**Capítulo 2**

**Aplicación de los coproductos de proteína fermentada de maíz en la alimentación de dietas acuícolas**

# Introducción

Aunque se fomenta ampliamente el uso de los coproductos de proteína fermentada de maíz (CFP) en las dietas acuícolas, sorprende saber que solo hay unos cuantos estudios publicados. Los coproductos de proteínas fermentadas de maíz son excelentes fuentes de energía y aminoácidos digestibles para usar en las dietas acuícolas; se han evaluado como sustitutos parciales o totales de las harinas de soya y de pescado en las dietas de lubina europea (*Dicentrarchus labrax*), tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) y salmón del Atlántico (*Salmo salar*).

# Comparación de perfiles de nutrientes de la proteína fermentada de maíz con las fuentes de proteína comunes en las dietas acuícolas

 A diferencia de las formulaciones de dietas porcinas y avícolas, el uso de varios ingredientes de alimentos “altos en proteína” en las dietas acuícolas con frecuencia se evalúa con base en su capacidad relativa para sustituir parcialmente los estándares comunes de la harina de pescado (HP) y harina de soya. Hay pocos datos comparativos de la digestibilidad de la energía y de los aminoácidos de las fuentes de las proteínas fermentadas de maíz frente a la harina de soya y la harina de pescado en varias especies de peces, pero Qui et al. (2017) compararon la digestibilidad de la MS, energía, PC y aminoácidos de una fuente de proteínas fermentadas de maíz (NexPro) con harina de soya y harina de pescado administrada a camarón blanco del Pacífico (*L. vannamei*). Como se muestra en el **cuadro 1**, la digestibilidad de la MS de las proteínas fermentadas de maíz fue mayor, mientras que la de la energía y aminoácidos fue similar y la de la proteína fue menor que la de la harina de pescado. La harina de soya tuvo mayor digestibilidad de MS, PC, energía y aminoácidos que las proteínas fermentadas de maíz y la harina de pescado. Estos resultados indican que las proteínas fermentadas de maíz son un sustituto aceptable de la harina de pescado, pero no así de la harina de soya en las dietas para camarón blanco del Pacífico.

|  |
| --- |
| **Cuadro 1.** Comparación del análisis proximal, composición de aminoácidos y digestibilidad aparente de la proteína fermentada de maíz (CFP) de NexPro, harina de soya (HS) y harina de pescado (HP) en camarón blanco en Pacífico (*L. vannamei*; adaptado de Qiu et al., 2017)  |
| **Componente, % (con base en como se alimentó)** | **CFP** | **HS** | **HP** |
| Materia seca | 94.77 | 89.03 | 92.01 |
| Digestibilidad aparente de MS, % | 69.72 | 78.51 | 49.15, 49.45 |
| Proteína cruda | 49.20 | 44.89 | 62.78 |
| Digestibilidad aparente de proteína, % | 60.58 | 97.03 | 67.07, 71.3 |
| Grasa cruda | 4.31 | 3.78 | 10.56 |
| Fibra cruda | 4.29 | 3.20 | 0 |
| Digestibilidad aparente de energía, % | 68.09 | 82.56 | 69.77, 67.78 |
| Cenizas | 4.87 | 6.67 | 18.75 |
| Ala | 3.26 (70) | 2.04 (94) | 3.91 (69) |
| Arg | 3.26 (77) | 3.35 (97) | 3.68 (75) |
| Asp | 4.05 (73) | 5.10 (95) | 5.34 (69) |
| Cys | 0.82 (73) | 0.62 (91) | 0.47 (54) |
| Glu | 7.49 (68) | 8.24 (96) | 7.47 (71) |
| Gly | 1.54 (73) | 2.04 (95) | 4.88 (67) |
| His | 1.42 (76) | 1.20 (94) | 1.63 (74) |
| Ile | 2.18 (71) | 2.17 (93) | 2.42 (69) |
| Leu | 5.64 (68) | 3.57 (92) | 4.21 (71) |
| Lys | 2.14 (72) | 3.06 (95) | 4.67 (77) |
| Met | 0.83 (74) | 0.66 (95) | 1.61 (71) |
| Phe | 2.89 (69) | 2.35 (93) | 2.39 (65) |
| Pro | 3.58 (68) | 2.39 (95) | 3.08 (67) |
| Ser | 2.53 (75) | 1.90 (93) | 2.11 (58) |
| Thr | 2.02 (73) | 1.75 (92) | 2.41 (66) |
| Trp | 0.54 (80) | 0.62 (95) | 0.62 (80) |
| Tyr | 2.34 (74) | 1.64 (95) | 1.67 (74) |
| Val | 2.73 (72) | 2.34 (91) | 2.99 (67) |

# Lubina europea (*Dicentrarchus labrax*)

Se publicaron dos estudios que evaluaron la alimentación de proteínas fermentadas de maíz a lubina europea (Goda et al., 2019; 2020). En el primer estudio, Goda et al. (2019) llevaron a cabo una prueba de desempeño del crecimiento durante 8 semanas para determinar si se podían utilizar niveles crecientes de proteínas fermentadas de maíz (30, 40 y 50%) para sustituir parcialmente la harina de soya en las dietas de alevines de *Dicentrarchus labrax* con un peso corporal promedio inicial de 7.5 g/pez. En un inicio, los investigadores se refirieron a las proteínas fermentadas de maíz utilizadas en este estudio como “fuente de DDG alta en proteína”, pero en las conclusiones la describen correctamente como NexPro. Las dietas experimentales se formularon para tener el mismo contenido de proteína cruda (45%) y grasa cruda (13%). Como se muestra en el **cuadro 2**, los peces alimentados con las dietas con 30, 40 y 50% de proteínas fermentadas de maíz tuvieron mejor ganancia de peso corporal, tasa de crecimiento específico y consumo de alimento que aquellos alimentados con la dieta control. Entre los tratamientos de la dieta no hubo mortalidad y los peces alimentados con el 50% de proteínas fermentadas de maíz presentaron una mejor conversión alimenticia que el resto de tratamientos. Se observaron mejoras en las mediciones hematológica, bioquímica, de capacidad antioxidante total, así como de morfología intestinal cuando los peces se alimentaron con las dietas con proteínas fermentadas de maíz, en comparación con los alimentados con las dietas control; los autores indicaron que dichas respuestas podrían relacionarse con los componentes de levadura presentes en las proteínas fermentadas de maíz. Los resultados de este estudio muestran que la adición de hasta un 50% de proteínas fermentadas de maíz para sustituir parcialmente la harina de soya en las dietas para juveniles de lubinas mejora el desempeño del crecimiento e impactaría de forma positiva el estado de salud de los peces.

|  |
| --- |
| **Cuadro 2.** Efectos de alimentar niveles crecientes de proteína fermentada de maíz (NexPro) en el desempeño del crecimiento de lubina europea (*Dicentrarchus labrax*) (adaptado de Goda et al., 2019) |
| **Medición** | **Tasa de inclusión en la dieta de proteína fermentada de maíz, %** |
| **0%** | **30%** | **40%** | **50%** |
| Peso corporal inicial, g/pez | 7.47 | 7.50 | 7.50 | 7.53 |
| Peso corporal final, g/pez | 14.47b | 17.20a | 17.37a | 18.03a |
| Ganancia de peso, g/pez | 7b | 9.70a | 9.87a | 10.50a |
| Tasa de crecimiento específico, %/día | 0.87b | 1.39a | 1.41a | 1.70a |
| Consumo de alimento, g/pez | 11.97b | 14.17a | 13.30a | 13.20a |
| Conversión alimenticia2 | 1.71a | 1.45ab | 1.46ab | 1.26b |
| Supervivencia, % | 100 | 100 | 100 | 100 |

1Tasa de crecimiento específico = 100 × [(peso corporal final (g) – peso corporal inicial (g)/duración de la alimentación (días)]

2Conversión alimenticia = ganancia de peso vivo (g)/consumo de alimento seco (g).

a,b Las medias dentro del mismo renglón con diferentes superíndices son diferentes (P < 0.05).

En un estudio subsiguiente, Goda et al. (2020) alimentaron dietas con 30, 40 y 50% de proteínas fermentadas de maíz para sustituir parcialmente a la harina de soya (HS) y suplementaron con una enzima proteasa comercial para evaluar el desempeño del crecimiento y las respuestas fisiológicas e histológicas intestinales en juveniles de lubina europea. La alimentación de dietas con 50% de proteínas fermentadas de maíz resultó en mayor peso corporal final, ganancia de peso, tasa de crecimiento específico y conversión alimenticia en comparación con las dietas control, y con 30% y 40% de estas proteínas (**cuadro 3**). Estas mejoras fueron el resultado de una mejor tasa de eficiencia proteica, valor productivo de la proteína, retención de lípidos y de energía de los peces alimentados con la dieta con 50% de proteínas fermentadas de maíz, en comparación con los alimentados con la dieta control; también se observó un incremento de estas medidas de eficiencia nutricional al alimentarlos con las dietas con 30% y 40% de proteínas fermentadas de maíz en comparación con la dieta control (cuadro 3). Durante el estudio de alimentación de 70 días no se observó mortalidad de los peces en ninguno de los tratamientos. De manera similar a los resultados informados por Goda et al. (2019), la alimentación con dietas de proteínas fermentadas de maíz suplementadas con enzima proteasa mejoró las mediciones de hematología, bioquímica sérica, respuesta inmunitaria humoral y morfología intestinal. Estos resultados apoyan la adición de hasta un 50% de proteínas fermentadas de maíz en las dietas de juveniles de lubina como sustituto parcial de la harina de soya para sustentar el desempeño del crecimiento óptimo y la salud.

|  |
| --- |
| **Cuadro 3.** Efectos alimentar dietas con niveles crecientes de proteínas fermentadas de maíz (NexPro) con suplementación de enzima proteasa a lubina europea (*Dicentrarchus labrax*) en el desempeño del crecimiento y la eficiencia nutricional (adaptado de Goda et al., 2020) |
| **Medición** | **Tasa de inclusión en la dieta de proteína fermentada de maíz, %** |
| **0%** | **30%** | **40%** | **50%** |
| Peso corporal inicial, g/pez | 7.47 | 7.53 | 7.43 | 7.43 |
| Peso corporal final, g/pez | 15.57a | 16.80ab | 17.07ab | 19.28b |
| Ganancia de peso, g/pez | 8.10a | 9.27ab | 9.63ab | 11.85b |
| Tasa de crecimiento específico, %/día | 1.31a | 1.43ab | 1.48ab | 1.70b |
| Consumo de alimento, g/pez | 16.93a | 15.57b | 14.47b | 13.07c |
| Conversión alimenticia2 | 2.09a | 1.68ab | 1.47ab | 1.10b |
| Supervivencia, % | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Tasa de eficiencia proteica | 1.07c | 1.33b | 1.48b | 1.94a |
| Valor de producción de proteína, % | 11.08c | 17.33b | 19.78b | 26.15a |
| Retención de lípidos, % | 22.42c | 26.94b | 35.69a | 27.82b |
| Retención de energía, % | 6.72d | 7.80cd | 10.20a | 8.28b |

1Tasa de crecimiento específico = 100 × [(peso corporal final (g) – peso corporal inicial (g)/duración de la alimentación (días)]

2Conversión alimenticia = ganancia de peso vivo (g)/consumo de alimento seco (g).

a,b,c,d Las medias dentro del mismo renglón con diferentes superíndices son diferentes (P < 0.05).

# Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)

Hay pocos datos de la digestibilidad de los distintos nutrientes en los coproductos de proteínas fermentadas de maíz en diversas especies acuícolas. Sin embargo, se llevó a cabo un estudio (inédito) para determinar la digestibilidad de materia orgánica, energía bruta, proteína cruda, extracto etéreo y aminoácidos de las proteínas fermentadas de maíz de ProCap Gold alimentada a tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), cuyos coeficientes de digestibilidad se muestran en el **cuadro 4**.

|  |
| --- |
| **Cuadro 4.** Digestibilidad aparente (%) de la materia orgánica, energía neta, proteína cruda, extracto etéreo y aminoácidos de dos muestras de proteínas fermentadas de maíz (CFP) alimentadas a tilapia del Nilo (*O. niloticus*; datos inéditos adaptados con autorización de Marquis ProCap) |
| **Medición, %** | **CFP** |
| Materia orgánica | 60.6 |
| Energía bruta | 83.1 |
| Proteína cruda | 83.1 |
| Extracto etéreo | 52.9 |
| Aminoácidos indispensables |
| Arg | 93 |
| His | 94 |
| Ile | 93 |
| Leu | 94 |
| Lys | 89 |
| Met | 89a |
| Phe | 93 |
| Thr | 85 |
| Val | 92 |
| Aminoácidos no esenciales |
| Ala | 94 |
| Asp | 93 |
| Glu | 96 |
| Gly | 93a |
| Pro | 95 |
| Ser | 92 |
| Tyr | 92 |

a,b Las medias dentro del mismo renglón con diferentes superíndices son diferentes (P < 0.05).

Suehs y Gatlin (2022) realizaron un estudio para determinar el valor nutricional de las proteínas fermentadas de maíz (ProCap Gold) en el desempeño del crecimiento, la composición corporal y las respuestas inmunitarias de juveniles de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). En la primera prueba, la dieta control se formuló para contener 36% de proteína cruda proporcionada por la harina de soya, concentrado de proteína de soya y harina de pescado menhaden (HP). Las dietas experimentales se formularon para sustituir parcialmente la harina de soya y harina de pescado con 7.5, 15, 22.5, 30 o 37.5% de proteínas fermentadas de maíz y se suplementaron con aceite de soya para proporcionar un 6% de lípidos en todas las dietas. Se alimentaron grupos de 15 juveniles de tilapia (10.6 g de peso corporal inicial) por acuario con cada dieta peletizada para proporcionar 3 réplicas por tratamiento de dieta durante un período de alimentación de 8 semanas. Al terminar el período de alimentación de 8 semanas, se seleccionaron y sacrificaron por eutanasia de forma humanitaria 3 peces de cada acuario para medir el índice hepatosomático, tasa de grasa intraperitoneal, rendimiento y composición de filetes. También se tomaron muestras de sangre para determinar varias respuestas inmunitarias no específicas como la producción de radicales oxidativos en los neutrófilos sanguíneos, producción de anión superóxido intracelular y extracelular, lisozima, proteína total, inmunoglobulinas totales y actividad antiproteasa. Los resultados no mostraron diferencias en el crecimiento, eficiencia de la ganancia, supervivencia, rendimiento de filetes (**cuadro 5**) ni composición corporal (**cuadro 6**) entre los tratamientos de la dieta. Esto era de esperarse porque todas las dietas se formularon para contener los mismos niveles de proteína y energía a medida que se añadieron cantidades crecientes de proteínas fermentadas de maíz para sustituir parcialmente la harina de soya y harina de pescado. Además, la alimentación con dietas que contenían hasta 37.5% de proteínas fermentadas de maíz no tuvo efectos (no se muestran los datos) en ninguna de las mediciones inmunitarias no específicas evaluadas en este estudio.

|  |
| --- |
| **Cuadro 5.** Efectos de alimentar dietas con 0, 7.5, 15, 22.5, 30 y 37.5% de proteína fermentada de maíz (ProCap Gold) a juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*; peso inicial 0.25 g) sobre el desempeño del crecimiento, rendimiento de filetes, índice hepatosomático, grasa intraperitoneal y supervivencia durante un período de alimentación de 8 semanas (Suehs y Gatlin, 2022; adaptado con autorización de Marquis ProCap) |
| **Medición** | **Tasa de inclusión en la dieta de proteína fermentada de maíz, %** |
| **0%** | **7.5%** | **15%** | **22.5%** | **30%** | **37.5%** |
| Incremento a partir del peso inicial1, % | 383 | 321 | 353 | 376 | 354 | 364 |
| Ganancia:Alimento2 | 0.85 | 0.79 | 0.82 | 0.87 | 0.81 | 0.83 |
| Rendimiento de filetes3, % | 27.2 | 27.3 | 28.5 | 26.1 | 26.7 | 26.7 |
| Índice hepatosomático4, % | 3.09 | 2.73 | 3.26 | 2.92 | 3.30 | 3.32 |
| Grasa intraperitoneal, % | 1.10 | 1.33 | 0.99 | 1.13 | 0.94 | 1.40 |
| Supervivencia, % | 100 | 97.8 | 91.1 | 100 | 88.9 | 95.6 |

1Ganancia de peso = (peso final, g – peso inicial, g) / peso inicial, g × 100.

2Ganancia:alimento = ganancia de peso, g / alimento seco ofrecido, g.

3Rendimiento de filetes = peso del filete, g / 100 g peso corporal.

4Índice hepatosomático = (100 × peso del hígado, g / peso corporal, g).

5Grasa intraperitoneal, % = (peso de la grasa intraperitoneal g / peso corporal, g × 100).

|  |
| --- |
| **Cuadro 6.** Composición corporal total de los juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) alimentados con dietas que contenían 0, 7.5, 15, 22.5, 30 y 37.5% de proteína fermentada de maíz (ProCap Gold) después de un período de alimentación de 8 semanas (Suehs y Gatling, 2022; adaptado con autorización de Marquis ProCap) |
| **Medición** | **Tasa de inclusión en la dieta de proteína fermentada de maíz, %** |
| **0%** | **7.5%** | **15%** | **22.5** | **30%** | **37.5%** |
| Humedad, % | 70.9 | 72.9 | 70.9 | 70.8 | 71.4 | 69.9 |
| Proteína, % | 17.5 | 16.8 | 17.4 | 17.2 | 17.2 | 17.4 |
| Lípidos, % | 7.4 | 6.5 | 7.4 | 7.8 | 7 | 8.3 |
| Cenizas, % | 3.8 | 3.7 | 3.7 | 3.9 | 3.9 | 3.9 |
| Eficiencia de la conversión de proteína, % | 44.2 | 40 | 42.4 | 43.4 | 40.1 | 42.5 |

Un estudio inédito llevado a cabo en la Universidad de Auburn evaluó la adición de proteínas fermentadas de maíz (NexPro) a tasas crecientes de inclusión en la dieta (0, 3.15, 6.30, 9.45 y 12.60%) como sustituto parcial del concentrado de proteína de maíz (CPC) en las dietas de juveniles de tilapia del Nilo (7.5 g peso corporal inicial) sobre el desempeño del crecimiento durante un período de alimentación de 9 semanas. No hubo diferencias significativas en la ganancia de peso, conversión alimenticia y supervivencia, lo que indica que hasta un 12.6% de proteínas fermentadas de maíz puede sustituir de manera eficaz el concentrado de proteína de maíz en la dieta de juveniles de tilapia sin que se comprometa el desempeño del crecimiento (**cuadro 7**).

|  |
| --- |
| **Cuadro 7.** Efectos de alimentar dietas con 0, 3.15, 6.30, 9.45 y 12.60% de proteína fermentada de maíz (NexPro) en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus)*) en el desempeño del crecimiento durante un período de alimentación de 9 semanas (adaptado de investigaciones inéditas de la Universidad de Auburn con autorización de POET) |
| **Medición** | **Tasa de inclusión en la dieta de proteína fermentada de maíz, %** |
| **0%** | **3.15%** | **6.30%** | **9.45%** | **12.60%** |
| Peso promedio final, g | 80.4 | 73.1 | 79.8 | 79.5 | 79.5 |
| Biomasa final, g | 1,446 | 1,405 | 1,436 | 1,447 | 1,447 |
| Ganancia de peso1, % | 965 | 880 | 953 | 954 | 936 |
| Conversión alimenticia2 | 1.23 | 1.30 | 1.24 | 1.23 | 1.24 |
| Supervivencia, % | 90 | 96.3 | 90 | 91.3 | 92.5 |

1Ganancia de peso = (peso final – peso inicial)/peso inicial × 100.

2Conversión alimenticia = alimento ofrecido/ (peso final – peso inicial).

# Camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*)

Qui et al. (2017) realizaron tres pruebas de desempeño del crecimiento para evaluar la adición de cantidades crecientes de proteínas fermentadas de maíz (NexPro) como sustituto de harina de soya o de una combinación de harina de pescado y harina de soya en dietas prácticas para juveniles de camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*). En la prueba 1, los camarones (0.18 g de peso corporal inicial; 10 camarones/tanque) se alimentaron con dietas que contenían 0, 10, 20 o 30% de proteínas fermentadas de maíz como sustitución de harina de soya durante un período de alimentación de 6 semanas. Entre los tratamientos de dieta no se observaron diferencias significativas en la tasa de crecimiento ni de conversión alimenticia (**cuadro 8**). Sin embargo, en la prueba 2, las porciones de harina de soya y harina de pescado sustituidas parcialmente en las dietas con 10, 20 o 30% de proteínas fermentadas de maíz resultaron en una disminución del peso final, ganancia de peso y conversión alimenticia deficiente cuando los camarones fueron alimentados con dietas con 20% y 30% de proteínas fermentadas de maíz comparado con los alimentados con las dietas control (0%) y 10% de dichas proteínas (**cuadro 9**). Como resultado, se realizó una tercera prueba para determinar la tasa máxima de inclusión de proteínas fermentadas de maíz en las dietas de camarón juvenil para apoyar el desempeño del crecimiento óptimo (**cuadro 10**) y los efectos en la composición corporal total (cuadro 7). Con base en estos resultados de desempeño del crecimiento, se recomienda un límite superior de 18% de proteínas fermentadas de maíz en las dietas de camarones juveniles debido a que hubo una reducción en la ganancia de peso y conversión alimenticia con la alimentación con dietas de 24% de estas proteínas. Es probable que la reducción del desempeño del crecimiento observada con tasas de inclusión mayores se deba a una digestibilidad más baja de energía (68%) y proteína (61%) en las proteínas fermentadas de maíz, comparada con la harina de soya (83% y 97%, respectivamente), así como a una menor digestibilidad de la proteína que con la harina de pescado (de 67 a 71%). De hecho, la digestibilidad aparente de varios aminoácidos fue menor en las proteínas fermentadas de maíz que en la harina de soya (véanse los detalles en el capítulo 1). No hubo diferencias de humedad, proteína, lípidos, cenizas y macrominerales o minerales traza en la composición corporal total del camarón, excepto mayor hierro y cobre en las tasas de inclusión en las dietas de 18% y 24%, en comparación con la dieta control (**cuadro 11**). Estos resultados indican que la biodisponibilidad del hierro y cobre en las proteínas fermentadas de maíz es relativamente alta comparada con otros ingredientes utilizados en estas dietas.

En resumen, los resultados de estas tres pruebas indican que las proteínas fermentadas de maíz son una buena fuente de proteína vegetal que se puede añadir hasta en un 30% en las dietas de juveniles de camarón blanco del Pacífico (*Litopeneaus vannamei*) como sustituto de harina de soya, o hasta 18% como sustituto de una combinación de harina de soya y harina de pescado, sin que afecte negativamente el desempeño de crecimiento. No obstante, la digestibilidad de la energía y los aminoácidos de la fuente de proteínas fermentadas de maíz evaluada en este estudio fue menor que la de la harina de soya.

|  |
| --- |
| **Cuadro 8.** Efectos de alimentar dietas con 0, 10, 20 y 30% de proteína fermentada de maíz (NexPro) a camarones juveniles (*L. vannamei*; peso inicial de 0.18 g) en el desempeño del crecimiento durante un período de alimentación de 6 semanas en la prueba 1 (adaptado de Qui et al., 2017) |
| **Medición** | **Tasa de inclusión en la dieta de proteína fermentada de maíz, %** |
| **0%** | **10%** | **20%** | **30%** |
| Promedio de peso final, g | 3.4 | 3.5 | 3.1 | 3.1 |
| Biomasa final, g | 28 | 31.7 | 29 | 29.4 |
| Ganancia de peso1, % | 1,724.4 | 1,894.9 | 1,679.8 | 1,827.8 |
| Conversión alimenticia2 | 2.44 | 2.35 | 2.62 | 2.58 |
| Supervivencia, % | 84 | 92 | 94 | 94 |

1Ganancia de peso = (peso final – peso inicial)/peso inicial × 100%

2Conversión alimenticia = alimento ofrecido/ (peso final – peso inicial).

|  |
| --- |
| **Cuadro 9.** Efectos de alimentar dietas con 0, 10, 20 y 30% de proteína fermentada de maíz (NexPro) a camarones juveniles (*L. vannamei*; peso inicial de 1.24 g) en el desempeño del crecimiento durante un período de alimentación de 7 semanas en la prueba 2 (adaptado de Qui et al., 2017) |
| **Medición** | **Tasa de inclusión en la dieta de proteína fermentada de maíz, %** |
| **0%** | **10%** | **20%** | **30%** |
| Promedio de peso final, g | 9.9a | 9.2a | 8b | 7.7b |
| Biomasa final, g | 225.8 | 204.6 | 191.4 | 199 |
| Ganancia de peso1, % | 684.8a | 644.7ab | 554.9bc | 519.4c |
| Conversión alimenticia2 | 1.61a | 1.72a | 2.05b | 2.12b |
| Supervivencia, % | 76.7 | 73.3 | 80 | 85.8 |

1Ganancia de peso = (peso final – peso inicial)/peso inicial × 100%

2Conversión alimenticia = alimento ofrecido/ (peso final – peso inicial).

a,b,cLas medias dentro del mismo renglón con diferentes superíndices son diferentes (P < 0.05).

|  |
| --- |
| **Cuadro 10.** Efectos de alimentar dietas con 0, 6, 12, 18 y 24% de proteína fermentada de maíz (NexPro) a camarones juveniles (*L. vannamei*; peso inicial de 0.25 g) en el desempeño del crecimiento durante un período de alimentación de 6 semanas en la prueba 3 (adaptado de Qui et al., 2017) |
| **Medición** | **Tasa de inclusión en la dieta de proteína fermentada de maíz, %** |
| **0%** | **6%** | **12%** | **18%** | **24%** |
| Promedio de peso final, g | 5.1ab | 5.4a | 5.1a | 4.6ab | 4.3b |
| Biomasa final, g | 41.9 | 46.8 | 46.2 | 41.5 | 37.6 |
| Ganancia de peso1, % | 1,837.7ab | 2,065.7a | 1,854.2ab | 1,776.2ab | 1,593.5b |
| Conversión alimenticia2 | 1.81b | 1.67b | 1.74b | 1.94ab | 2.14a |
| Supervivencia, % | 82.5 | 87.5 | 90 | 90 | 87.5 |

1Ganancia de peso = (peso final – peso inicial)/peso inicial × 100%

2Conversión alimenticia = alimento ofrecido/ (peso final – peso inicial).

a,bLas medias dentro del mismo renglón con diferentes superíndices son diferentes (P < 0.05).

|  |
| --- |
| **Cuadro 11.** Composición corporal total de camarón juvenil (*L. vannamei*; peso inicial de 0.25 g) alimentado con dietas que contenían 0, 6, 12, 18 y 24% de proteína fermentada de maíz (NexPro) durante un período de alimentación de 6 semanas en la prueba 3 (adaptado de Qui et al., 2017) |
| **Medición** | **Tasa de inclusión en la dieta de proteína fermentada de maíz, %** |
| **0%** | **6%** | **12%** | **18%** | **24%** |
| Humedad, % | 77.98 | 77.45 | 77.40 | 76.64 | 75.90 |
| Proteína, % | 75.18 | 73 | 72.60 | 73.90 | 73.90 |
| Lípidos, % | 5.62 | 5.88 | 6.81 | 6.29 | 6.92 |
| Cenizas, % | 11.43 | 11.70 | 11.58 | 11.70 | 11.55 |
| Calcio, % | 2.97 | 3.33 | 3.09 | 3.41 | 3.40 |
| Fósforo, % | 1.08 | 1.06 | 1.01 | 1.03 | 1.02 |
| Sodio, (%) | 1.06 | 1.15 | 1.10 | 1.10 | 1.09 |
| Potasio, % | 1.38 | 1.45 | 1.41 | 1.39 | 1.38 |
| Azufre, % | 0.87 | 0.90 | 0.88 | 0.88 | 0.88 |
| Magnesio, % | 0.26 | 0.29 | 0.27 | 0.29 | 0.28 |
| Hierro, mg/kg | 13.53b | 16.40ab | 16.05ab | 15.70ab | 18.68a |
| Cobre, mg/kg | 66.53c | 69.68bc | 73.93abc | 84.85a | 80.58ab |
| Zinc, mg/kg | 73.28 | 76.13 | 74.18 | 75.13 | 75.48 |
| Manganeso, mg/kg | 2.23 | 3.55 | 2.75 | 3.20 | 3.90 |

a,b,c Las medias dentro del mismo renglón con diferentes superíndices son diferentes (P < 0.05).

Guo et al. (2019) también realizaron un estudio para evaluar la adición de niveles crecientes de proteínas fermentadas de maíz (NexPro) para sustituir el concentrado de proteína de maíz o harina de pescado en dietas de juveniles de camarón blanco del Pacífico (peso inicial = 0.36 g) en una prueba de desempeño del crecimiento de 8 semanas. Como se muestra en el **cuadro 12**, no hubo diferencias en el peso promedio, ganancia de peso, alimento:ganancia y supervivencia en todos los tratamientos de la dieta. Sin embargo, la sustitución de la harina de pescado con 20% de proteínas fermentadas de maíz redujo la biomasa final y la conversión alimenticia en comparación con la alimentación de dietas con 0 o 10% de estas proteínas. Estos resultados indican que las proteínas fermentadas de maíz son una buena fuente de proteína para el camarón blanco del Pacífico y puede sustituir hasta un 20% de concentrado de proteína de maíz o hasta 15% de harina de pescado sin comprometer el desempeño del crecimiento.

|  |
| --- |
| **Cuadro 12.** Respuestas del desempeño de crecimiento y supervivencia de juveniles de camarón blanco del Pacífico alimentados con niveles crecientes de proteínas fermentadas de maíz (NexPro) para sustituir parcialmente al concentrado de proteína de maíz (CPC) o la harina de pescado (HP) durante un período de alimentación de 56 días (adaptado de Guo et al., 2019) |
| **Medición** | **Tipo de dieta** |
| **CPC** | **CPC** | **CPC** | **CPC** | **HP** | **HP** | **HP** | **HP** |
| **0% CFP** | **10% CFP** | **15% CFP** | **20% CFP** | **0% CFP** | **10% CFP** | **15% CFP** | **20% CFP** |
| Biomasa, g | 225 | 227 | 230 | 221 | 240b | 235b | 230ab | 216a |
| Peso promedio, g | 7.49 | 7.64 | 7.88 | 7.50 | 8.05 | 7.90 | 7.88 | 7.38 |
| Ganancia de peso, g | 7.13 | 7.28 | 7.52 | 7.14 | 7.68 | 7.54 | 7.52 | 7.02 |
| Ganancia de peso, % | 1,997 | 2,032 | 2,106 | 1,996 | 2,104 | 2,093 | 2,106 | 1,920 |
| Alimento:ganancia | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.4a | 1.4a | 1.5ab | 1.6b |
| Supervivencia, % | 100 | 99.2 | 97.5 | 98.3 | 99.2 | 99.2 | 97.5 | 97.5 |

a,bLas medias dentro del mismo renglón con diferentes superíndices son diferentes (P < 0.05).

# Salmón del Atlántico (*Salmo salar*)

Burton et al. (2021) realizaron una prueba de alimentación de 12 semanas para evaluar los efectos de sustituir parcialmente harina de soya con cantidades crecientes (0, 5, 10, 15 y 20%) de proteínas fermentadas de maíz en la dieta de salmón del Atlántico (peso corporal inicial = 304 g; 5 peces/tanque) sobre el desempeño del crecimiento, utilización de la proteína de la dieta y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). No se dieron detalles específicos con respecto a la composición y formulación de dietas más allá del porcentaje de harina de soya sustituida en las dietas, que fue de 0, 12.9, 25.8, 37.9 y 50.8% para las tasas de inclusión de proteínas fermentadas de maíz (NexPro) de 0, 5, 10, 15 y 20%, respectivamente. Los peces alimentados con la dieta con 10% de proteínas fermentadas de maíz tuvieron un mayor peso corporal final y un mayor consumo de alimento que los alimentados con la dieta de 20% (**cuadro 13**). No obstante, no hubo diferencias en la conversión alimenticia y deposición de proteína entre las tasas de inclusión de proteínas fermentadas de maíz en la dieta.

|  |
| --- |
| **Cuadro 13.** Efectos de alimentar dietas con 0, 5, 10, 15 y 20% de proteína fermentada de maíz (NexPro) como sustituto parcial de la harina de soya en salmón del Atlántico (peso inicial = 304 g) en el desempeño del crecimiento durante un período de alimentación de 12 semanas (adaptado de Burton et al., 2021) |
| **Medición** | **Tasa de inclusión en la dieta de proteína fermentada de maíz, %** |
| **0%** | **5%** | **10%** | **15%** | **20%** |
| Peso corporal inicial, g | 295 | 301.9 | 305.7 | 304.7 | 305 |
| Peso corporal final, g | 720ab | 701.1ab | 752.1a | 690.8ab | 663.7b |
| Ganancia de peso, g | 425 | 399.2 | 446.4 | 386.1 | 358.7 |
| Consumo de alimento/pez, g | 411.9a | 370.5ab | 414.4a | 377.8ab | 348.3b |
| Conversión alimenticia | 0.98 | 0.93 | 0.93 | 0.97 | 0.97 |
| Deposición de proteína, % | 19.8 | 23.1 | 23 | 22.1 | 26 |

a,b Las medias en el mismo renglón con diferentes superíndices son diferentes (P < 0.05).

La alimentación con niveles crecientes de proteínas fermentadas de maíz en la dieta no tuvo efectos en el contenido corporal total de materia seca, proteína, aminoácidos (no se muestran los datos), lípidos y cenizas, ni hubo un efecto en la proteína y tasa de deposición, ni en la eficiencia de retención (**cuadro 13**). Los niveles de proteínas fermentadas de maíz en la dieta no tuvieron efecto en el color oscuro, amarillamiento o enrojecimiento de los filetes anteriores, y enrojecimiento y amarillamiento en los posteriores, con diferencias significativas, pero menores, en el color oscuro (**cuadro 14**). No hubo diferencias en la mayoría de las mediciones de bioquímica sanguínea, excepto incrementos de P y Mg en plasma, lo cual refleja una alta digestibilidad de las proteínas fermentadas de maíz. El conteo total de células y volumen de concentrado celular también se incrementaron a la par que la tasa de inclusión de proteínas fermentadas de maíz (no se muestran los datos). La creatina cinasa es un indicador de la inflamación del tejido; las concentraciones fueron similares en todos los tratamientos de la dieta. La evaluación histológica no mostró evidencias de enteritis intestinal ni otros trastornos intestinales; la mayoría de las muestras intestinales distales no mostraron inflamación de la lamina propria ni la capa submucosa (no se muestran los datos). Estos resultados indican que las proteínas fermentadas de maíz son una buena fuente de proteína y energía en las dietas de salmón del Atlántico (*Salmo salar*) posterior al esguinado y proporciona una composición corporal total, utilización de proteína y lípidos, pigmentación de filetes e histología intestinal similares. No obstante, es posible que disminuya el desempeño del crecimiento si se añade más del 15% de proteínas fermentadas de maíz en las dietas del salmón.

|  |
| --- |
| **Cuadro 14.** Efectos de alimentar dietas con 0, 5, 10, 15 y 20% de proteína fermentada de maíz (NexPro) como sustituto parcial de la harina de soya en salmón del Atlántico (*Salmo salar*; peso inicial = 304 g) sobre la composición corporal total, deposición de nutrientes y tasas de retención después de un período de alimentación de 12 semanas (adaptado de datos inéditos de The Center for Aquaculture Technologies, 2019, proporcionados con autorización de POET) |
| **Medición** | **Tasa de inclusión en la dieta de proteína fermentada de maíz, %** |
| **0%** | **5%** | **10%** | **15%** | **20%** |
| Materia seca, % | 37.1 | 37.2 | 38 | 37.8 | 37 |
| Proteína, % | 18.8 | 18.4 | 18.5 | 18.7 | 19 |
| Tasa de deposición de proteína, mg/ºC-d | 45.4 | 41.4 | 47.6 | 41.1 | 41.1 |
| Eficiencia de la retención de proteína, % | 19.8 | 23.1 | 23 | 22.1 | 26 |
| Lípidos, %  | 17.1 | 17.5 | 18.4 | 18 | 16.8 |
| Tasa de deposición de lípidos, mg/ºC-d | 50.7 | 50.7 | 62.6 | 51.9 | 43.3 |
| Eficiencia de la retención de lípidos, % | 59 | 50.4 | 58.7 | 54.5 | 50.5 |
| Cenizas | 1.7 | 1.7 | 1.8 | 1.8 | 1.8 |
| Índices colorimétricos |  |  |  |  |  |
| Filete anterior |  |  |  |  |  |
| L\* | 60 | 56.5 | 56.9 | 56.3 | 56 |
| a\* | 7.9 | 8 | 7.7 | 7.9 | 7.9 |
| b\* | 17.2 | 17.5 | 17.2 | 17.2 | 17 |
| Filete posterior |  |  |  |  |  |
| L\* | 54.9ab | 54.7b | 55.5ab | 55.7a | 54.6b |
| a\* | 9.1 | 9.6 | 9.1 | 9.2 | 9.5 |
| b\* | 18.8 | 19.1 | 18.8 | 18.6 | 18.5 |

a,bLas medias dentro del mismo renglón con diferentes superíndices son diferentes (P < 0.05).

La Estación Experimental de Piscicultura Hagerman del Instituto de Investigaciones Acuícolas de la Universidad de Idaho llevó a cabo otro estudio para determinar el valor nutritivo de las proteínas fermentadas de maíz (ProCap Gold) en el desempeño del crecimiento de juveniles de salmón del Atlántico. Las dietas se formularon para contener 43% de PC y 20% de lípidos crudos. La concentración de harina de soya en la dieta control fue del 22%, la cual se sustituyó progresivamente por cantidades crecientes de proteínas fermentadas de maíz, dando como resultado cinco tratamientos que consistieron de dieta 1 (22% de harina de soya y 0% proteínas fermentadas de maíz); dieta 2 (16.5% de harina de soya y 5.5% de proteínas fermentadas de maíz); dieta 3 (11% de harina de soya y 10.9% de proteínas fermentadas de maíz); dieta 4 (5.5% harina de soya y 16.4% de proteínas fermentadas de maíz) y dieta 5 (0% de harina de soya y 21.9% de proteínas fermentadas de maíz). Se alimentó al salmón del Atlántico con un peso corporal inicial de 21 g por un período de 12 semanas con sus respectivos tratamientos de la dieta hasta la saciedad. Al concluir el estudio, la supervivencia fue del 100% en todos los grupos de tratamiento, además de que con las tasas crecientes de inclusión de la dieta de proteínas fermentadas de maíz no se observaron diferencias estadísticamente significativas en las mediciones de desempeño del crecimiento (**cuadro 15**).

|  |
| --- |
| **Cuadro 15.** Efectos de alimentar con niveles crecientes de proteína fermentada de maíz (ProCap Gold) en la dieta de salmón del Atlántico (*Salmo salar*) en el desempeño del crecimiento (adaptado de investigaciones inéditas de la Universidad de Idaho, 2022) |
| **Medición** | **Tasa de inclusión en la dieta de proteína fermentada de maíz, %** |
| **0%** | **5.5%** | **10.9%** | **16.4%** | **21.9%** |
| Peso corporal inicial, g/pez | 21.4 | 21.5 | 21.5 | 21.6 | 21.4 |
| Peso corporal final, g/pez | 169.4 | 165.3 | 161.6 | 168.6 | 165.2 |
| Ganancia de peso, % | 691.1 | 668.9 | 653.6 | 682.3 | 673 |
| Tasa de crecimiento específico, %/día | 2.47 | 2.42 | 2.40 | 2.45 | 2.43 |
| Consumo de alimento, g/pez | 147.1 | 143.3 | 142.6 | 150.8 | 146.3 |
| Conversión alimenticia | 1 | 0.99 | 1.02 | 1.03 | 1.02 |
| Supervivencia, % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Los niveles crecientes de proteínas fermentadas de maíz en las dietas del salmón resultaron en mejoras significativas en la digestibilidad de lípidos, pero no así en la de materia seca, PC o energía (**cuadro 16**). Estos resultados están respaldados por la alta digestibilidad de lípidos (97.2%) de las proteínas fermentadas de maíz (ProCap Gold) alimentadas al salmón del Atlántico. La digestibilidad de materia seca, PC y energía de las proteínas fermentadas de maíz fue de 67.5%, 88.7% y 76.8%, respectivamente. Estos resultados muestran que las proteínas fermentadas de maíz son un ingrediente altamente digestible para alimentar juveniles de salmón del Atlántico a niveles de hasta el 22% de la dieta sin impacto en el desempeño de crecimiento y supervivencia.

|  |
| --- |
| **Cuadro 16.** Diferencias en los coeficientes de digestibilidad aparente (%) de materia seca, proteína, lípidos y energía de las dietas experimentales con niveles crecientes de proteína fermentada de maíz (ProCap Gold) administradas al salmón del Atlántico (*Salmo salar*) (adaptada de investigaciones inéditas de la Universidad de Idaho, 2022) |
| **Medición** | **Tasa de inclusión en la dieta de proteína fermentada de maíz, %** |
| **0%** | **5.5%** | **10.9%** | **16.4%** | **21.9%** |
| Materia seca | 69.9 | 68.3 | 69.1 | 69.7 | 69.8 |
| Proteína | 88.3 | 87.5 | 87.3 | 87.6 | 87.4 |
| Lípidos | 95.7a | 95.9ab | 96.7bc | 97.5c | 97.3c |
| Energía | 78.6 | 78.2 | 78.1 | 78.4 | 78.5 |

 a,b,cLas medias (n = 3) dentro del mismo renglón con diferentes superíndices son estadísticamente diferentes (P<0.05).

# Conclusiones

La alimentación de dietas que contienen hasta 50% de proteínas fermentadas de maíz para sustituir parcialmente la harina de soya en las dietas de juveniles de lubina europea (*Dicentrarchus labrax*) mejora el desempeño del crecimiento y podría afectar de forma positiva el estado de salud de los peces. Las dietas que contienen hasta 37.5% de proteínas fermentadas de maíz proporcionan un óptimo desempeño del crecimiento y composición de filetes de tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Las proteínas fermentadas de maíz son una buena fuente de proteína vegetal que se puede añadir hasta en un 30% en las dietas de juveniles de camarón blanco del Pacífico (*Litopeneaus vannamei*) para sustituir la harina de soya, o hasta 18% para sustituir una combinación de harina de soya y harina de pescado, sin que se afecte negativamente el desempeño del crecimiento. No obstante, la digestibilidad de energía y aminoácidos de las fuentes de proteínas fermentadas de maíz pueden variar y algunas veces ser menor que en la harina de soya. Aunque las respuestas al crecimiento de dos estudios de desempeño indican distintas tasas máximas de inclusión en la dieta de proteínas fermentadas de maíz en salmón del Atlántico, los resultados de un estudio indican que es posible alimentar dietas con hasta un 22% de estas proteínas sin que se comprometan la tasa de crecimiento y el consumo de alimento.

# Bibliografía

Auburn University. Evaluation of corn fermented protein as a partial replacement for corn protein concentrate in diets for juvenile Nile tilapia (7.5 g initial body weight) on growth performance during a 9-week feeding period. (Unpublished data provided with permission from POET).

Burton, E., D. Scholey, A. Alkhtib, and P. Williams. 2021. Use of an ethanol bio-refinery product as a soy bean alternative in diets for fast-growing meat production species: A circular economy approach. Sustainability 13:11019. <https://doi.org/10.3390/su131911019>

Goda, A.A.S., T.M. Srour, E. Omar, A.T. Mansour, M.Z. Baromh, S.A. Mohamed, E. El-Haroun, and S.J. Davies. 2019. Appraisal of a high protein distillers dried grain (DDG) in diets for European sea bass, *Dicentrarchus labrax* fingerlings on growth performance, hematological status and related gut histology. Aquaculture Nutrition 25:808-816. <https://doi.org/10.1111/anu.12898>

Goda, A.M.A.-S., S.R. Ahmed, H.M. Nazmi, M.Z. Baromh, K. Fitzsimmons, W. Rossi, Jr., S. Davies, E. El-Haroun. 2020. Partial replacement of dietary soybean meal by high-protein distiller’s dried grains (HPDDG) supplemented with protease enzyme for European seabass, *Dicentrarchus labrax* fingerlings. Aquaculture Nutrition 26:842-852.

Guo, J., J. Reis, G. Salze, M. Rhodes, S. Tilton, and D.A Davis. 2019.Using high protein distiller’s dried grain product to replace corn protein concentrate and fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. J. World Aquac. Soc. 50:983-992. <https://doi.org/10.1111/jwas.12606>

The Center for Aquaculture Technologies. 2019. Effect of NexPro on weight gain, nutrient utilization, fillet color, blood plasma biochemistry and gut physiology of post-smolt Atlantic salmon. Unpublished report provided with permission from POET.

Qui, X., H. Tian, and D.A. Davis. 2017. Evaluation of a high protein distiller’s dried grains product as a protein source in practical diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture 480:1-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.07.038>

Suehs, B.A. and D.M Gatlin III. 2022. Evaluation of a commercial high-protein distillers dried grain with solubles (DDGS) product in the diet of juvenile Nile tilapia (Oreochromis niloticus). Aquaculture Nutrition, In press.