science*, 214, pp.180-188.

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.

Wang, H., Long, W., Chadwick, D., Velthof, G.L., Oenema, O., Ma, W., Wang, J., Qin, W., Hou, Y. and Zhang, F., 2020. Can dietary manipulations improve the productivity of pigs with lower environmental and economic cost? A global meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 289, p.106748.

Woyengo, T.A., Sanchez, J.E., Yanez, J., Beltranena, E., Cervantes, M., Morales, A. and Zijlstra, R.T., 2016. Nutrient digestibility of canola coproducts for grower pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 222, pp.7-16.

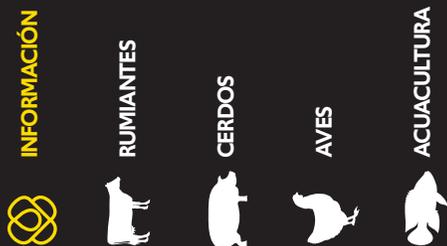
Woyengo, T.A. and Zijlstra, R.T., 2021. Net energy value of canola meal, field pea, and wheat millrun fed to growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 99(9), p. skab229.

Zhong, R. and Adeola, O., 2019. Energy values of solvent-extracted canola meal and expeller-derived canola meal for broiler chickens and growing pigs determined using the regression method. *Journal of Animal Science*, 97(8), pp.3415-3425.

AVES

Adedokun, S.A., Adeola, O., Parsons, C.M., Lilburn, M.S. and Applegate, T.J., 2008. Standardized ileal amino acid digestibility of plant feedstuffs in broiler chickens and turkey poulters using a nitrogen-free or casein diet. *Poultry Science*, 87(12), pp.2535-2548.

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.



Agyekum, A.K. and Woyengo, T.A., 2022. Nutritive value of expeller/cold-pressed canola meal and pre-pressed solvent-extracted carinata meal for broiler chicken. *Poultry Science*, 101(1), p.101528.

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., 2019. High inclusion levels of canola meal in broiler chicken nutrition (Master's thesis, University of Manitoba).

Barekatin, 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.

Barua, M., Abdollahi, M.R., Zaefarian, F., Wester, T.J., Girish, C.K. and Ravindran, V., 2020. Standardized ileal amino acid digestibility of protein sources for broiler chickens is influenced by the feed form. *Poultry Science*, 99(12), pp.6925-6934.

Berger, Q., Guettier, E., Urvoix, S., Bernard, J., Ganier, P., Chahnamian, M., Le Bihan-Duval, E. and Mignon-Grasteau, S., 2021. The kinetics of growth, feed intake, and feed efficiency reveal a good capacity of adaptation of slow and rapid growing broilers to alternative diets. *Poultry Science*, 100(4), p.101010.

Bernadet, M.D., Peillod, C., Lessire, M. and Guy, G., 2009. Incorporation of Rapeseed meal in mule duck diets. In *Proceedings of IV World Waterfowl Conference, Thrissur, India (Vol. 161)*.

Bhaskare, G.V., 2020. Determination of metabolisable energy and digestible amino acids of canola meals and canola seed for broilers: a thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Animal Science at Massey University, Manawatu, New Zealand (Doctoral dissertation, Massey University).

Brand, T. S., J. van der Merwe, and L. C. Hoffman. "Effect of including canola meal in diets of slaughter ostriches (*Struthio camelus* var. *domesticus*)." *South African Journal of Animal Science* 50, no. 4 (2020): 537-551.

Bryan, D.D.S.L., Abbott, D.A., Van Kessel, A.G. and Classen, H.L., 2019. In vivo digestion characteristics of protein sources fed to broilers. *Poultry Science*, 98(8), pp.3313-3325.

Bryan, D.D., MacIsaac, J.L., McLean, N.L., Rathgeber, B.M. and Anderson, D.M., 2019a. Nutritive Value of Expeller-Pressed Yellow Canola Meal for Broiler Chickens Following Enzyme Supplementation. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(4), pp.1156-1167.

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.

Cortes Cuevas, A., Cedillo Monroy, M.S., Gómez Verduzco, G., Balderas Gonzalez, A. and Avila González, E., 2016. Performance and egg quality in semi-free range hens fed diets with different levels of canola meal. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7(2), pp.173-184.

Czerwinski, 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.

David, L.S., Abdollahi, M.R., Bedford, M.R. and Ravindran, V., 2021. True ileal calcium digestibility in soybean meal and canola meal, and true ileal phosphorous digestibility in maize-soybean meal and maize-canola meal diets, without and with microbial phytase, for broiler growers and finishers. *British Poultry Science*, 62(2), pp.293-303.

Elnesr, S.S., Alagawany, M., Elwan, H.A., Fathi, M.A. and Farag, M.R., 2020. Effect of sodium butyrate on intestinal health of poultry—a review. *Annals of Animal Science*, 20(1), pp.29-41.

Fu, Z., Su, G., Yang, H., Sun, Q., Zhong, T. and Wang, Z., 2021. Effects of dietary rapeseed meal on growth performance, carcass traits, serum parameters, and intestinal development of geese. *Animals*, 11(6), p.1488.

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-Esquerria, 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 hens. *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.

Goudarzi, S.M., Saki, A., Mohammadi, N. and Zamani, P., 2017. The effect of substitution of soybean with canola meal in laying hen diets formulated on the basis of total or digestible amino acids on performance and blood parameters. *Journal of Livestock Technology*, 5, pp.1-8.

Inglis, G.D., Wright, B.D., Sheppard, S.A., Abbott, D.W., Oryschak, M.A. and Montana, T., 2021. Expeller-Pressed Canola (*Brassica napus*) Meal Modulates the Structure and Function of the Cecal Microbiota, and Alters the Metabolome of the Pancreas, Liver, and Breast Muscle of Broiler Chickens. *Animals*, 11(2), p.577.

Jamroz, D., Wiliczkiwicz, 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 fiber fractions in geese (Part III). *Journal of Animal Feed Science*, 1(3), pp.37-50.

Jayaraman, B., Maclsaac, 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., Zdunczyk, 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.

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. *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.

Khalil, M.M., Abdollahi, M.R., Zaefarian, F. and Ravindran, V., 2021. Influence of feed form on the apparent metabolizable energy of feed ingredients for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 271, p.114754.

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

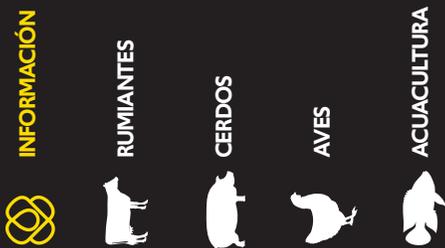
Kim, E.J., Utterback, P.L. and Parsons, C.M., 2012. Comparison of amino acid digestibility coefficients for soybean meal, canola meal, fish meal, and meat and bone meal among 3 different bioassays. *Poultry Science*, 91(6), pp.1350-1355.

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

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.



Kozłowski, 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.

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

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.

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.

Mnisi, C.M. and Mlambo, V., 2018. Growth performance, haematology, serum biochemistry and meat quality characteristics of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) fed canola meal-based diets. *Animal Nutrition*, 4(1), pp.37-43.

Moss, A.F., Chrystal, P.V., Dersjant-Li, Y., Selle, P.H. and Liu, S.Y., 2018. Responses in digestibilities of macro-minerals, trace minerals and amino acids generated by exogenous phytase and xylanase in canola meal diets offered to broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 240, pp.22-30.

Munoz, J.A., Hanna, C.D., Utterback, P.L. and Parsons, C.M., 2018. Phosphorus retention in corn, spray dried plasma protein, soybean meal, meat and bone meal, and canola meal using a precision-fed rooster assay. *Poultry Science*, 97(12), pp.4324-4329.

Mutucumarana, R.K., Ravindran, V., Ravindran, G. and Cowieson, A.J., 2015. Measurement of true ileal phosphorus digestibility in maize and soybean meal for broiler chickens: Comparison of two methodologies. *Animal Feed Science and Technology*, 206, pp.76-86.

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 Arcscott, G.H., 1985. Effect of canola meal in laying hen diets. *Nutrition reports international* 31, pp.1349-1355.

Newkirk, R., 2011. Meal nutrient composition. In *Canola* (pp. 229-244). *AOCS Press*.

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*.

Niu, Y., Rogiewicz, A., Shi, L., Patterson, R. and Slominski, B.A., 2022. The effect of multi-carbohydase preparations on non-starch polysaccharides degradation and growth performance of broiler chickens fed diets containing high inclusion level of canola meal. *Animal Feed Science and Technology*, 293, p.115450.

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.

Oryschak, M.A., Smit, M.N. and Beltranena, E., 2020. Brassica napus and Brassica juncea extruded-expelled cake and solvent-extracted meal as feedstuffs for laying hens: Lay performance, egg quality, and nutrient digestibility. *Poultry Science*, 99(1), pp.350-363.

Osho, S.O., Babatunde, O.O. and Adeola, O., 2019. Additivity of apparent and standardized ileal digestibility of amino acids in wheat, canola meal, and sorghum distillers dried grains with solubles in mixed diets fed to broiler chickens. *Poultry Science*, 98(3), pp.1333-1340.

Park, C.S., Ragland, D., Helmbrecht, A., Htoo, J.K. and Adeola, O., 2019. Digestibility of amino acid in full-fat canola seeds, canola meal, and canola expellers fed to broiler chickens and pigs. *Journal of Animal Science*, 97(2), pp.803-812.

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

Rad-Spice, M., Rogiewicz, A., Jankowski, J. and Slominski, B.A., 2018. Yellow-seeded *B. napus* and *B. juncea* canola. Part 1. Nutritive value of the meal for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 240, pp.66-77.

Rogiewicz, A., Dyck, B. and Slominski, B.A., 2015. High inclusion levels of canola meal in laying hen diets. In *14th International Rapeseed Congress, Saskatoon, Canada* (p. 139).

Ross, M.L., Bryan, D.D., Abbott, D.A. and Classen, H.L., 2019. Effect of protein sources on performance characteristics of turkeys in the first three weeks of life. *Animal Nutrition*, 5(4), pp.396-406.

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.

Saricicek, B.Z., Kilic, U. and Garipolu, 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. *Asianaustralasian journal of animal sciences*, 18(10), pp.1457-1463

Savary, R.K., Maclsaac, 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.

Savary, R.K., Maclsaac, J.L., Rathgeber, B.M., McLean, N.L. and Anderson, D.M., 2019. Evaluating Brassica napus and Brassica juncea meals with supplemental enzymes for use in brown-egg laying hen diets: production performance and egg quality factors. *Canadian Journal of Animal Science*, 99(4), pp.820-832.

Semwogerere, F., Neethling, J., Muchenje, V. and Hoffman, L.C., 2019. Meat quality, fatty acid profile, and sensory attributes of spent laying hens fed expeller press canola meal or a conventional diet. *Poultry Science*, 98(9), pp.3557-3570.

Sessingnong, T., Omotosho, O., Rogiewicz, A., Niu, Y., Ferreira, J., Patterson, R. and Slominski, B.A. 2022. Research on Evaluation of Expeller/Cold-pressed Canola (EPC) as a Valuable Feed Ingredient for Poultry. *Proceedings, Animal Nutrition Conference of Canada*.

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., Barekatin, 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.

Veluri, S. and Olukosi, O.A., 2020. Metabolizable energy of soybean meal and canola meal as influenced by the reference diet used and assay method. *Animals*, 10(11), p.2132.

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.

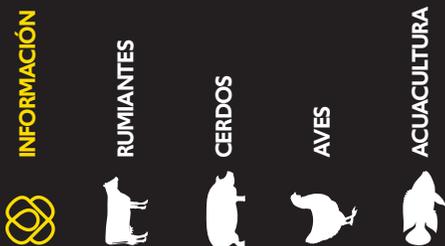
Wickramasuriya, S.S., Yi, Y.J., Yoo, J., Kang, N.K. and Heo, J.M., 2015. A review of canola meal as an alternative feed ingredient for ducks. *Journal of Animal Science and Technology*, 57(1), p.29.

Wise, T.L. and Adeola, O., 2022. Validation of a 3-point model for the determination of energy values using the regression method in broiler chickens. *Poultry Science*, p.102336.

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.

Wu, S.B., Choct, M. and Pesti, G., 2020. Historical flaws in bioassays used to generate metabolizable energy values for poultry feed formulation: a critical review. *Poultry Science*, 99(1), pp.385-406.

Yadav, S., Teng, P.Y., Choi, J., Singh, A.K., Vaddu, S., Thippareddi, H. and Kim, W.K., 2022. Influence of rapeseed, canola meal and glucosinolate metabolite (AITC) as potential antimicrobials: effects on growth performance, and gut health in Salmonella Typhimurium challenged broiler chickens. *Poultry Science*, 101(1), p.101551.



Yadav, S., Teng, P.Y., Singh, A.K., Choi, J. and Kim, W.K., 2022a. Influence of Brassica spp. rapeseed and canola meal, and supplementation of bioactive compound (AITC) on growth performance, intestinal-permeability, oocyst shedding, lesion score, histomorphology, and gene expression of broilers challenged with *E. maxima*. *Poultry Science*, 101(2), p.101583.

Yoshida, Y., Nishimura, S., Tabata, S. and Kawabata, F., 2022. Chicken taste receptors and perception: recent advances in our understanding of poultry nutrient-sensing systems. *World's Poultry Science Journal*, 78(1), pp.5-20.

Zhang, K.X., Zhang, K.Y., Applegate, T.J., Bai, S.P., Ding, X.M., Wang, J.P., Peng, H.W., Xuan, Y., Su, Z.W. and Zeng, Q.F., 2020. Evaluation of the standardized ileal digestibility of amino acids of rapeseed meals varying in protein solubility for Pekin ducks. *Poultry Science*, 99(2), pp.1001-1009.

Zhong, R. and Adeola, O., 2019. Energy values of solvent-extracted canola meal and expeller-derived canola meal for broiler chickens and growing pigs determined using the regression method. *Journal of Animal Science*, 97(8), pp.3415-3425.

Zhu, Y.W., Yang, W.C., Liu, W., Yin, X.H., Luo, X.B., Zhang, S.A., Wang, W.C. and Yang, L., 2019. Effects of dietary rapeseed meal inclusion levels on growth performance, organ weight, and serum biochemical parameters in Cherry Valley ducks. *Poultry Science*, 98(12), pp.6888-6896.

ACUACULTURA

Abbas, S., Ahmed, I., Hafeez-Ur-Rehman, M. and Mateen, A., 2008. Replacement of fish meal by canola meal in diets for major carps in fertilized ponds. *Pakistan Veterinary Journal*, 28(3) pp.111-114.

Albrektsen, S., Kortet, R., Skov, P.V., Ytteborg, E., Gitlesen, S., Kleinegris, D., Mydland, L.T., Hansen, J.Ø., Lock, E.J., Mørkøre, T. and James, P., 2022. Future feed resources in sustainable salmonid production: A review. *Reviews in Aquaculture*. 10.1111/raq.12673

Ali Zamini, A., Kanani, H.G., azam Esmaeili, A., Ramezani, S. and Zoriezahra, S.J., 2014. Effects of two dietary exogenous multi-enzyme supplementation, Natuzyme® and beta-mannanase (Hemicell®), on growth and blood parameters of Caspian salmon (*Salmo trutta caspius*). *Comparative Clinical Pathology*, 23, pp.187-192.

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.

Araujo, B.C., Symonds, J.E., Glencross, B.D., Carter, C.G., Walker, S.P. and Miller, M.R., 2021. A review of the nutritional requirements of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, pp.1-30.

Arsalan, M., Hussain, S.M., Ali, S., Ahmad, B. and Sharif, A., 2021. Use of phytase and citric acid supplementation on growth performance and nutrient digestibility of *Cirrhinus mrigala* fingerlings fed on canola meal based diet. *Brazilian Journal of Biology*, 83.

Biabani, A., Alaf Noverian, H. and Falahatkar, B., 2016. The Effect of replacing fish meal with different level of canola meal cake on growth performance and body composition of oriental river prawn (*Macrobrachium nipponense*) in juvenile stage. *Journal of Animal Environment*, 7(4), pp.211-218.

Bibi, F., Qaisrani, S.N. and Akhtar, M., 2020. Nutritive evaluation, metabolisable energy and digestible amino acid contents of different indigenous feedstuff for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Brazilian Journal of Biology*, 81, pp.44-52.

Bischoff, K., 2019. Glucosinolates and organosulfur compounds pp113-119. *In Nutraceuticals in Veterinary Medicine*, Springer AG, Switzerland.

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 *Marsupenaeus japonicus* (Bate). *Aquaculture Research*, 45(5), pp.848-858.

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.

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 byproduct meal in a commercial production diet for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *International Aquatic Research*, 5(1), p.5.

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., Hjermslev, 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.

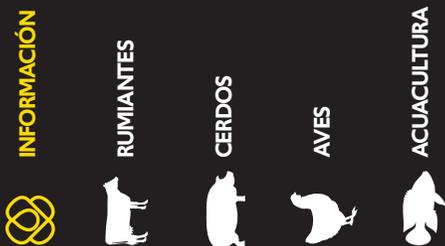
Drew, M.D., 2004. Canola protein concentrate as a feed ingredient for salmonid fish. *Avances en Nutrición Acuicola. VII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*, 16-19 Noviembre, Hermosillo, Mexico, pp. 168-181.

Elesho, F.E., Kröckel, S., Sutter, D.A.H., Nuraini, R., Chen, I.J., Verreth, J.A.J. and Schrama, J.W., 2021. Effect of feeding level on the digestibility of alternative protein-rich ingredients for African catfish (*Clarias gariepinus*). *Aquaculture*, 544, p.737108.

Enami, H.R., 2011. A review of using canola/rapeseed meal in aquaculture feeding. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 6(1), p.22.

Erdoan, F. and Olmez, 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.



Escobar, R., Lozano, M.S.R., Flores, J.C.M., Cortés, G.G. and Suárez, E.J.D., Effects of soybean and canola meals as dietary protein sources on the production performance and meat quality of shrimp. *Veterinaria México OA*, 9.

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.

Fries, E.M., Oxford, J.H., Godoy, A.C., Hassamer, M.Z., Correia, A.F., Boscolo, W.R. and Signor, A., 2020. Phytase on the digestibility of plant protein feed for silver catfish, *Rhamdia voulezi*. *Aquaculture*, 528, p.735528.

Francis, G., Makkar, H.P. and Becker, K., 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199(3-4), pp.197-227.

Furuya, W.M., Pezzato, L.E., Miranda, E.C.D., Furuya, V.R.B., Barros, M.M. and Lanna, E.A.T., 2001. Apparent nutrient and energy digestibility of canola meal for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30, pp.611-616.

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.

Gaylord, T.G., Rawles, S.D. and Gatlin III, D.M., 2004. Amino acid availability from animal, blended, and plant feedstuffs for hybrid striped bass (*Morone chrysops* M. saxatilis). *Aquaculture Nutrition*, 10(5), pp.345-352.

Glencross, B., Blyth, D., Wade, N. and Arnold, S., 2018. Critical variability exists in the digestible value of raw materials fed to black tiger shrimp, *Penaeus monodon*: The characterisation and digestibility assessment of a series of research and commercial raw materials. *Aquaculture*, 495, pp.214-221.

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.

Glencross, B.D. and Turchini, G.M., 2010. Chapter 12. Fish Oil Replacement in Starter, Grow-Out, and Finishing Feeds for Farmed Aquatic Animals. In: *Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds*, p.373. CRC Press

Gonçalves, G.S. and Furuya, W.M., 2004. Digestibilidade aparente de alimentos pelo piavuçu, *Leporinus macrocephalus*. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 26(2), pp.165-169.

Gonçalves, G.S., Furuya, W.M., Ribeiro, R.P., Furuya, V.R.B. and Soares, C.M., 2002. Farelo de canola na alimentação do piavuçu, *Leporinus macrocephalus* (Garavello & Britski), na fase inicial. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 24, pp.921-925.

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.

Hossain, M.A. and Jauncey, K., 1993. The effects of varying dietary phytic acid, calcium and magnesium levels on the nutrition of common carp, *Cyprinus carpio*. *Colloques de l'INRA (France)*.

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 *Mylopharyngodon piceus*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 36(1), pp.41-48.

Hussain, S., Rehman, A.U., Luckett, D.J., Naqvi, S.M.S. and Blanchard, C.L., 2021. Protease inhibitors purified from the canola meal extracts of two genetically diverse genotypes exhibit antidiabetic and antihypertension properties. *Molecules*, 26(7), p.2078.

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.

Hussain, S.M., Gohar, H., Rasul, A.Z.H.A.R., Shahzad, M.M., Akram, A.M., Tariq, M., Hussain, M., Ali, M. and Khalid, A., 2020. Effect of polyphenols supplemented canola meal based diet on growth performance, nutrient digestibility, and antioxidant activity of common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) fingerlings. *Indian Journal of Fish*, 67, pp.72-79.

Hussain, S.M., Afzal, M., Nasir, S., Javid, A., Azmat, H., Mamoona Makhdoom, S., Shah, S.Z.H., Hussain, M., Mustafa, I. and Iqbal, M., 2017. Role of phytase supplementation in improving nutrient digestibility and growth performance for *Labeo rohita* fingerlings fed on canola meal-based diet. *Journal of Applied Animal Research*, 45(1), pp.15-21.

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).

Iqbal, M., Afzal, M., Yaqub, A., Anjum, K.M. and Tayyab, K., 2021. Combined Effects of Citric Acid and Phytase Supplementation on Growth Performance, Nutrient Digestibility and Body Composition of *Labeo rohita* Fingerlings. *Aquaculture Studies*, 22(1).

Iqbal, M., Yaqub, A. and Ayub, M., 2021b. Partial and full substitution of fish meal and soybean meal by canola meal in diets for genetically improved farmed tilapia (*O. niloticus*): Growth performance, carcass composition, serum biochemistry, immune response, and intestine histology. *Journal of Applied Aquaculture*, pp.1-26.

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.

Kaiser, F., Harbach, H. and Schulz, C., 2022. Rapeseed proteins as fishmeal alternatives: A review. *Reviews in Aquaculture*. DOI: 10.1111/raq.12678

Karayucel, I. and Dernekbai, 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.

Kirimi, J.G., Musalia, L.M., Magana, A. and Munguti, J.M., 2020. Protein quality of rations for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) containing oilseed meals. *Journal of Agricultural Sciences* 12(2), pp.82-91.

Kitagima, R.E. and Fracalossi, D.M., 2011. Digestibility of alternative protein rich feedstuffs for channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42(3), pp.306-312.

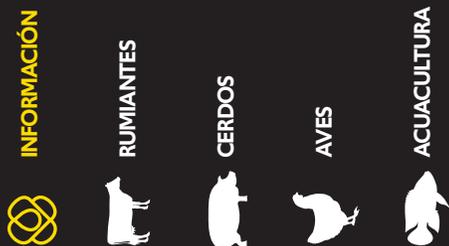
Kou, H., Xu, S., and Wang, A.L., 2015. Effect of replacing canola meal for fish meal on the growth, digestive enzyme activity, and amino acids, of ovate pompano, *Trachinotus ovatus*. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh* 67, pp.1144-1154

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.

Lee, S., Chowdhury, M.K., Hardy, R.W. and Small, B.C., 2020. Apparent digestibility of protein, amino acids and gross energy in rainbow trout fed various feed ingredients with or without protease. *Aquaculture*, 524, p.735270.

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.

Luo, Y., Ai, Q., Mai, K., Zhang, W., Xu, W. and Zhang, Y., 2012. Effects of dietary rapeseed meal on growth performance, digestion and protein metabolism in relation to gene expression of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture*, 368, pp.109-116.



Luo, Z., Li, X.D., Wang, W.M., Tan, X.Y. and Liu, X., 2011. Partial replacement of fish meal by a mixture of soybean meal and rapeseed meal in practical diets for juvenile Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*: effects on growth performance and in vivo digestibility. *Aquaculture Research*, 42(11), pp.1615-1622.

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.

Maas, R.M., Verdegem, M.C., Dersjant-Li, Y. and Schrama, J.W., 2018. The effect of phytase, xylanase and their combination on growth performance and nutrient utilization in Nile tilapia. *Aquaculture*, 487, pp.7-14.

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.

Mirzakhani, M.K., Abedian Kenari, A., Motamedzadegan, A. and Banavreh, A., 2020. Apparent digestibility coefficients of crude protein, amino acids, crude lipid, dry matter and gross energy of ten feedstuffs for yearling Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt 1869). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(3), pp.1500-1516.

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.

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

Oliva-Teles, A., Enes, P. and Peres, H., 2015. Replacing fishmeal and fish oil in industrial aquafeeds for carnivorous fish. *Feed and Feeding Practices in Aquaculture*, pp.203-233.

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 Journal of Agricultural Research*, 49(4), pp.569-575.

Pezzato, L.E., Miranda, E.C.D., Barros, M.M., Pinto, L.G.Q., Furuya, W.M. and Pezzato, A.C., 2002. Apparent digestibility of feedstuffs by Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31, pp.1595-1604.

Prabu, E., Rajagopalsamy, C.B.T., Ahilan, B., Santhakumar, R., Jeevagan, I.J.M.A. and Renuhadevi, M., 2017. An overview of anti-nutritional factors in fish feed ingredients and their effects in fish. *Journal of Aquaculture in the Tropics*, 32(1/2), p.149.

Ren, S., Zhu, J., Cai, C., Wang, Z., Wu, P., Wang, Y., Cao, X. and Ye, Y., 2019. Pectin plays a role in restricting the utilization of rapeseed meal by Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*. *Aquaculture Research*, 50(2), pp.611-620.

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.

Sajjadi, M. and Carter, C.G., 2004. Dietary phytase supplementation and the utilisation of phosphorus by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed a canola-meal-based diet. *Aquaculture*, 240(1-4), pp.417-431.

Salini, M.J., Turchini, G.M. and Glencross, B.D., 2017. Effect of dietary saturated and monounsaturated fatty acids in juvenile barramundi *Lates calcarifer*. *Aquaculture Nutrition*, 23(2), pp.264-275.

Santigosa, E., Sánchez, J., Médale, F., Kaushik, S., Pérez-Sánchez, J. and Gallardo, M.A., 2008. Modifications of digestive enzymes in trout (*Oncorhynchus mykiss*) and sea bream (*Sparus aurata*) in response to dietary fish meal replacement by plant protein sources. *Aquaculture*, 282(1-4), pp.68-74.

Satoh, S.; Poe, W. E.; Wilson, R. P., 1989: Effect of supplemental phytate and/or tricalcium phosphate on weight gain, feed efficiency and zinc content in vertebrae of channel catfish. *Aquaculture* 80, 155-161

Shafaeipour, A., Yavari, V., Falahatkar, B., Maremmazi, J.G. and Gorjipour, E., 2008. Effects of canola meal on physiological and biochemical parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, 14(2), pp.110-119.

Sherry, J. and Koester, J., 2020. Life cycle assessment of aquaculture stewardship council certified Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Sustainability*, 12(15), p.6079.

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.

Slawski, H., Adem, H., Tressel, R.P., Wysujack, K., Koops, U. and Schulz, C., 2011. Replacement of fishmeal by rapeseed protein concentrate in diets for common carp (*Cyprinus carpio* L.). *The Israeli Journal of Aquaculture* 63, pp.605-611.

Slawski, H., Nagel, F., Wysujack, K., Balke, D.T., Franz, P. and Schulz, C., 2013. Total fish meal replacement with canola protein isolate in diets fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.). *Aquaculture Nutrition*, 19(4), pp.535-542.

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. Substituicao parcial e total da proteina do farelo de soja pela proteina do farelo de canola na alimentacao de alevinos de piavucu (*Leporinus macrocephalus*, L.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(1), pp.15-22.

Storebakken, T., Shearer, K.D. and Roem, A.J., 1998. Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal, soy-protein concentrate and phytase-treated soy-protein-concentrate-based diets to Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, 161(1-4), pp.365-379.

Suárez, J.A., Gaxiola, G., Mendoza, R., Cadavid, S., Garcia, G., Alanis, G., Suárez, A., Faillace, J. and Cuzon, G., 2009. Substitution of fish meal with plant protein sources and energy budget for white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture*, 289(1-2), pp.118-123.

Tayyab, K., Afzal, M., Iqbal, M., Arshad, A., Aslam, S. and Batool, M., 2017. Enhanced digestibility of phytase treated canola meal based diet for *Labeo rohita* fingerlings. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 27(4).

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.

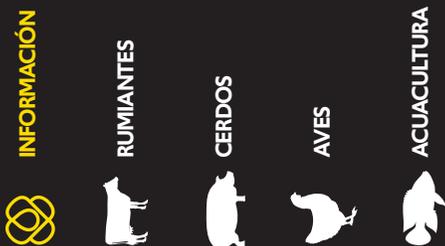
Thiessen, D.L., 2004. Optimization of feed peas, canola and flaxseed for aqua feeds: The Canadian prairie perspective In: Cruz-Suárez, L.E., Ricque Marie, D., Nieto López, M.G., Villarreal, D., Scholz, U. y González, M. 2004. Avances en Nutrición Acuicola VII. Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 16-19 Noviembre, 2004. Hermosillo, Sonora, Mexico.

Truong, P.H., Anderson, A.J., Mather, P.B., Paterson, B.D. and Richardson, N.A., 2008. Effect of selected feed meals and starches on diet digestibility in the mud crab, *Scylla serrata*. *Aquaculture Research*, 39(16), pp.1778-1786.

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.



Usmani, N. and Jafri, A.K., 2002. Influence of dietary phytic acid on the growth, conversion efficiency, and carcass composition of mrigal *Cirrhinus mrigala* (Hamilton) fry. *Journal of the World Aquaculture Society*, 33(2), pp.199-204.

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., Radunz, 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.

von Danwitz, A., van Bussel, C.G., Klatt, S.F. and Schulz, C., 2016. Dietary phytase supplementation in rapeseed protein based diets influences growth performance, digestibility and nutrient utilisation in turbot (*Psetta maxima* L.). *Aquaculture*, 450, pp.405-411.

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

Xu, S.D., Zheng, X., Dong, X.J., Ai, Q.H. and Mai, K.S., 2022. Beneficial effects of phytase and/or protease on growth performance, digestive ability, immune response and muscle amino acid profile in low phosphorus and/or low fish meal gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) diets. *Aquaculture*, 555, p.738157.

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., 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 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.

Yigit, N.O. and Olmez, M., 2011. Effects of cellulase addition to canola meal in tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) diets. *Aquaculture Nutrition*, 17(2), pp.e494-e500.

Zhang, X., Wang, H., Zhang, J., Lin, B., Chen, L., Wang, Q., Li, G. and Deng, J., 2020. Assessment of rapeseed meal as fish meal alternative in diets for juvenile Asian red-tailed catfish (*Hemibagrus wyckioides*). *Aquaculture Reports*, 18, p.100497.

Zheng, C.C., Wu, J.W., Jin, Z.H., Ye, Z.F., Yang, S., Sun, Y.Q. and Fei, H., 2020. Exogenous enzymes as functional additives in finfish aquaculture. *Aquaculture Nutrition*, 26(2), pp.213-224.

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. 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)



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