

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar**

Enzimas digestivas para el mejoramiento de la asimilación de nutrientes: Guía para el uso en camarones de cultivo.

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo a la obtención del Título de:

Ingeniero Acuicultor

**Presentado por:**

Franklin Antonio Ramírez Larreategui

Roberto Junior Almeida Suárez

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2020**

# DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a Dios por haberme permitido culminar esta etapa de mi vida, a mis padres biológicos (Roberto y Karina) y de crianza (Galo y Tomasa), por ser los pilares fundamentales y siempre estar pendiente de mí, a mis demás familiares por el apoyo brindado en toda esta etapa universitaria, a mis amigos por los gratos momentos compartidos, a mis sobrinos Sofía e Ian por quien quiero ser mejor cada día y a mis maestros por enseñarme todos los conocimientos necesarios e impulsarme a ser una mejor persona.

Junior Almeida

# DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con mucho cariño definitivamente a mis padres por mostrarse siempre dispuestos a atender y respaldar no solo mis esfuerzos sino el de tantos otros amigos que fueron atendidos en nuestra casa durante nuestras largas jornadas de estudio tratando de entender un tema. Por mostrarme el valor de las cosas y que el amor no solo es motor sino también combustible para lograr resultados extraordinarios. Por las veces que pasamos hambre, pero nunca faltó para mis libros, cuadernos y aunque sea lo del pasaje. A mi abuela que nunca permitió que yo deje su casa sin haber llenado mi estómago y siempre repetirme lo grandioso que soy aun cuando mi autoestima estuvo por el suelo. A mi novia Luna por salvarme de mí mismo y darme un nuevo aliento cada que quise acabar con todo. A todas las personas que me apoyaron con una moneda para poder ir a la universidad y seguir estudiando, que sepan que ayuda no fue en vano. A mis amigos, son la familia que escogí en el camino y que siempre supieron cómo hacer más llevadera la vida universitaria. A profesores que nos inspiraban no solo como profesionales sino también como personas, no puedo dejar de mencionar a Jerry Landívar, PhD y Sonnya Mendoza, PhD por su abnegación y entrega al bienestar de sus estudiantes. Pero, sobre todo, a Dios, por siempre mostrarme que, aunque nadie estuviera a mi alrededor, Él sí.

Franklin Ramírez

# AGRADECIMIENTO

Con muchísimo aprecio y orgullo mostramos nuestro agradecimiento a Bonny Bayot, Ph.D por su incansable, abnegada e incondicional guía durante la realización de este proyecto y su compromiso con el mismo. A los expertos que colaboraron en nuestras entrevistas que, a pesar de tener un muy limitado tiempo, mostraron su predisposición para atender nuestras dudas y abrir nuestra visión sobre el alcance y la importancia de este trabajo. A los profesionales dedicados a la producción tanto en granjas camaroneras como en laboratorios de larvas y análisis que se prestaron a colaborar en la validación de nuestro proyecto además de mostrarnos el panorama nacional respecto al uso de enzimas digestivas. A nuestros seres amados, a la familia de sangre y a la que escogimos en el largo camino que recorrimos, por corear nuestros triunfos y levantarnos en nuestras derrotas, por siempre estar ahí listos para sostenernos cuando la fe en nosotros mismos decae. Finalmente, a la academia, nuestra amada ESPOL, por forjarnos con excelencia y fortalecer nuestro carácter, además de abrirnos las puertas del mundo mediante la preparación académica de calidad por la que hoy es reconocida en la historia de nuestro país.

# DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponden conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución Roberto Junior Almeida Suárez y Franklin Antonio Ramírez Larreategui y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso de la producción intelectual”

*Junior Almeida*

Roberto Junior Almeida  
Suárez

*Franklin Ramírez*

Franklin Antonio Ramírez  
Larreategui

# EVALUADORES

VICTOR HUGO OSORIO  
CEVALLOS

Firmado digitalmente  
por VICTOR HUGO  
OSORIO CEVALLOS  
Fecha: 2021.02.12  
09:17:21 -05'00'

.....  
**Víctor Hugo Osorio Cevallos, Ph.D**

PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:  
**BONNY NARCISA  
BAYOT ARROYO**

.....  
**Bonny Narcisa Bayot Arroyo, Ph.D.**

PROFESOR TUTOR

# RESUMEN

Se recopiló información acerca del uso de enzimas digestivas suplementadas en el balanceado y los resultados que se obtuvieron durante la producción de camarones de cultivo. Los resultados de varios estudios alrededor del mundo convergen en que la suplementación de enzimas en el balanceado redundará en el mejoramiento de parámetros de cultivo tales como la tasa de crecimiento y FCA, y la disminución de aporte a la huella de carbono debido a que un mayor porcentaje de nutrientes son asimilados en el cuerpo del animal y no expulsados al medio con el riesgo de luego reaccionar a compuestos que puedan deteriorar el medio. Es esta razón por la que su impacto no es solo local sino global. Finalmente, se levantó información bibliográfica además de opiniones y datos brindados por expertos en el área de nutrición acuícola mediante entrevistas y se la condensó en una guía que permita al productor o formulador conocer cuáles son los parámetros más importantes para tenerse en consideración al momento de incorporar las enzimas a las formulaciones.

**Palabras claves:** enzimas digestivas, harina de pescado, balanceado, camarones de cultivo, optimización.

# ABSTRACT

*Information was collected about the use of supplemented digestive enzymes in the balance and the results that were obtained during the production of farmed shrimp. The results of several studies around the world converge in that the supplementation of enzymes in the balance results in the improvement of cultivation parameters such as the growth rate and FCA, and the decrease of contribution to the carbon footprint due to the fact that a greater percentage of nutrients are assimilated in the body of the animal and not expelled to the environment with the risk of later reacting to compounds that can deteriorate the environment. It is for this reason that its impact is not only local but global. Finally, bibliographic information was collected as well as opinions and data provided by experts in the area of aquaculture nutrition through interviews and it was condensed into a guide that allows the producer or formulator to know which are the most important parameters to be taken into consideration when incorporating enzymes to formulations.*

**Keywords:** *digestive enzymes, fish meal, balanced, cultured shrimp, optimization.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
CAPÍTULO 1.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 Descripción del problema .....	10
1.2 Justificación del problema.....	10
1.3 Objetivos.....	11
1.3.1 Objetivo General .....	11
1.3.2 Objetivos Específicos.....	11
1.4 Marco teórico.....	12
1.4.1 Requerimiento de proteínas en camarones de cultivo.....	12
1.4.2 Enzimas relacionadas con la mejora de la digestión de alimentos en camarones de cultivo.....	12
1.4.3 Uso de enzimas en camarones .....	14
1.4.4 Uso de probióticos en la digestión de camarones .....	15

1.4.5 Actividad de las enzimas en los estadios de camarón .....	15
CAPITULO 2.....	17
2. METODOLOGÍA.....	17
2.1 Revisión bibliográfica sobre enzimas digestivas en cultivo de camarón.....	17
2.1.1 Impacto del uso de enzimas digestivas en el cultivo de camarón.....	25
2.1.2 Características básicas de las enzimas .....	25
2.2 Entrevistas a expertos en nutrición acuícola .....	27
2.3 Información de enzimas digestivas comercializadas en Ecuador.....	27
2.4 Encuesta a productores locales de camarón.....	27
CAPÍTULO 3.....	29
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	29
3.1 Entrevistas a expertos en nutrición acuícola .....	29
3.1.1 Protocolo de incorporación y uso de enzimas digestivas en el alimento balanceado.....	31
3.2 Información de enzimas digestivas comercializadas en Ecuador.....	34
3.2.1 Características de los principales productos enzimáticos comercializados en Ecuador para el cultivo de camarón. ....	34
3.3 Encuestas a productores locales de camarón .....	41
CAPÍTULO 4.....	44
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	44
4.1 Conclusiones.....	44
4.2 Recomendaciones.....	47

ANEXOS.....	49
BIBLIOGRAFÍA.....	56

# ABREVIATURAS

INP: Instituto Nacional de Pesca

FCA: Factor de Conversión Alimenticia

# SIMBOLOGÍA

g: gramo/os

Kg: kilogramos

L: Litro

Ton: tonelada

Ha: hectárea

ppm: partes por millón

cam: camarones

# ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Precio de la tonelada de harina de pescado por año (BCRPData, 2019)..... 44

**Figura 2.** Importancia del uso de enzimas a varias escalas (productor de camarón, industria camaronera y población mundial)..... 45

**Figura 3.** Ventajas económicas de aplicar enzimas digestivas en cultivo de camarón. 47

# ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Revisión bibliográfica de los resultados obtenidos con la administración de enzimas digestivas en cultivos experimentales de camarón. ....	18
<b>Tabla 3.1</b> Lista de preguntas realizadas a los expertos en nutrición y elaboración de alimento para organismos acuáticos. ....	30
<b>Tabla 3.2</b> Métodos de incorporación sugeridos por los cuatro expertos entrevistados en este trabajo para incorporar las enzimas digestivas en el alimento balanceado. ....	32
<b>Tabla 3.3</b> Descripción de los productos enzimáticos con registro sanitario expedidos por el Instituto Nacional de Pesca (INP), actualizados hasta el 2020 y comercializados en Ecuador en el cultivo de camarón. Las características de los productos fueron .....	35
<b>Tabla 3.4</b> Productos enzimáticos que fueron fabricados para ser usados en otros animales, pero que se usan en el cultivo de camarón. ....	40
<b>Tabla 3.5</b> Resultado de la encuesta a productores locales .....	42

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos 25 años el crecimiento de la acuicultura se ha incrementado a un ritmo anual del 9%, mientras que la producción de harina de pescado se ha mantenido estable, en niveles constantes de entre 5 y 7 millones de toneladas al año (Villarreal Colmenares *et al.* 2008). La harina de pescado es la principal fuente de proteína del alimento balanceado para organismos acuícolas, por contener una gran cantidad de nutrientes (aminoácidos, proteínas, ácidos grasos, vitaminas, colesterol y minerales). Sin embargo, el costo de la harina de pescado es muy inestable debido a la alta demanda, reducción o estancamiento de la captura de peces silvestres por las interposiciones ambientales (Qiu, 2015). Considerando que, el alimento balanceado puede llegar a representar hasta un 60% de los costos totales de producción del cultivo de camarón (Cruz Suárez, 2015). La industria acuícola se ve avocada a buscar otras fuentes de proteínas que permitan el desarrollo de una acuicultura ambiental, social y económicamente sustentable. En tal sentido, se están probando alternativas a las harinas de pescado que sean de origen vegetal, debido a los bajos precios de producción y mejor disponibilidad que la harina de pescado (Qiu, 2015). Otra forma de disminuir el uso de la harina de pescado en la acuicultura es mediante la utilización de enzimas digestivas, ya que la habilidad que presentan los organismos acuáticos para digerir el alimento depende tanto de la presencia como de la cantidad de enzimas digestivas en su intestino (Palomino, 2019). Las enzimas son biocatalizadores específicos y eficientes que ayudan a impulsar las reacciones biológicas, incrementando la velocidad de reacción por la depreciación de la energía de activación (Brorrell, 2018). Debido a esto se crea la necesidad de utilizar enzimas digestivas en los camarones que ayuden a incrementar la digestibilidad de los alimentos dentro de sus organismos.

## **1.1 Descripción del problema**

Uno de los desafíos a los que se enfrenta la acuicultura a nivel global es disminuir la demanda de harina de pescado para la formulación de alimento balanceado, ya que resulta paradójico que el crecimiento de la actividad acuícola contribuya también a un crecimiento de la pesca para poder cubrir la necesidad proteica para la formulación de estos alimentos. Uno de los caminos que se plantean para hacerle frente a esta problemática, es optimizar la asimilación de la proteína en los animales, de manera que, se pueda utilizar menor cantidad de esta macromolécula y obtener similares crecimientos a si se suministrara balanceado con alto contenido proteico. De esta manera se podría incluso contribuir a la rentabilidad de esta actividad.

## **1.2 Justificación del problema**

Disminuir el uso de harina de pescado, es una senda hacia una acuicultura más responsable con el medio ambiente.

Una estrategia para disminuir el uso de harina de pescado puede ser la incorporación de enzimas digestivas al alimento balanceado. Esta estrategia está dirigida a incrementar de manera significativa la asimilación de nutrientes para optimizar la incorporación de estos a la estructura del animal. Esto a su vez, significaría una disminución del uso de proteína en la formulación del alimento debido al mayor rendimiento que estas tendrían en el organismo del animal.

En consecuencia, un balanceado con el diferenciador de poseer en su composición una adecuada incorporación de enzimas digestivas, podría incrementar la tasa de crecimiento del animal y un mayor peso promedio al final de la cosecha, reduciría la huella de carbono ya que los nutrientes se asimilarían de mejor manera en el animal y no serían liberados al medio ambiente lo que redundaría en mayores ganancias económicas y un menor impacto ambiental.

El presente trabajo tuvo como objetivo recopilar información científica sobre el rol de las enzimas digestivas en la asimilación de nutrientes en camarones de cultivo para la identificación de protocolos de suplementación. Con esta información se diseñó una guía para el uso efectivo de las enzimas digestivas en engorde de camarón.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

- Diseñar una guía sobre el uso de enzimas digestivas para el mejoramiento de la asimilación de nutrientes en camarones de cultivos.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Recopilar información acerca del rol de las enzimas digestivas en la asimilación de nutrientes en camarones de cultivo.
- Identificar protocolos efectivos de suplementación de enzimas digestivas en alimento para camarones de cultivo.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Requerimiento de proteínas en camarones de cultivo**

La industria acuícola es el sector de mayor demanda harina de pescado, que se usa para la elaboración de alimentos balanceados para las especies de cultivo (Anastacio, 2020). Debido a que la industria acuícola se encuentra creciendo a un ritmo acelerado, este ingrediente se vuelve cada vez más caro y escaso (BCRPData, 2019). En los camarones el requerimiento de nivel de proteína varía entre 25 y 33 % (rf Ingredients, 2019). Debido a la reducción del uso de aceite y harina de pescado ocasionada por el incremento en la demanda, se está incorporando productos de origen vegetal en las dietas de las especies acuícolas. En las formulaciones para producir alimento balanceado para camarones se incorpora entre: 25 - 40 % de soja, 10 - 30% de afrecho de arroz, 10 - 15% de maíz o simplemente 10% de gluten, y 10 - 15% de harina de carne o hueso. Con la suma de los diferentes ingredientes se logra alcanzar entre un 35 - 40% de proteína total en la formulación del balanceado elaborado para cultivo de camarones (Borrell Valls, 2014).

### **1.4.2 Enzimas relacionadas con la mejora de la digestión de alimentos en camarones de cultivo**

Se han realizado varios estudios para dilucidar las funciones digestivas catabólicas del camarón, pero en realidad se conoce poco sobre el papel de las enzimas digestivas en el intestino (Ayala Borboa, 2014). Las diferentes actividades enzimáticas, fisiológicas y digestivas de los camarones varían en función del ciclo circadiano, ciclo de muda, desarrollo larvario, crecimiento, tipo de alimento y factores ambientales (Borrell Valls, 2014). Las enzimas más recomendadas para usarse en camarones son: proteasas, carbohidratasas, celulasas, quitinasas (Borrell Valls, 2014) y lipasas (Barreto Altamirano, 2012)

#### **1.4.2.1 Proteasas**

Las proteasas son enzimas digestivas proteolíticas encargadas de hidrolizar las proteínas dietéticas, rompiéndolas en péptidos más pequeños y aminoácidos libres. La actividad de esta enzima en el tracto digestivo de los animales acuáticos es inducida por la alimentación y por lo general se ven afectadas por las diversas características genéticas de los individuos, el ambiente de cultivo y la etapa de vida (Chowdhury, 2017). Las proteasas se clasifican en dos grupos: endopeptidasas (cortan los enlaces

peptídicos dentro de la cadena proteolítica) y exopeptidasas (cortan los enlaces peptídicos carboxiterminales, aminoterminal y dipéptidos) (Gamboa Delgado, 2001).

#### **1.4.2.2 Carbohidrasas**

Las carbohidrasas son enzimas encargadas de digerir los carbohidratos presentes en las dietas ingeridas por los camarones. Entre las carbohidrasas se han detectado  $\beta$  y  $\alpha$ -amilasa,  $\beta$  y  $\alpha$  glucosidasas,  $\beta$  y  $\alpha$  galactosidasas,  $\alpha$  manosidasa,  $\beta$  fructofuranosidasa,  $\alpha$  xilosidasa,  $\alpha$  fucosidasa, quitobiasa, laminarasa, quitinasa, xilanasa, rafinasa,  $\beta$  glucosaminidasa y  $\beta$  glucoronidasa (Carrillo & González, 2000). Tanto los crustáceos como los peces tienen poca capacidad para digerir los carbohidratos, por esta razón se incorporan carbohidrasas en el alimento balanceado (Borrell Valls, 2014).

#### **1.4.2.3 Celulasas**

Estas enzimas han sido clasificadas como endoglucanasas que se encarga de degradar la celulosa (pared celular de los vegetales). Por tanto, las celulasas son de gran importancia en los procesos de la cadena alimentaria, y por esta razón son incorporadas en el alimento balanceado de los camarones (Segovia Salcedo, Narváez Trujillo, & Espinoza Fuentes, 2015). En un estudio realizado con camarones *Penaeus vannamei* colectados de camaroneras de la provincia de Santa Elena y Esmeraldas se evidenció la presencia de celulasas en los estadios larvarios y en camarones adultos. Los resultados de este trabajo mostraron que las celulasas presentaron mayor actividad entre un pH de 6,5 y 9,5 en el estadio larvario de Zoea 3, en tanto que, la mayor actividad de celulasa en el hepatopáncreas de camarones adultos se mostró en dos rangos de pH: ácido (4 y 6) y básico (10 y 11), y en intestino, a un pH entre 4 y 6 (Segovia Salcedo, Narváez Trujillo, & Espinoza Fuentes, 2015).

#### **1.4.2.4 Quitinasas**

Las quitinasas son enzimas que se encargan de la degradación de la quitina componente principal del exoesqueleto de los artrópodos (Borrell Valls, 2014). En los camarones esta enzima es importante para degradar su propio exoesqueleto al momento de la muda o el de sus congéneres cuando ingieren otros crustáceos, requiriendo de esta enzima para poder digerir la quitina consumida.

#### **1.4.2.5 Lipasas**

Este tipo de enzimas en camarones *P. vannamei* se encarga de la degradación de lípidos presentes en el alimento. Antes de que los lípidos sean absorbidos por el organismo pasan por dos transformaciones: emulsificación e hidrólisis. Las lipasas operan sobre los lípidos emulsionados y las estererasas continúan con la digestión enzimática de los productos hidrosolubles degradados (Barreto Altamirano, 2012).

#### **1.4.3 Uso de enzimas en camarones**

La incorporación de enzimas digestivas en el alimento para crustáceos tiene la finalidad de incrementar el crecimiento de los animales, especialmente en las etapas donde la actividad de las enzimas endógenas es una limitante para el aprovechamiento del alimento (García Galano & Carrillo Farnés, 2015). Así, la adición de tripsina y amilasa en el alimento balanceado de camarones *Penaeus japonicus* aumenta la frecuencia de muda (MAUGLE, DESHIMARU, KATAYAMA, & SIMPSON, 1982). La incorporación de 0,25% de enzimas a la dieta de *Penaeus monodon* incrementa el peso y mejora el factor de conversión alimenticia (Buchanan, Sarac, Poppi, & Cowan, 1997).

El éxito del cultivo de camarón depende principalmente de la nutrición y del manejo del alimento. Los protocolos de alimentación en las granjas camaroneras se basan principalmente en la utilización de tablas alimenticias que determina la ración a suministrar a partir de la biomasa y el peso promedio de los camarones. Estas tablas no consideran el estado fisiológico, ni los hábitos alimenticios de los organismos, ocasionando una gestión ineficiente de los gastos. Dado que, el alimento balanceado representa el mayor rubro en los gastos de producción, es importante implementar estrategias para disminuir los costos de producción. La actividad enzimática cumple un rol vital en los procesos de digestión del alimento que consumen los camarones. Sin embargo, la actividad de las enzimas que se encuentran en el hepatopáncreas pueden cambiar por factores como: edad, tamaño de los animales, ayuno, cantidad de alimento y frecuencia de alimentación, fuente y cantidad de proteína del alimento, estadio de muda, estimulantes alimenticios, y ritmo circadiano (Molina, Cadena, & Orellana, 2000). Por tanto, es importante el entendimiento de los procesos fisiológicos de los organismos, en especial, los que afectan la capacidad de consumo y digestión del alimento

En tal sentido, la alimentación de los camarones se realiza dependiendo de las diferentes fases en las que se encuentra, para adaptarse a las habilidades digestivas procedentes de la evolución del aparato digestivo (Borrell, 2014).

#### **1.4.4 Uso de probióticos en la digestión de camarones**

Otra alternativa para mejorar la digestión de los camarones es a través del uso de probióticos. El principio radica en que una vez que el probiótico coloniza el tracto intestinal, necesitara producir enzimas extracelulares, como carbohidratasa, amilasas, lipasas y proteasas, para poder asimilar para sí mismo los carbohidratos y otros nutrientes que le permitan crecer. De tal forma que, estas enzimas se incorporarán al trabajo digestivo del camarón (Ochoa-Solano & Olmos-Sotos 2006, Wang et al. 2007) y ayudarán a pre-digerir los nutrientes de origen vegetal que se encuentran en la formulación. De esta manera se mejoran los parámetros de producción como crecimiento y conversión alimenticia (Do Nascimento Vieira, 2017). En tal sentido, la incorporación de cepas probióticas *Bacillus* sp. en camarones *P. vannamei* estimula la actividad enzimática mejorando su crecimiento (Wang et al. 2027). En el mismo sentido, bacterias probióticas mixtas aisladas de organismos de *P. monodon* fomenta la producción de enzimas digestivas en sus intestinos, lo cual es directamente proporcional a la dosis suministrada al alimento (Wang et al. 2020). En tanto que, ocurre una mayor actividad de amilasa cuando se incorpora cepas de *Bacillus* sp. al balanceado suministrado a *P. vannamei* (Yu et al. 2009). Estos resultados son consistentes con otro estudio que mostró que la adición de probióticos al agua incrementaba la actividad de algunas enzimas, de igual manera que la supervivencia de larvas *P. vannamei* (Zhou et al. 2009). Por consiguiente, la colonización de bacterias probióticas para modificar la microbiota intestinal, podría ser una fuente importante de aprovechamiento del alimento en camarones de cultivo

#### **1.4.5 Actividad de las enzimas en los estadios de camarón**

##### **1.4.5.1 Producción de larvas y postlarvas**

La fase larvaria de los camarones comienza cuando eclosionan los nauplios y pasan por varios estadios que toma aproximadamente 22 días. El primer estadio larvario son los nauplios, que se alimentan solo del saco vitelino. El segundo estadio son las zoeas, en este estadio los nauplios abren la boca y se les alimenta con microalgas. El tercer estadio es el de mysis, que aproximadamente dura 4 días y se alimentan con algas y Artemias.

Finalmente, el último estadio es de postlarva que dura entre 8 y 11 días y se alimentan con artemias y alimento comercial. En esta etapa larvaria no es aconsejable usar enzimas debido a que poseen una actividad enzimática suficiente para digerir sus alimentos (Borrell, 2014).

#### **1.4.5.2 Proceso de engorde y muda**

Este proceso por lo general se realiza en estanques de tierra e inicia cuando se siembran las postlarvas y dura aproximadamente entre 100 y 110 días cuando el camarón alcanza un peso promedio de 12 a 14 g. El proceso de alimentación corresponde a la utilización de alimento balanceado y durante todo este proceso los camarones ejecutan varias mudas las cuales se dividen en cuatro etapas: premuda, ecdisis, intermuda y postmuda. En las etapas de premuda y postmuda el camarón no ingiere alimento por lo cual no es necesario el uso de enzimas. En las etapas de intermuda y postmuda las actividades de la lipasa y amilasa permanecen constante para luego descender en los estadios tardíos de premuda con un aumento de la actividad en el proceso de la muda. Como las proteasas y amilasas no se incrementan en el estadio de muda causado por la imposibilidad anatómica y fisiológica del organismo para ingerir alimento, es recomendable usar proteasas y amilasas durante los estadios de muda (Borrell, 2014).

#### **1.4.5.3 Proceso de reproducción**

Los camarones alcanzan la etapa reproductiva cuando llegan a un peso de 45 a 59 gramos, en general se alcanza después de 11 meses de engorde. En este proceso su alimentación básicamente consiste en alimento balanceado y se recomienda usar proteasas y amilasas. En la etapa de reproducción de nauplios, las hembras producen entre 150,000 a 300,000 huevos. En esta etapa también se recomienda usar proteasas y amilasas en el alimento balanceado (Borrell, 2014).

# CAPITULO 2

## 2. METODOLOGÍA

La elaboración de la guía sobre el uso de enzimas digestivas para mejorar la asimilación de nutrientes en camarones de cultivo se realizó mediante cuatro etapas, la primera consistió en buscar información bibliográfica sobre el uso de enzimas digestivas en cultivo de camarón. En la segunda etapa se realizó entrevistas a expertos (nutricionistas acuícolas y técnicos que trabajan en la fabricación de alimento balanceado) para obtener información más amplia sobre cuáles son las enzimas más utilizadas en la industria camaronera en Ecuador y como se las incorpora en el alimento balanceado. La tercera etapa consistió en buscar información de productos con enzimas digestivas comercializados en Ecuador, expedidos por el Instituto Nacional de Pesca (INP). Finalmente, en la cuarta etapa, se realizaron encuestas a productores locales para conocer sus conocimientos sobre el uso de enzimas digestivas en el cultivo de camarón.

### 2.1 Revisión bibliográfica sobre enzimas digestivas en cultivo de camarón

Las enzimas son proteínas naturales segregadas por todos los animales durante el proceso de alimentación y digestión (Wilson, 2020). El intestino delgado, el estómago y el hepatopáncreas secretan una gran cantidad de enzimas que digieren carbohidratos, lípidos, proteínas y complejos minerales (Wilson, 2020). Las enzimas digestivas han sido utilizadas de diferentes maneras, desde aplicaciones en el agua y suelo hasta ser incorporadas en el alimento balanceado. El proceso mediante el cual se obtienen estas enzimas también es variado, dependiendo del proveedor, desde enzimas obtenidas del intestino de camarones (Wang, *et al.* 2020) hasta obtenidas desde el ganado vacuno (García Carreño, Córdova Mureta, & Navarrete del Toro, 2016). A continuación, se muestra una tabla en la cual se resume los resultados de varios bioensayos llevados a cabo en diferentes partes del mundo en los cuales usaron diferentes dietas y proporciones de diferentes enzimas (Tabla 2.1).

**Tabla 2.1** Revisión bibliográfica de los resultados obtenidos con la administración de enzimas digestivas en cultivos experimentales de camarón.

Tipo de enzima	Especie de camarón	Peso (g) o estadio del camarón al inicio del cultivo experimental	Etapas de producción	Dieta control	Dieta suplementada con enzimas	Tiempo de aplicación (días)	Resultados	País	Referencia
Fitasa	<i>P. vannamei</i>	0.30 ± 0.02	Larvicultura	20% harina de anchoveta, 33% harina de soya, 1% soluble de pescado, 3.8% aceite de pescado, 35.9% harina de trigo, 1.3% lecitina de soya, 0.5% minerales traza, 2.0% premezcla de vitaminas, 0.1% vitamina C, 0.3% NaCl, 0% fitasa, 2.1% tierra de diatomeas, 0.98% fósforo total.	Dieta control + 0.25% de fitasa sobre 100g de alimento y 1.85 % de tierra de diatomea.	56	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El grupo experimental presentó una mayor supervivencia (68.75%) en comparación con el grupo control (56.25%).</li> <li>• La eficiencia de conversión alimenticia del grupo experimental fue mayor (41.5%) en comparación con la dieta del grupo control (35.9%).</li> </ul>	USA, Texas	(Allen Davis, Lyle Johnston, & Connie R, 2000)

Tipo de enzima	Especie de camarón	Peso (g) o estadio del camarón al inicio del cultivo experimental	Etapa de producción	Dieta control	Dieta suplementada con enzimas	Tiempo de aplicación (días)	Resultados	País	Referencia
Proteasa	<i>P. vannamei</i>	0.10 ± 0.0	Larvicultura	33% Harina de pescado, 16% soya.	Dieta control + 175 ppm de proteasa.	30	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejoró el crecimiento en un 3% en el grupo experimental, en comparación con el grupo control.</li> <li>• Disminuyó el FCA en 2% en el grupo experimental.</li> </ul>	China	(Lucien Brun, Servin, & Chowdhury, 2017)
				26% Harina de pescado, 25% soya.	Dieta control + 175 ppm de proteasa.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejoró el crecimiento en un 12% en el grupo experimental, en comparación con el grupo control.</li> <li>• Disminuyó el FCA en 10% en el grupo experimental.</li> </ul>		

Tipo de enzima	Especie de camarón	Peso (g) o estadio del camarón al inicio del cultivo experimental	Etapa de producción	Dieta control	Dieta suplementada con enzimas	Tiempo de aplicación (días)	Resultados	País	Referencia
Proteasa	<i>P. vannamei</i>	PL 14	Larvicultura	35.5% de proteína cruda + 32.7% de proteína digerible + 27.7% de proteína marina + 67.7% de proteína vegetal + 0,00 ppm de proteasa.	29.4% de proteína cruda + 26.9% de proteína digerible + 20.8% de proteína marina + 74.6% de proteína vegetal + 175 ppm de proteasa.	90	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El grupo experimental presentó un mayor crecimiento (9.52 g) que el grupo control (6.75 g).</li> <li>• Disminuyó el FCA en 14% en el grupo experimental.</li> </ul>	Ecuador	(Lucien Brun, Servin, & Chowdhury, 2017)
Fitasas	<i>P. vannamei</i>	0.22 ± 0.01	Larvicultura	12% de harina de pescado + 42% de harina de soya + 3,75% de proteína de maíz + 0,00% de fitasa + otros	12% de harina de pescado + 42% de harina de soya + 3,75% de proteína de maíz + 0,05% de fitasa + otros	35	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El tratamiento experimental mejoró de manera significativa la disponibilidad de las proteínas y el fosforo (<math>p &lt; 0,05</math>) en comparación con la dieta control.</li> </ul>	USA	(Qiu, 2015)

Tipo de enzima	Especie de camarón	Peso (g) o estadio del camarón al inicio del cultivo experimental	Etapas de producción	Dieta control	Dieta suplementada con enzimas	Tiempo de aplicación (días)	Resultados	País	Referencia
Proteasa	<i>P. vannamei</i>	PL 12	Larvicultura	Alimento comercial 35% de proteína.	Alimento comercial 28% de proteína + 175 ppm de proteasa.	140	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El tratamiento experimental presentó un crecimiento mayor (11 g), en comparación con el grupo control (9 g).</li> <li>• Disminuyó el FCA en 2.5% en el grupo experimental, comparado con el grupo control.</li> <li>• El margen de ganancia en grupo experimental aumentó un 74% en comparación con el grupo control.</li> </ul>	Ecuador	(Lucien Brun, Servin, & Chowdhury, 2017)

Tipo de enzima	Especie de camarón	Peso (g) o estadio del camarón al inicio del cultivo experimental	Etapa de producción	Dieta control	Dieta suplementada con enzimas	Tiempo de aplicación (días)	Resultados	País	Referencia
Carbohidrasas	<i>P. vannamei</i>	0.22 ± 0.01	Larvicultura	50% de harina de soya + 6% de harina de pescado + 5% de harina de maíz + otros	50% de harina de soya + 6% de harina de pescado, + 5% de harina de maíz, + 0,02% de carbohidrasa + otros.	35	<ul style="list-style-type: none"> <li>En el tratamiento experimental se mejoró de manera significativa (<math>p &lt; 0,05</math>) la digestibilidad de las proteínas, en comparación con la dieta control</li> </ul>	USA	(Qiu, 2015)
Amilasas Xilinasas Celulosas Proteasas (además de cepas probióticas)	<i>P. vannamei</i>	1.4	Engorde	La misma dieta para todos los tratamientos	Se aplicó en el medio 500 g/Ha mensual.	57	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento de 36% en crecimiento.</li> <li>Disminución del 9% del FCA.</li> <li>Mejora de las características físicas del suelo.</li> </ul>	China	(Mayer, 2020)

Tipo de enzima	Especie de camarón	Peso (g) o estadio del camarón al inicio del cultivo experimental	Etapa de producción	Dieta control	Dieta suplementada con enzimas	Tiempo de aplicación (días)	Resultados	País	Referencia
Proteasas	<i>P. vannamei</i>	15.4	Engorde	96.1% de alimento comercial, 2.5% de aceite de pescado, 1% de óxido crómico), 0.4% de tierra de diatomeas.	Idéntica a la dieta control, difiriendo únicamente en la tierra de diatomeas, siendo reemplazada por 0.4% de proteasa.	20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El grupo experimental presentó una mayor asimilación de proteína (74.3%), en comparación con el grupo control (65.3%).</li> <li>• La digestibilidad de la proteína en el grupo experimental aumentó en un 9%, en comparación con el grupo control.</li> </ul>	USA, Texas	(Allen Davis, Lyle Johnston, & Connie R, 2000)

Tipo de enzima	Especie de camarón	Peso (g) o estadio del camarón al inicio del cultivo experimental	Etapas de producción	Dieta control	Dieta suplementada con enzimas	Tiempo de aplicación (días)	Resultados	País	Referencia
Proteasa	<i>P. vannamei</i>	15.0 ± 1.0	Engorde	38.63% Proteína, 6.87% lípidos, 11.01% cenizas, 1.88% fibra, 37.2% extractos libres de nitrógeno, 4.39% humedad	Ensayo <i>in vitro</i> por lo que no fue aplicado al alimento o provisto al animal, se evaluó el comportamiento de la enzima tripsina, tanto de bovinos como de porcinos, junto con enzimas propias de crustáceos.	No indica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La tripsina porcina o bovina se pudo usar como suplementos alimenticios en camarón <i>P. vannamei</i> para mejorar la hidrólisis de proteína en los alimentos.</li> <li>• La combinación de estas dos enzimas junto a las enzimas endógenas del camarón, producen hasta el doble o triple de hidrólisis de proteínas en los animales.</li> </ul>	México	(García Carreño, Córdova Mureta, & Navarrete del Toro, 2016)

### **2.1.1 Impacto del uso de enzimas digestivas en el cultivo de camarón**

Se realizó una revisión bibliográfica sobre el impacto de las enzimas digestivas como suplementación de dietas para camarones, se incluyó los siguientes dos aspectos: a) características de las enzimas digestivas y b) malas prácticas asociadas al uso de enzimas digestivas.

### **2.1.2 Características básicas de las enzimas**

Según la literatura consultada, se halló que las enzimas digestivas poseen las siguientes características:

- Las proteasas aumentan la digestibilidad de las proteínas del alimento balanceado, mejoran el crecimiento, la salud intestinal del animal y aumentan las ganancias económicas al mejorar el rendimiento, reduciendo los costos de alimentación (Lucien Brun, Servin, & Chowdhury, 2017).
- Las enzimas aceleran el proceso de mineralización de la materia orgánica y ayudan a suprimir los compuestos indeseables como el amonio y nitritos en el medio de cultivo (Mayer, 2020).
- Alta especificidad en su modo de acción: proteasas hidrolizan las proteínas insolubles. Las amilasas hidrolizan a los polisacáridos. Las celulasas se encargan de hidrolizar la pared de las células vegetales. La  $\beta$ -glucosidasa acelera la biodegradación de varios SS-glucósidos que se encuentran en los residuos vegetales y las lipasas catalizan los lípidos (Mayer, 2020).
- La fitasa es capaz de liberar el fósforo unido al fitato, dejándolo disponible y asimilable para el animal, siendo este un elemento esencial para su crecimiento y desarrollo (Allen Davis, Lyle Johnston, & Connie R, 2000), y además ayuda a reducir su expulsión al medioambiente mediante las excretas (Ward, 2020).
- Las enzimas necesitan tres condiciones para funcionar: primero, necesitan el sustrato adecuado; segundo, el ambiente adecuado en términos de acidez o alcalinidad y; tercero, la temperatura, tomando en cuenta que, por su naturaleza proteica, las enzimas no son termoestables y podrían desnaturalizarse al exponerse a temperaturas altas, propias de un proceso de formulación en planta (Wilson, 2020).

- Mejoran el proceso de digestión y reducen la cantidad de elementos no digeridos en las excretas, mejorando el rendimiento del animal al asimilar de mejor manera los nutrientes (García Galano & Carrillo Farnés, 2015).

#### **2.1.2.1 Malas prácticas asociadas al uso de enzimas digestivas**

Las enzimas digestivas son específicas para cada uno de los nutrientes que se requiere mejorar en las dietas de organismos acuáticos, por lo cual, cada una necesita de un medio óptimo en el cual puedan actuar. Mediante la información colectada en las entrevistas a expertos y revisión de la literatura bibliográfica se encontró que algunos de los riesgos asociados al mal uso de las enzimas digestivas en el alimento balanceado son:

- No proveer el pH necesario y específico a cada enzima (ácido o básico) para la activación de esta dentro del intestino del camarón.
- Al incorporarlas en el alimento balanceado en fábricas, no asegurarse si son resistentes o no al calor debido a que, por su naturaleza proteica, en temperaturas altas se desnaturalizan.
- La dosis por usarse debe ser la adecuada para la especie, puesto que una cantidad subestimada, podría solo generar el incremento de rubros de alimentación ya que no tiene efecto alguno sobre los animales. Por otro lado, una concentración sobreestimada de enzimas tiene un efecto totalmente contrario al esperado según lo reportado por (Allen Davis, Lyle Johnston, & Connie R, 2000) en un ensayo con una proteasa de grado alimenticio.
- Se debe considerar los ingredientes que componen la fórmula del alimento balanceado, debido a que las enzimas necesitan de un sustrato específico para poder actuar. Esto lo evidencian (Allen Davis, Lyle Johnston, & Connie R, 2000), ya que es sus ensayos con distintas formulaciones obtuvieron resultados distintos, aun con el mismo porcentaje de inclusión de proteasas en sus dietas.
- Debe conocerse el pH del medio adecuado para el uso de cada enzima, ya que cada una actúa a niveles de pH distintos. Así, al tener una proteasa en un medio ácido, solo aportará a aumentar el rubro de la formulación de la dieta puesto que su inclusión sería inútil (Wilson, 2020). De igual manera es importante conocer las

características fisicoquímicas de las enzimas, a fin de que no sean estas deterioradas en el proceso de adhesión al balanceado.

- Otro riesgo de adicionar enzimas exógenas en mayor cantidad de la adecuada es que estas podrían degradar a las propias del animal, según los ensayos *in vitro* llevados a cabo por (García Carreño, Córdova Mureta, & Navarrete del Toro, 2016).

## **2.2 Entrevistas a expertos en nutrición acuícola**

Se realizaron entrevistas a expertos en el área de nutrición y formulación de alimentos para organismos acuáticos. El grupo de personas estuvo conformado por tres nutricionistas de organismos acuáticos del sector privado que trabajan en la formulación y elaboración de alimento balanceado para camarones y un técnico asesor comercial dedicado a la comercialización y venta de enzimas digestivas para organismos acuáticos. El levantamiento de la información se realizó a través de entrevistas en línea por medio de la plataforma virtual Zoom. El objetivo de estas entrevistas fue obtener información adicional que ayude a ampliar la visión del trabajo final. En el capítulo de resultados se detallan los principales comentarios que se obtuvieron en esta parte del estudio.

## **2.3 Información de enzimas digestivas comercializadas en Ecuador**

Se recaudó un listado de los productos enzimáticos expedidos por el Instituto Nacional de Pesca (INP) actualizado hasta el 2020 con registro sanitario comercializados para organismos acuáticos (camarones) y que se encuentran registrados bajo la razón social de una empresa. Consecutivamente, se levantó información acerca de las principales características de estos consultando las fichas técnicas de los productos y las páginas Web de cada una de las empresas que los comercializan, identificando el nombre del producto, empresa que lo comercializa, enzimas que posee y dosis de uso (Tabla 3.1).

## **2.4 Encuesta a productores locales de camarón**

Se realizó una encuesta a 27 productores locales de camarón, entre los que estuvieron jefes de campo, encargados de laboratorios de larvas y personas vinculadas a la producción de camarones que emplean sistemas de producción extensivos y semi-intensivos. La encuesta tuvo como objetivo conocer el grado de conocimientos sobre el uso de enzimas digestivas en la mejora de la asimilación del alimento balanceado o algún

otro uso que les dieran, así como el nivel de aceptación que estas tendrían en el caso de no conocer su beneficio. En el capítulo tres se detallan los resultados obtenidos en esta parte de la investigación.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Entrevistas a expertos en nutrición acuícola

La entrevista estuvo conformada por 7 preguntas (Tabla 3.1). De los cuatro expertos entrevistados, tres están a cargo de la formulación y elaboración de alimento balanceado, y uno de la asistencia técnica en venta y comercialización de enzimas digestivas. A continuación, se detallan los comentarios más relevantes que se obtuvieron al realizar las entrevistas a los expertos.

- Las enzimas digestivas han sido poco estudiadas para mejoramiento de la asimilación de nutrientes en organismos acuáticos.
- Las enzimas permiten aumentar la biodisponibilidad de los nutrientes en especial para los cuales están diseñadas, debido a que cada una presenta una especificidad para el nutriente que se quiere optimizar en la dieta.
- Antes de incorporar las enzimas en el alimento balanceado, asegurarse si son o no termolábil.
- No existe riesgo de que se degraden los nutrientes al incorporar las enzimas digestivas al momento de la fabricación del alimento balanceado, pues estas requieren de un pH y temperatura específica para poder actuar.
- Al momento de usar enzimas digestivas para mejorar la asimilación de nutrientes en el alimento balanceado, tener en cuenta el medio en el que cada una se activa, no mezclar dos enzimas que se activen a un medio distinto porque una de ellas no funcionaría y esto repercutiría en gastos innecesarios.
- Se saca mayor provecho a las enzimas cuando se las usa en alimentos balanceados con mayor cantidad de ingredientes vegetales, debido a que los camarones por naturaleza tienen la capacidad de digerir alimento de origen animal como en su medio natural por lo que no necesitaría esta “ayuda”.
- Se deben valorar las enzimas antes de utilizarlas con el objetivo de conocer si existe algún efecto significativo o no en su uso.

- Las enzimas cuyos parámetros de activación como el pH, sean similares, pueden mezclarse y ser suministradas en conjunto.
- Se recomienda usar la proteasa aislada del resto de enzimas, debido a que esta alcanza su pico máximo de acción a un pH distinto al de las demás.
- Una correcta adición de proteasa en el alimento balanceado ha mostrado reducir la necesidad de hasta 3 puntos porcentuales de inclusión de proteína.

**Tabla 3.1** Lista de preguntas realizadas a los expertos en nutrición y elaboración de alimento para organismos acuáticos.

Peguntas		Respuestas
¿Ha usado o conoce algún producto que este suplementado con enzimas digestivas para mejorar la asimilación de nutrientes en camarones?	Si	100%
	No	0%
¿Cree usted que el uso de las enzimas digestivas mejora la asimilación de nutrientes en los camarones de cultivo? ¿Por qué?		Si, siempre y cuando se las use correctamente.
¿Cuáles son las enzimas más recomendables para usar en cultivo de camarones? ¿Por qué?		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fitasa</li> <li>✓ Proteasa</li> <li>✓ Xilanasa</li> </ul>
¿Cuál sería el protocolo para la incorporación de enzimas en el alimento balanceado?		Se lo puede realizar en la planta al momento de su fabricación, o en la finca camaronera con la ayuda de un aglutinante.
¿Cómo considera que se maximiza el beneficio del uso de enzimas en el alimento? ¿Por qué?	En planta	50%
	En top	75%

<p>¿Qué puede resultar más eficiente: añadir enzimas al alimento o suplementar probióticos que produzcan enzimas? ¿Por qué?</p>		<p>Añadir enzimas digestivas, debido a que los probióticos no producen la misma cantidad de enzimas y además demoran más tiempo.</p>
<p>¿Colocar las enzimas en la fábrica, no degradaría antes de tiempo los nutrientes? ¿eso sería un riesgo?</p>		<p>No, debido a que las enzimas necesitan de un pH y una temperatura específica para poder activarse y actuar.</p>

### 3.1.1 Protocolo de incorporación y uso de enzimas digestivas en el alimento balanceado

Existen diferentes tipos de enzimas digestivas, y cada una es específica para mejorar la hidrólisis y posterior asimilación de un nutriente presente en la dieta suministrada. Cada enzima necesita un medio específico para poder actuar dentro del intestino de los camarones. Algunas enzimas necesitan de un pH ácido y otras necesitan un pH básico.

Mediante las entrevistas a expertos se recopiló información sobre los métodos de incorporación de las enzimas digestivas en el alimento balanceado. Existen dos formas en las cuales estas pueden ser incorporadas a la formulación, una de ellas es la aplicación directa en la fábrica de alimento al momento de su elaboración, y la otra es incorporarla *on top* en la finca camaronera o lugar donde se le vaya a dar uso. Si se lo incorpora en la fábrica se debe tener en cuenta su resistencia a las altas temperaturas debido a que se podrían desnaturalizar en el proceso o, por otro lado, deteriorarse debido a la acción mecánica a la que es sometida la mezcla. En caso de que se lo incorpore *on top*, se debe seguir las indicaciones recomendadas por el proveedor del aglutinante y de la enzima, teniendo en cuenta que las características que puedan presentar los productos que se comercializan son distintas entre sí. En la Tabla 3.2 se indican sugerencias sobre la incorporación de las enzimas digestivas en el alimento balanceado basadas en las experiencias de los expertos a los que se entrevistó, donde se detalla: el nombre de la enzima, estado de la misma, y el tipo de pH al que se activa.

**Tabla 3.2** Métodos de incorporación sugeridos por los cuatro expertos entrevistados en este trabajo para incorporar las enzimas digestivas en el alimento balanceado.

Nombre de la enzima	Estado del producto	Protocolo de incorporación de la enzima	pH al que se activa la enzima	Experto
Fitasas	Polvo	Mezclarlas con los micro ingredientes (vitaminas y minerales) antes de adicionar los líquidos y los aceites	Ácido	Experto 1
	Líquido	Mezclarla al final del proceso, cuando se realiza el baño de cobertura del pellet, debido a que la fitasa líquida no resiste al calor		
Proteasas	Polvo	Mezclarlas con los micro ingredientes (vitaminas y minerales), antes de adicionar los líquidos y los aceites	Básico	Experto 2
Xilanasas	Polvo	Mezclar al final del proceso antes de que el pellet sea ensacado. Una vez incorporadas darles un baño con aceite para evitar la lixiviación. Es recomendable usar enzimas líquidas debido a que son más fáciles de incorporar y de ser absorbidas por el pellet	Básico	
Proteasas	Polvo		Básico	
Fitasas	Líquido	Mezclarla al final del proceso de elaboración del pellet.	Ácido	Experto 3
Proteasas	Polvo	Agregarla en el proceso de mesclado, siempre y cuando este soporte el proceso de la temperatura a la que son sometidos los ingredientes en la elaboración del alimento balanceado.	Básico	

Nombre de la enzima	Estado del producto	Protocolo de incorporación de la enzima	pH al que se activa la enzima	Experto
Proteasas	Polvo	Se las puede incorporar en cualquier fase de la elaboración del alimento balanceado, siempre y cuando posean un recubrimiento que las proteja de la acción mecánica y de las altas temperaturas	Neutral – Básico	Experto 4
	Líquido	Se la recomienda usar en alimentos extruidos y colocarlas al final del proceso, debido a que no cuentan con un recubrimiento que las proteja del calor y la acción mecánica		
Fitasas	Polvo	Se las puede incorporar en cualquier fase de la elaboración del alimento balanceado, siempre y cuando, posean un recubrimiento que las proteja de la acción mecánica y de las altas temperaturas	Ácido	
	Líquido	Se la recomienda usar en alimentos extruidos y colocarlas al final del proceso, debido a que no cuentan con un recubrimiento que las proteja del calor y la acción mecánica.		
Xilanasas	Polvo	Se las puede incorporar en cualquier fase de la elaboración del alimento balanceado, siempre y cuando posean un recubrimiento que las proteja de la acción mecánica y de las altas temperaturas	Ácido	
	Líquido	Se la recomienda usar en alimentos extruidos y colocarlas al final del proceso debido a que no cuentan con un recubrimiento que las proteja del calor y la acción mecánica		

## **3.2 Información de enzimas digestivas comercializadas en Ecuador**

### **3.2.1 Características de los principales productos enzimáticos comercializados en Ecuador para el cultivo de camarón.**

En el Instituto Nacional de Pesca (INP) se encuentran registrados 1569 productos comerciales, destinado al cultivo de camarón, actualizados hasta el año 2020 y registrados bajo la razón social de una empresa. Once de estos productos poseen enzimas digestivas y fueron formulados y fabricados exclusivamente para ser usados en granjas camaroneras (Tabla 3.3). El 81,8% de los productos enzimáticos se comercializan en estado sólido y el 18,2% en estado líquido. Con respecto a su composición de enzimas digestivas: el 80% de los productos contenían proteasa, el 60% amilasa, el 70% celulasa, el 40% xilanasas, el 30% lipasa, el 10% contiene invertasa, pectinasa y fitasa y el 18,2% de los productos no ofrecen detalle alguno acerca de las enzimas que se encuentran en su composición. Con respecto a su uso, el 27,3% de los productos se aplica en el alimento balanceado, el 54,5% se aplica en el agua y el 18,2% no especifica su modo de aplicación.

También existen productos enzimáticos los cuales fueron inicialmente formulados y fabricados para ser usados en especies no acuáticas (aves y cerdos), sin embargo, han mostrado ser eficaces en el cultivo de camarón. En la tabla 3.4 se detallan: el nombre comercial, presentación, empresa que comercializa, composición enzimática, descripción del producto, uso para el cual fue diseñado y la dosis de aplicación.

**Tabla 3.3** Descripción de los productos enzimáticos con registro sanitario expedidos por el Instituto Nacional de Pesca (INP), actualizados hasta el 2020 y comercializados en Ecuador en el cultivo de camarón. Las características de los productos fueron

Nombre del producto	Presentación	Empresa	Enzimas que posee	Descripción	Uso	Dosis recomendada por la empresa
AquaPrime Enzyme	Polvo	AquaPrime	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Celulasa</li> <li>✓ Neutral proteasa</li> <li>✓ Bacterial Amylase</li> </ul>	<p>Concentrado enzimático, que ayuda a la absorción del alimento balanceado en el tracto digestivo del camarón y de esta manera incrementar su peso.</p>	En camaroneras	Mezclar 2 g de producto por Kg de alimento balanceado, adicionado con un pegante.
					Predigeridos	Aplicar 1 g del producto combinado con 1 L de agua desinfectada por Kg de harina de soya.
					Simbiótica	Aplicar 1 g del producto mezclado en agua desinfectada por kg de polvillo de arroz.
					Mezcla en planta	1 kg del producto por ton de alimento.

Nombre del producto	Presentación	Empresa	Enzimas que posee	Descripción	Uso	Dosis recomendada por la empresa
Enzysoil	Líquido	Vinsotel	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Proteasa</li> <li>✓ Invertasas</li> <li>Amilasas</li> </ul>	Mezcla de enzimas y nutrientes para el mejoramiento de la calidad de agua y suelos acuícolas.	Camaroneras	1 L del producto por Ha en columna de agua de 10 cm
					Laboratorios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zoea: 1 ppm del producto.</li> <li>• Mysis: 2 ppm del producto.</li> <li>Postlarva: 3 a 4 ppm del producto.</li> </ul>
Oxynova	Polvo	Agrantech	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Amilasa</li> <li>✓ Proteasa</li> <li>✓ Celulasa</li> <li>Pectinasa</li> </ul>	Mezcla de enzimas, bacterias y catalíticos orgánicos, micro encapsulados, para digerir y metabolizar contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en cuerpos de agua y suelos de piscinas acuícolas.	Larvicultura	1 a 5 g/ton de agua a partir de Mysis III
					Raceway	3 a 6 g/ ha agua/día
					Precría	100 g/ha
					Engorde	200 g/ha inicial
Allzyme Vegpro Polvo	Polvo	Alltech	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Proteasa</li> <li>✓ Celulasa</li> </ul>	Complejo enzimático para ayudar a los animales acuáticos en la digestión de las proteínas vegetales en ingredientes alimenticios.	Cultivo de camarón y peces	Adicionar el producto a una razón de 500 g/tonelada de alimento.

Nombre del producto	Presentación	Empresa	Enzimas que posee	Descripción	Uso	Dosis recomendada por la empresa
Allzyme SSF	Polvo	Alltech	Fitasa	Aditivo enzimático que aumenta la digestibilidad del fósforo ligado a los fitatos en los alimentos de dietas en acuicultura.	Cultivo de camarón y peces	Adicionar el producto a razón de 200 g/ton de alimento.
AquaStar PondZyme	Polvo	Biomin	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Proteasas</li> <li>✓ Amilasas</li> <li>✓ Celulasas</li> <li>✓ Xilanasas</li> </ul>	<p>Bacterias benéficas y mezcla de enzimas, para mejorar la producción de peces y camarones y mejorar las condiciones de los estanques. La mezcla de enzimas degrada todos los constituyentes orgánicos que se encuentran en los estanques, y promueven la predigestión de nutrientes complejos facilitando la liberación de nutrientes altamente digeribles.</p>	Camaroneras	Aplicar entre 0.3 y 0.5 kg/ha del producto cada 4 semanas en densidad entre 15 y 50 cam/m <sup>2</sup>
					Camaroneras	Aplicar 0.5 kg/ha del producto cada 2-3 semanas en densidad entre 50 y 100 cam/m <sup>2</sup>
					Camaroneras	Aplicar 0.5 kg/ha del producto cada 2 semanas en densidades mayores a 100 cam/m <sup>2</sup>

Nombre del producto	Presentación	Empresa	Enzimas que posee	Descripción	Uso	Dosis recomendada por la empresa
Epizym-Hod	Polvo	Epicore	No especifica	Compuesto enzimático microbiano, con estabilizadores agregados y estimulantes de crecimiento destinado a desintoxicar el agua en laboratorios de acuacultura.	Larvicultura	Zoea I a Zoea II, agregar 2 ppm
					Larvicultura	Mysis I a Mysis III, agregar 3 ppm
					Larvicultura	PL1 a PL5, agregar 4 ppm
					Larvicultura	PL6 a PL12, agregar 5 ppm
Biozym EZ	Polvo	NaturalStar	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Proteasa</li> <li>✓ Amilasa</li> <li>✓ Lipasa</li> <li>✓ Xilanasa</li> <li>    Celulasa</li> </ul>	<p>Producto enzimático, reduce el lodo orgánico sedimentado en el fondo de las piscinas. Descompone cualquier desecho orgánico convirtiéndolo en nutriente disponibles para el camarón o el medio.</p>	Laboratorio	<b>0-30 días</b> 100g/ha/5 días en densidades <50 PL/m <sup>2</sup> y 150g/ha/5 días en densidades >50 PL/m <sup>2</sup>
					Camaroneras	<b>30-60 días</b> 150g/ha/5 días en densidades <50 PL/m <sup>2</sup> y 250g/ha/5 días en densidades >50 PL/m <sup>2</sup>
					Camaroneras	<b>60-90 días</b> 250g/ha/5 días en densidades <50 PL/m <sup>2</sup> y 350g/ha/5 días en densidades >50 PL/m <sup>2</sup>
					Camaroneras	<b>90-120 días</b> 300g/ha/5 días en densidades <50 PL/m <sup>2</sup> y 400g/ha/5 días en densidades >50 PL/m <sup>2</sup>

Nombre del producto	Presentación	Empresa	Enzimas que posee	Descripción	Uso	Dosis recomendada por la empresa
Biozym Aquapro	Polvo	NaturalStar	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Proteasa</li> <li>✓ Lipasas</li> <li>✓ Celulasa</li> <li>✓ Xilanasa</li> <li>Amilasa</li> </ul>	<p>Contiene una mezcla sinérgica de microorganismos naturales y beneficiosos. Mejora el ambiente microbiológico, permite el establecimiento gastrointestinal saludable, reduce los trastornos digestivos, mejora el FCA, aumenta el incremento de peso.</p>	Cultivo de camarón	No especifica
Biozym Aquavive	Polvo	NaturalStar	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Proteasa</li> <li>✓ Lipasas</li> <li>✓ Celulasa</li> <li>✓ Xilanasa</li> <li>Amilasa</li> </ul>	<p>Fuente de enzimas hidrolíticas, facilita la degradación rápida de los desechos orgánicos acumulados en el suelo y agua durante el ciclo de cultivo.</p>	Cultivo de camarón	No especifica
LWT 1000	Líquido	Probac	No especifica	Complejo ultra concentrado de aminoácidos, enzimas y minerales, usado para trata agua y suelos de piscinas camaroneras	Camaroneras	Un litro por hectárea, en zonas más dañadas se puede usar 1.5 o 2 litros/Ha.
					Laboratorios o Raceways	Agregar 1 ppm una o dos veces a la semana.

**Tabla 3.4** Productos enzimáticos que fueron fabricados para ser usados en otros animales, pero que se usan en el cultivo de camarón.

Nombre del producto	Presentación	Empresa	Enzimas que posee	Descripción	Uso	Dosis
Ronozime ProAct	Polvo	DSM	✓ Proteasas	Mejora la digestibilidad de las proteínas, optimizando los costos del alimento, también ayuda a reducir la excreción de nitrógeno y el impacto que ejerce la producción animal sobre el ambiente.	Aves y camarones	Para aves de engorde, usar 200 gramos por tonelada de alimento.
Ronozime HiPhos	Polvo	DSM	✓ Fitasa	Hidroliza los fitatos en función de la dosis, libera fosforo, sodio, calcio, aminoácidos y otros nutrientes como energía.	Aves, cerdos y camarones	Aves de carne y porcino, usar 150-200 gramos por tonelada.
Ronozime WX	Polvo	DSM	✓ Xilanasa	Mejora la disponibilidad del trigo, y subproductos de cereales.	Aves, cerdos y camarones.	En camaroneras usar de 80 a 200 gramos por tonelada.

### **3.3 Encuestas a productores locales de camarón**

Se realizaron encuestas conformadas por nueve preguntas (Tabla 3.5) dirigidas a 27 personas involucradas en la producción de laboratorios de larvas y piscinas de engorde. El 25.9% de los encuestados son biólogos encargados de la producción, 22.2% son jefes de producción, 14.8% propietarios de camaroneras, 11,1% encargados de laboratorio de larvas, 7.4% asesores técnicos y el 18.5% restante se identificó como técnicos involucrados en la cadena de producción de camarón. Las encuestas se realizaron de manera virtual a través de la plataforma de Google Forms. Los resultados son mostrados en la Tabla 3.5.

A continuación, se muestra los principales resultados de la encuesta:

- 1) Un 84.6% de los encuestados asegura haber usado en algún momento enzimas digestivas con la intención de mejorar parámetros de cultivo.
- 2) Entre los productos que se comercializan en el país, el más conocido y por ende más utilizado es Oxynova con un 37 % de aceptación.
- 3) Se evidencia que el mayor uso que se les da a las enzimas es para la remediación de agua (59.3%), seguido estrechamente por la incorporación en alimento balanceado (51.9%).
- 4) Un 100% de encuestados afirma confiar en la efectividad del uso de enzimas para optimizar la asimilación de nutrientes.
- 5) El 92.6% de los encuestados considera a las proteínas como el macronutriente de mayor importancia presente en el alimento balanceado, seguido de los lípidos, cuya priorización entre los encuestados fue de 63%.
- 6) La mayoría de los productores (66.8 %) incorporan las enzimas on top en la misma granja camaronera, siguiendo únicamente los protocolos sugeridos por el expendedor de las mismas.
- 7) Los aspectos que los productores consideran han mejorado con el uso de las enzimas, son el mejoramiento del medio (agua y suelo) y un mayor crecimiento del camarón (64%).

8) Un 88.9% de los productores se muestran dispuestos a incorporar el uso de enzimas a sus protocolos de producción.

9) Casi la totalidad de los encuestados (96.3%) muestran una aceptación a una guía de incorporación de enzimas para el uso en el alimento balanceado.

El objetivo principal de realizar encuestas a personas vinculadas estrechamente a la producción de larvas o de camarones en engorde fue validar la aceptación del presente proyecto. Dado los antecedentes de circunstancias desfavorables derivadas de malas prácticas relacionadas al uso de enzimas exógenas, toma importancia la información que se recopila en la presente guía, a fin de optimizar y tomar todo el provecho que puedan brindar las enzimas en camarones de cultivo.

**Tabla 3.5** Resultado de la encuesta a productores locales

Preguntas		Respuestas (%)
¿Ha usado algún producto que este suplementado con enzimas digestivas para mejorar la asimilación de nutrientes en camarones de cultivo?	Si	84.6
	No	15.4
¿Cuál de estos productos ha utilizado?	Oxynova	37
	AquaPrime Enzyme	29.6
	AquaStar PondZyme	29.6
	Biozym Aquapro	22.2
	Biozym EZ	18.5
	Biozym Aquavive	14.8
	Allzyme Vegpro Polvo	3.7
	Epizym-Hod	3.7
	Pond D tox	3.7
	Lwt100	3.7
	Enzysoil	0
	Allzyme SSF	0
	Ronozyme Proact	0

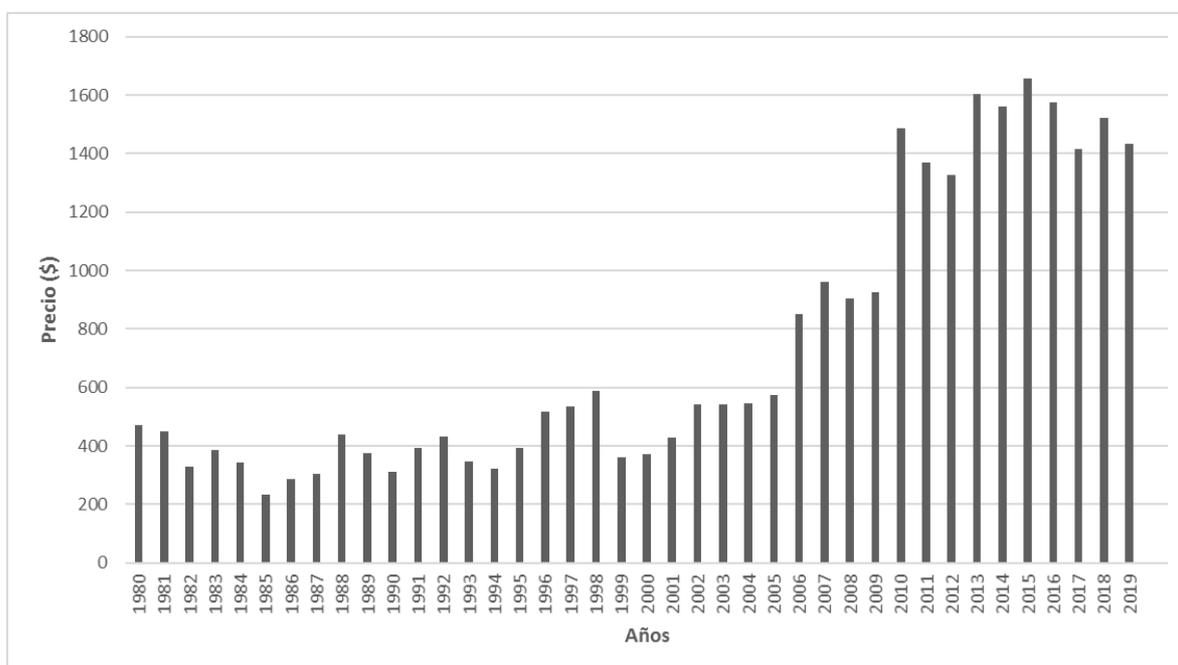
Preguntas		Respuestas (%)
¿Para qué las ha utilizado?	Para el agua	59.3
	Alimento balanceado	51.9
	Para el suelo	48.1
	Formulación de pre digeridos	11.1
	Otros	14.8
¿Cree usted que las enzimas digestivas mejoran la asimilación de nutrientes en camarones de cultivo?	Si	100
	No	0
¿Qué macronutrientes considera usted más importante y, por tanto, deberían ser mejor asimilados por los camarones con el objetivo de mejorar la rentabilidad del cultivo de camarón?	Proteína	92.6
	Lípidos	63
	Fosforo	29.6
	Carbohidratos	25.9
	Quitina	25.9
	Almidones	0
¿Cómo incorpora estas enzimas en el alimento balanceado?	On top	66,8
	En fábrica	33,2
¿Qué resultados ha obtenido al usar este/os productos?	Mejor calidad de agua y suelo	64
	Mayor crecimiento	64
	Mayor supervivencia	36
	Mayor rentabilidad económica	36
	Menor FCA	32
	No ha obtenido ningún resultado	0
Estudios demuestran que el uso de enzimas digestivas ayuda significativamente a mejorar la asimilación de nutrientes en camarones. Sabiendo esto, ¿Estaría usted dispuesto a usarlas?	Si	88.9
	Tal vez	11.1
	No	0
Las enzimas que regularmente se usan como complemento en el alimento, poseen características y requerimientos de acción distintos entre sí. Por ejemplo, las proteasas necesitan de un pH básico para actuar mientras que las fitasas actúan solo en un pH ácido. ¿Considera usted que es importante una guía que permita al productor conocer a detalle estos requerimientos con el fin de optimizar su uso y mejorar su eficiencia?	Si	96.3
	No	3.7

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

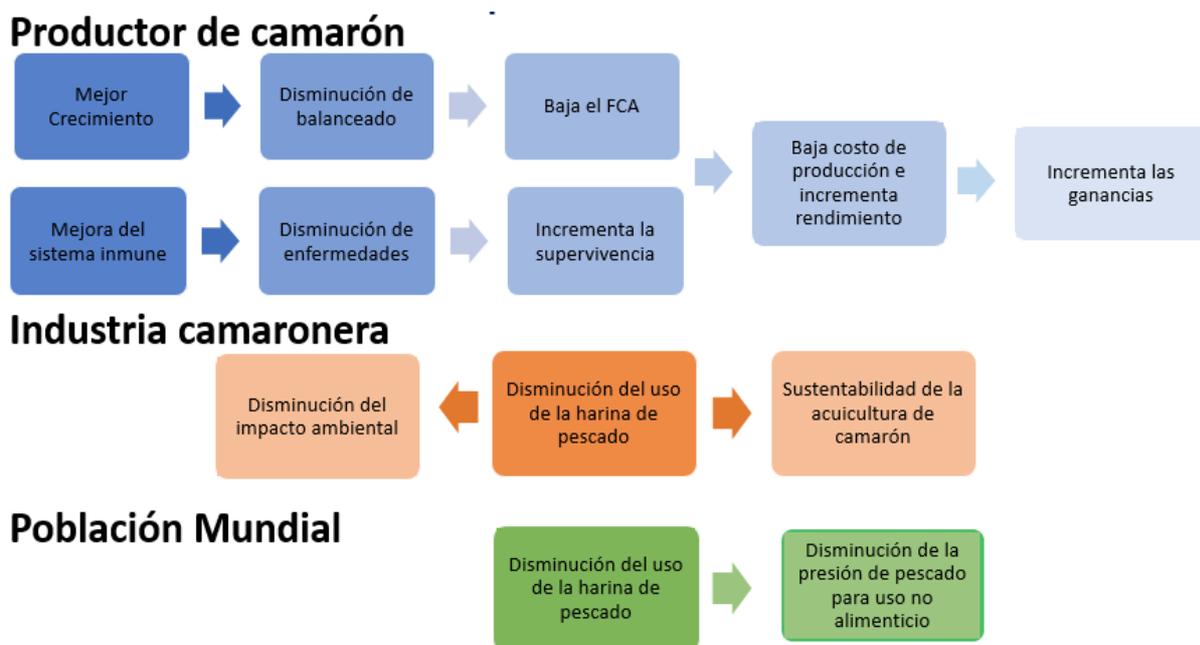
### 4.1 Conclusiones

La harina de pescado es la principal fuente de proteína del alimento balanceado para organismos acuícolas, por contener una gran cantidad de nutrientes. Sin embargo, el costo de la harina de pescado es muy inestable debido a la alta demanda y estancamiento de la captura de peces silvestres (Figura 1). En ese contexto, es importante implementar estrategias dirigidas a disminuir el consumo de harina de pescado en la industria acuícola. El presente trabajo estuvo dirigido a recopilar protocolos adecuados para optimizar la asimilación de la proteína en los camarones, de manera que, se pueda utilizar menor cantidad de esta macromolécula y obtener similares crecimientos a si se suministrara balanceado con alto contenido proteico. De esta manera también se contribuye a la rentabilidad de esta actividad.



**Figura 1.** Precio de la tonelada de harina de pescado por año (BCRPData, 2019)

La suplementación con enzimas digestivas ayuda al productor a obtener mejores ganancias al final de cada ciclo de cultivo. Esto ocurre porque su incorporación en la formulación de dietas mejora la tasa de crecimiento de sus camarones, por lo cual el productor usa menos balanceado y disminuye el FCA (Figura 2), lo que sucede como una consecuencia de la mejora significativa de la asimilación de nutrientes y la incorporación de estas al sistema del animal, aprovechándose de mejor manera. Por otro lado, el uso de una menor cantidad de harina de pescado para elaboración de balanceado disminuye la contaminación ambiental por disminuir los procesos que se llevan a cabo con la intención de obtener otros nutrientes presentes en las dietas contribuyendo a la mejora de la sustentabilidad de la industria acuícola (Figura 2).



**Figura 2.** Importancia del uso de enzimas a varias escalas (productor de camarón, industria camaronera y población mundial).

El impacto de usar enzimas digestivas incorporadas al balanceado puede llegar a ser a escala global, ya que una disminución del uso de la harina de pescado disminuye la presión de pescado para uso no alimenticio, lo cual es un impacto positivo para la población mundial e inclusive, la estrategia puede contribuir a disminuir la huella de carbono (Figura 2). Sin embargo, su suministración debe cumplir ciertos parámetros que, de no cumplirse, redundarían solo en gastos innecesarios. De aquí la importancia de

poner a disposición de los productores una guía que le permita conocer los protocolos adecuados de incorporación para evitar caer en malas prácticas relacionadas a estas.

En la actualidad se siguen buscando nuevas fuentes de nutrientes, sobre todo de proteínas para disminuir la presión del uso de harina de pescado. Algunas de estas, como la soja, tienen como limitante no solo no poseer el perfil de aminoácidos requerido, sino también poseer nutrientes quelados en otras estructuras que el camarón no puede procesar por carecer de las enzimas específicas para esto, ejemplo de ello son los fitatos que mantienen atrapado al fósforo y el camarón es incapaz de aprovecharlo por no poseer fitasas como enzimas endógenas. En este punto, toma gran importancia la incorporación de esta enzima a la formulación con la intención de proveer al camarón la capacidad de aprovechar el fósforo sin tener que añadir otra fuente de este al balanceado.

Una sencilla simulación puede ayudar a estimar las ventajas económicas de aplicar enzimas exógenas en el balanceado. Para esta simulación se partirá de la asunción que los parámetros de producción a la cosecha son similares, ya sea que se utilice una dieta de 35% de proteína, o una dieta del 28% de proteína suplementada con enzimas digestivas exógenas (Figura 3). Además, se asumirá las siguientes consideraciones: (1) un 15% del área destinada a la producción de camarón en Ecuador implementa la estrategia de utilizar enzimas digestivas, y este 15% de área de cultivo de camarón es sembrado a 18 animales/m<sup>2</sup>, obteniendo un peso promedio de cosecha de 18 g, una supervivencia final del 70%, un rendimiento promedio de 2268 Kg/ha y un factor de conversión de 1.4, con 3 corridas de producción por año, (2) los costos de los sacos de balanceado de camarón de 25 Kg con 35% y 28% de proteína, son \$30 y \$25.5, respectivamente, (3) la harina de pescado tiene 60% de proteína. Con estas asunciones, el uso de una dieta del 28% de proteína suplementada con enzimas digestivas exógenas, en vez de una dieta de 35% de proteína, representaría un ahorro de 54 millones de dólares (Figura 3). Estas cantidades representa el ahorro económico que podría realizarse con la implementación de las estrategias (Figura 3).

Tipo de dieta	Sacos de balanceado (millones)	Costo por saco (\$)	Costo total del balanceado (millones \$)	
35% de proteína	≈ 12	30,0	360	✓ 18 camarones/m <sup>2</sup> (semi-intensivo)
28% de proteína + enzimas exógenas	≈ 12	25,5	306	✓ 18 g a la cosecha
<b>Ahorro por año (millones \$)</b>			<b>54</b>	✓ 70% de supervivencia
				✓ 2268 Kg/Ha de rendimiento
				✓ FCA= 1.4:1
				✓ 3 corridas/año
				✓ 913,2 Ton de enzimas (3 g/Kg de balanceado)

**Figura 3.** Ventajas económicas de aplicar enzimas digestivas en cultivo de camarón.

De una manera semejante y usando las mismas asunciones que la simulación anterior, se procedió a estimar la cantidad de harina de pescado que podría ser ahorrado en el año si se decidiera incorporar la estrategia de suplementación de enzimas. Tomando como supuesto más importante que la única fuente protéica en el balanceado sea la proveniente de la harina de pescado, un saco de balanceado de 25 Kg con 35% de proteína tendría 8.75 Kg de este macronutriente. Partiendo de que 100 g de harina de pescado contienen 60 g de proteína, la cantidad de harina de pescado que se requiere para alcanzar 8.75 Kg para cubrir la demanda de este saco de balanceado es 14.58 Kg. De manera análoga se estima la cantidad de harina de pescado necesario para que un saco de 25 Kg alcance 28% de proteína y la diferencia de harina de pescado entre ambas presentaciones del balanceado es 2.91 Kg, dando como resultado un ahorro de más de 35 mil Ton por año.

## 4.2 Recomendaciones

- En vías a una acuicultura cada vez más amigable con el medio ambiente y sustentable en el tiempo, deben probarse nuevas fuentes de proteína u otros nutrientes en conjunto con enzimas exógenas de manera que se puedan aprovechar estructuras que por sí solos los camarones no podrían procesar.
- Al momento de usar enzimas digestivas se debe considerar que estas son específicas y actúan sobre un determinado nutriente, y sus condiciones de activación dentro del intestino de los camarones depende del pH para poder alcanzar su punto máximo de efectividad.

- Cuando se incorporan las enzimas digestivas en la granja acuícola (on top) se debe utilizar algún pegante o aglutinante. No es recomendable usar melaza debido a que aumenta la cantidad de materia orgánica en el agua causando contaminación en el medio ambiente.
- Elaborar más estudios con la utilización de enzimas digestivas con la finalidad de encontrar la cantidad exacta de enzimas que se debe incorporar en el alimento balanceado, para no desperdiciar este tipo de materia prima y disminuir costos de producción.

# ANEXOS

**espol** Escuela Superior  
Politécnica del Litoral

**GUÍA PARA LA  
INCORPORACIÓN  
DE ENZIMAS  
DIGESTIVAS EN  
ALIMENTO PARA  
CAMARONES DE  
CULTIVO**

**ENFRENTANDO DESAFÍOS GLOBALES,  
EN CAMINO A UNA ACUICULTURA  
SUSTENTABLE.**

**JUNIOR ALMEIDA & FRANKLIN RAMIREZ**

## ÍNDICE

Resumen.....	3
Proteasas.....	4
Métodos de incorporación.....	4
Parámetros de activación.....	4
Resultados reportados por la literatura.....	5
Fitasas.....	6
Métodos de incorporación.....	6
Parámetros de activación.....	6
Resultados reportados por la literatura.....	7
Lipasas.....	8
Métodos de incorporación.....	8
Parámetros de activación.....	8
Resultados reportados por la literatura.....	9
Xilanasas.....	10
Métodos de incorporación.....	10
Parámetros de activación.....	10
Resultados reportados por la literatura.....	11
Quitinasas.....	12
Métodos de incorporación.....	12
Parámetros de activación.....	12
Resultados reportados por la literatura.....	13

## Resumen

Disminuir el uso de harina de pescado y otros nutrientes, es una senda hacia una acuicultura más responsable con el medio ambiente, esto debido a que al ser necesario una menor cantidad de estos elementos para la fabricación de alimento balanceado, los procesos serían más eficientes reduciendo de manera significativa la huella de carbono. De la misma manera, se reduciría la excreción de nutrientes al medio, de manera que la calidad del medio en el cultivo, se vuelva más sustentable y responsable.

El uso de enzimas exógenas para suplementar alimento balanceado, es una técnica efectiva que ayuda a mitigar la problemática previamente planteada, siempre y cuando sean estas utilizadas de manera adecuada y correcta para no caer en gastos de rubros ineficientes.

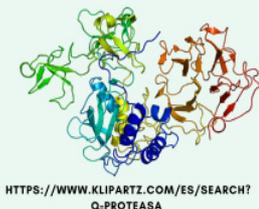
Es por eso que se realizó la presente guía que indica a los productores como incorporar las enzimas digestivas que quieran utilizar en el alimento balanceado.



# INCORPORACIÓN DE ENZIMAS EN EL BALANCEADO

## PROTEASAS

Enzimas que se encargan de la degradación de las proteínas presentes en el balanceado, hidrolizándolas en aminoácidos libres más asimilables para los camarones.



## MÉTODOS DE INCORPORACIÓN



[HTTPS://BIT.LY/2LLJONK](https://bit.ly/2LLJONK)

### EN FABRICA

Mezclar junto con los microingredientes (vitaminas y minerales) antes de adicionar los líquidos y los aceites. Debido a que por su naturaleza proteica, podrían no ser termolábiles.

### ON TOP

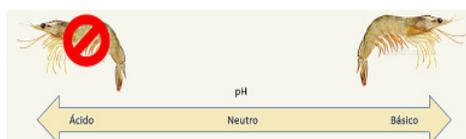
Independientemente de su estado, sólidas o líquidas, agregar la dosis recomendada en conjunto con el aglutinante siguiendo las indicaciones de ambos fabricantes.



[HTTPS://BIT.LY/3P4IEXR](https://bit.ly/3P4IEXR)

## PARÁMETROS DE ACTIVACIÓN

Las proteasas se activan en el intestino del camarón a un pH entre neutral y básico, por lo que los expertos recomienda incorporar esta enzima de manera aislada en la formulación y no en mezcla con otras enzimas.



## RESULTADOS REPORTADOS POR LA LITERATURA

Las proteasas aumentan la digestibilidad de las proteínas del alimento balanceado, mejoran el crecimiento, la salud intestinal del animal y aumentan las ganancias económicas al mejorar el rendimiento reduciendo los costos de alimentación (Brun, et. al 2017).

En un estudio realizado en China sobre la utilización de proteasa en dos dietas para camarones, la primera dieta estaba conformada por un grupo control que contenía alimento con 33% de harina de pescado y 16% de soya y un grupo experimental con la misma dieta control más 175 ppm de proteasa y la segunda conformada por un grupo control con 26% de harina de pescado y 25% de soya, y un grupo experimental con la dieta control más 175 ppm de proteasa, se obtuvo como resultado en la dieta uno un mejor crecimiento (3%) y una disminución del 2% del FCA en la dieta experimental, mientras que en la dieta dos se obtuvo una mejora del crecimiento (12%) y una disminución del 10% en el FCA en grupo experimental (Brun, et al. 2017).

# INCORPORACIÓN DE ENZIMAS EN EL BALANCEADO

## FITASAS

Enzimas que se encargan de mejorar la disponibilidad del fósforo de origen vegetal que se encuentra quelado en el ácido fítico.



<https://www.rcsb.org/structure/3AMS>

## MÉTODOS DE INCORPORACIÓN

### EN FABRICA



[HTTPS://BIT.LY/2NMUIYV](https://bit.ly/2NMUIYV)

Líquidas: Mezclar al final del proceso, cuando se realiza el baño de cobertura del pellet.

Polvo: Mezclar con los micro ingredientes (vitaminas y minerales) antes de adicionar los líquidos y los aceites.

### ON TOP

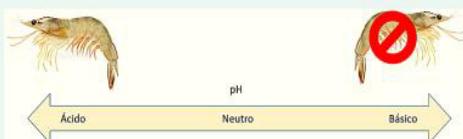
Independientemente de su estado, sólidas o líquidas, agregar la dosis recomendada en conjunto con el aglutinante siguiendo las indicaciones de ambos fabricantes.



[HTTPS://BIT.LY/2XSQK5A](https://bit.ly/2XSQK5A)

## PARÁMETROS DE ACTIVACIÓN

Las fitasas se activan en el intestino del camarón a un pH ácido, al igual que otras enzimas por lo que puede trabajar en sinergia con otras enzimas que se activen al mismo pH.



## RESULTADOS REPORTADOS POR LA LITERATURA

La fitasa es capaz de liberar el fósforo unido al fitato, dejándolo disponible y asimilable para el animal, siendo este un elemento esencial para su crecimiento y desarrollo (Davis, et al. 2000), además, ayuda a reducir su excreción en el medioambiente en un 30% o más (Ward, 2020) lo que redundaría en un ambiente más sano por disminuir la cantidad de nutrientes no asimilados.

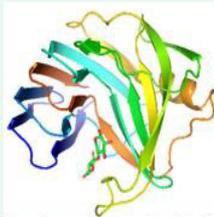
Se ha probado la incorporación de 2500 ppm de fitasa en una dieta convencional obteniéndose al final un 12.5% más de supervivencia y disminuyendo su factor de conversión alimenticia en un 5.6% (Davis, et al. 2000).

Otros ensayos reportan que la adición de un 500 ppm de fitasa mejora de manera significativa la disponibilidad de las proteínas y el fósforo ( $p < 0,05$ ) en comparación con la dieta control (Qiu, 2015).

# INCORPORACIÓN DE ENZIMAS EN EL BALANCEADO

## XILANASAS

Enzimas que se encargan de degradar la celulosa de los componentes vegetales de la formulación.



<https://www.indiamart.com/proddetail/xylanase-10411707188.html>

## MÉTODOS DE INCORPORACIÓN



[HTTPS://BIT.LY/2LRKRYD](https://bit.ly/2LRKRYD)

## EN FABRICA

Mezclar al final del proceso antes de que el pellet sea ensacado, una vez incorporadas darles un baño con aceite para evitar la lixiviación.

## ON TOP

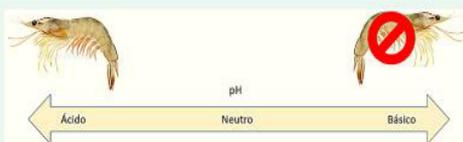
Dependiendo la marca, agregar la dosis recomendada por el fabricante y adicionarla con un pegante



[HTTPS://BIT.LY/3B5Sj6N](https://bit.ly/3B5Sj6N)

## PARÁMETROS DE ACTIVACIÓN

Las xilanasas se activan en un pH ácido en el intestino del camarón.



## RESULTADOS REPORTADOS POR LA LITERATURA

Las xilanasas son un tipo importante de carbohidrasas, las cuales son encargadas de la digestión de carbohidratos presentes en el balanceado. Tanto los crustáceos como los peces tienen poca capacidad para digerir los carbohidratos, por esta razón se incorporan carbohidrasas en el alimento balanceado (Borrell Valls, 2014).

Se ha probado la inclusión de 200 ppm de carbohidrasas en dietas convencionales obteniéndose que se logra mejorar de manera significativa ( $p < 0,05$ ) la digestibilidad de las proteínas en comparación con la dieta control (Qiu, 2015). Estas enzimas también han sido probadas para el tratamiento de agua y suelo con la intención de mejorar el entorno del animal obteniéndose así una mejora del 36% en el crecimiento y una disminución del 9% en el factor de conversión alimenticia (Mayer, 2020).

# INCORPORACIÓN DE ENZIMAS EN EL BALANCEADO

## LIPASAS

Enzima que se encarga de degradar el lípido presente en el alimento balanceado.



<https://www.rcsb.org/structure/1DTS>

## MÉTODOS DE INCORPORACIÓN



[HTTPS://BIT.LY/30INAVA](https://bit.ly/30INAVA)

## EN FABRICA

Mezclar al final del proceso antes de que el pellet sea ensacado, una vez incorporadas darles un baño con aceite para evitar la lixiviación.

## ON TOP

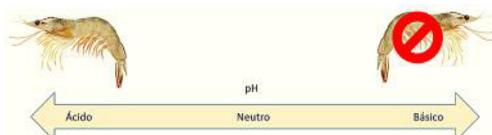
Dependiendo la marca, agregar la dosis recomendada por el fabricante y adicionarla con un pegante



[HTTPS://BIT.LY/2NFIPQI](https://bit.ly/2NFIPQI)

## PARÁMETROS DE ACTIVACIÓN

Las lipasas se activan en un pH ácido en el intestino del camarón.



## RESULTADOS REPORTADOS POR LA LITERATURA

Este tipo de enzimas en camarones *P. vannamei* se encarga de la degradación de lípidos presentes en el alimento. Antes de que los lípidos sean absorbidos por el organismo pasan por dos transformaciones: emulsificación e hidrólisis. Las lipasas operan sobre los lípidos emulsionados y las esterasas continúan con la digestión enzimática de los productos hidrosolubles degradados (Barreto Altamirano, 2012).

# INCORPORACIÓN DE ENZIMAS EN EL BALANCEADO



https://www.rcsb.org/structure/1WXS

## QUITINASAS

Enzima que se encarga de degradar la quitina, componente principal del exoesqueleto de los camarones.

## MÉTODOS DE INCORPORACIÓN

### EN FABRICA

Mezclar al final del proceso antes de que el pellet sea envasado, una vez incorporadas partes un baño con aceite para evitar la lixiviación.



https://bit.ly/3V1U100



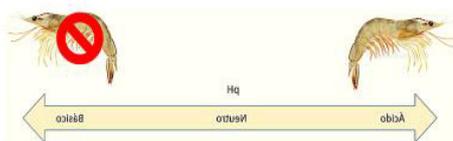
https://bit.ly/3XTHK7E

### ON TOP

Dependiendo la marca, se agregan la dosis recomendada por el fabricante y adicionalmente con un pedante.

## PARÁMETROS DE ACTIVACIÓN

Las quitinasas se activan en un pH ácido en el intestino del camarón.



## RESULTADOS REPORTADOS POR LA LITERATURA

Las quitinasas son enzimas que se encargan de la degradación de la quitina componente principal del exoesqueleto de los artrópodos (Borrell Valls, 2014). En los camarones esta enzima es importante para degradar su propio exoesqueleto al momento de la muda o el de sus congéneres cuando ingieren otros crustáceos, requiriendo de esta enzima para poder digerir la quitina consumida.

# BIBLIOGRAFÍA

- Moss, S., Divakaran, S., & Kim, G. (20 de Diciembre de 2001). *Stimulating effects of pond water on digestive enzyme activity in the Pacific white shrimp, Litopenaeus vannamei* (Boone). Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2109.2001.00540.x>
- Allen Davis, D., Lyle Johnston, W., & Connie R, A. (2000). *El Uso de Suplementos Enzimáticos en Dietas para Camarón*. Obtenido de Evaluación de la protesa sobre el crecimiento y utilización alimenticia.: [https://www.uanl.mx/utilerias/nutricion\\_acuicola/IV/archivos/26davi.pdf](https://www.uanl.mx/utilerias/nutricion_acuicola/IV/archivos/26davi.pdf)
- Anastacio, J. (22 de abril de 2020). *La producción de harina de pescado demanda seguridad jurídica y sostenibilidad*. Obtenido de Importancia de la harina de pescado para la acuicultura: <https://camaradepesqueria.ec/la-produccion-de-harina-de-pescado-demanda-seguridad-juridica-y-sostenibilidad/>
- Ayala Borboa, E. G. (Mayo de 2014). *Efecto de la inclusion de harina de langostilla (Pleuroncodes planipes) en el alimento sobre la expresión y actividad enzimática digestiva en el intestino del camarón blanco (Litopenaeus vannamei)*. Obtenido de [https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/135/1/ayala\\_e.pdf](https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/135/1/ayala_e.pdf)
- Barreto Altamirano, A. F. (2012). *Consumo de oxígeno disuelto como indicador del metabolismo intermediario de los camarones juveniles Litopenaeus vannamei alimentados con dos tipos de dietas comerciales*. Obtenido de <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/5410/1/220822.pdf>
- BCRPData. (2019). *PESQUEROS - HARINA DE PESCADO - PRECIO (US\$ POR TONELADAS)*. Obtenido de <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/anuales/resultados/PM05419BA/html/1950/2019/>
- Borrell Valls, J. (27 de Octubre de 2014). *Acuicultura: (VII-1 y 2) Nutrición acuícola, Aditivos tecnológicos. Uso de enzimas*. Obtenido de ENZIMAS PARA LA MEJORA DE LA DIGESTIÓN DE LOS ALIMENTOS DE CAMARONES:

<https://www.veterinariadigital.com/articulos/acuicultura-vii-1-y-2-nutricion-acuicola-aditivos-tecnologicos-uso-de-enzimas/>

Borrell, J. (27 de Octubre de 2014). *Acuicultura (VII.3.): Influencia de las fases de la cría y reproducción en la alimentación y uso de enzimas en camarones*. Obtenido de <https://www.veterinariadigital.com/articulos/acuicultura-vii-3-influencia-de-las-fases-de-la-cria-y-reproduccion-en-la-alimentacion-y-uso-de-enzimas-en-camarones/>

Borrell, S. (31 de Octubre de 2018). *Enzimas proteasas*. Obtenido de <https://www.veterinariadigital.com/articulos/enzimas-proteasas/>

Buchanan, J., Sarac, H. J., Poppi, D., & Cowan, R. T. (1997). *Effects of enzyme addition to canola meal in prawn diets*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848696014780#:~:text=The%20results%20indicate%20an%20improved,exogenous%20enzymes%20to%20the%20diet.&text=The%20low%20growth%20rate%20of,anti%2DnutritionaI%20compounds%20in%20canola.>

Carrillo, O., & González, R. (2000). *Control de la Digestión en Camarones*. Obtenido de [https://www.uanl.mx/utilerias/nutricion\\_acuicola/IV/archivos/9carr.pdf](https://www.uanl.mx/utilerias/nutricion_acuicola/IV/archivos/9carr.pdf)

Chowdhury, K. (22 de Mayo de 2017). *Un vistazo a las enzimas proteasas en la nutrición de los crustáceos*. Obtenido de Una mejor comprensión de la suplementación enzimática en los alimentos acuícolas es esencial: <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/un-vistazo-las-enzimas-proteasas-en-la-nutricion-de-los-crustaceos/>

Cruz Suárez, L. E. (2015). *ENZIMAS DIGESTIVAS Y ESTUDIOS SOBRE DIGESTIBILIDAD PARA ORGANISMOS ACUATICOS*. Obtenido de DIGESTION EN CAMARON Y SU RELACION CON FORMULACION Y FABRICACION DE ALIMENTOS BALANCEADOS: <http://eprints.uanl.mx/8350/1/4.pdf>

Do Nascimento Vieira, F. (2017). *Avances de Nutrición Acuícola*. Obtenido de ADITIVOS ALIMENTARIOS PARA CAMARONES MARINOS: SALUD Y NUTRICIÓN: <http://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/4>

- Gamboa Delgado, J. (2001). *"Estudio de la actividad de las enzimas digestivas de Litopenaeus vannamei en función del tamaño corporal y la preferencia alimenticia"*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8699/1/juliangamboa.pdf>
- García Carreño, F. L., Córdova Mureta, J. H., & Navarrete del Toro, F. L. (2016). *Advances in the study of activity additivity of supplemented proteases to improve digestion of feed protein by Penaeus vannamei*. Obtenido de <https://www.tib.eu/en/search/id/wiley:doi~10.1111%252FANU.12408/Advances-in-the-study-of-activity-additivity-of?cHash=70ddc1572ce669514bf13f83edd9c1fb>
- García Galano, T., & Carrillo Farnés, O. (2015). *NUTRICIÓN DEL CAMARÓN BLANCO, Litopenaeus schmitti Burkenroad: 25 AÑOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA*. Obtenido de Enzimas digestivas: <https://biblat.unam.mx/hevila/Revistadeinvestigacionemarinas/2015/vol35/no2/2.pdf>
- Garibay Valdez, E., Martínez Porchas, M., Calderón, K., Gollas Galván, T., Martínez Córdova, L., Vargas Albores, F., & Arvayo, M. (03 de Agosto de 2020). *La microbiota del tracto digestivo de camarones peneidos: una perspectiva histórica y estado del arte*. Obtenido de El tracto digestivo de camarones peneidos: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-14562020000100005&lng=es&nrm=iso#B2](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-14562020000100005&lng=es&nrm=iso#B2)
- Guzman, C., Gaxiola, G., Rosas, C., & Torre-Blanco, A. (20 de Diciembre de 2001). *The effect of dietary protein and total energy content on digestive enzyme activities, growth and survival of Litopenaeus setiferus (Linnaeus 1767) postlarvae*. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2095.2001.00161.x>
- Lucien Brun, H., Servin, K., & Chowdhury, K. (2017). *Una revisión de aplicación de una proteasa en el alimento balanceado para optimizar los beneficios y la sostenibilidad de la cría de camarón, Penaeus vannamei*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/321003854\\_Una\\_revisión\\_de\\_aplicación\\_de\\_una\\_proteasa\\_en\\_el\\_alimento\\_balanceado\\_para\\_optimizar\\_los\\_beneficio](https://www.researchgate.net/publication/321003854_Una_revisión_de_aplicación_de_una_proteasa_en_el_alimento_balanceado_para_optimizar_los_beneficio)

s\_y\_la\_sostenibilidad\_de\_la\_cria\_de\_camaron\_Penaeus\_vannamei/link/5a068b700f7e9b6822993d09/download

MAUGLE, P. D., DESHIMARU , O., KATAYAMA , T., & SIMPSON, K. L. (1982). *Características de la amilasa y proteasa del camarón Penaeus japonicus*. Obtenido de [https://www.jstage.jst.go.jp/article/suisan1932/48/12/48\\_12\\_1753/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/suisan1932/48/12/48_12_1753/_article)

Mayer, E. (26 de julio de 2020). *Enzimas- mejora en la calidad del agua y el suelo en la acuicultura*. Obtenido de Uso de enzimas para mejorar la calidad del agua y el suelo en los estanques acuicolas: <https://aquafeed.co/entrada/enzimas---mejora-en-la-calidad-del-agua-y-el-suelo-en-acuicultura-20498/>

Molina, C., Cadena, E., & Orellana, F. (19 de Noviembre de 2000). *Alimentación de camarones en relación a la actividad enzimática como una respuesta natural al ritmo circadiano y ciclo de muda*. Obtenido de [https://www.uanl.mx/utilerias/nutricion\\_acuicola/V/archivos/cmolina.pdf](https://www.uanl.mx/utilerias/nutricion_acuicola/V/archivos/cmolina.pdf)

Palomino, A. (12 de Julio de 2019). *Enzimas digestivas en peces*. Obtenido de <https://www.veterinariadigital.com/articulos/enzimas-digestivas-en-peces/#:~:text=Las%20principales%20enzimas%20que%20entran,Endopeptidasas%3A%20Elastasa%20I%20y%20II>

Qiu, X. (1 de Agosto de 2015). *Evaluation of Enzymes Supplementation in Diets for Pacific White Shrimp (Litopenaeus vannamei)*. Obtenido de <https://etd.auburn.edu/bitstream/handle/10415/4719/Thesis%20Final%20Xuan%20Qiu.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

rf Ingredients. (6 de Septiembre de 2019). *AquaFeed*. Obtenido de Nutrición y Rentabilidad del Alimento para Camarones: Comprenda la comparación: <https://aquafeed.co/entrada/nutricion-y-rentabilidad-del-alimento-para-camarones--comprenda-la-comparacion-21083/>

Segovia Salcedo, C., Narváez Trujillo, A., & Espinoza Fuentes, F. (12 de Octubre de 2015). *Celulasas presentes en el tracto digestivo del camarón Litopenaeus vannamei*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6369416>

Villarreal Colmenares, H., Molina Póveda, C., Quadros, W., Villarreal Cavazos, D., Montoya, N., Nolasco Soria, H., . . . Magallón Barajas, F. J. (2008). *Estrategias de alimentación en la etapa de engorda de camarón*. Obtenido de Perspectivas de la nutrición y alimentación del camarón marino en sistemas de cultivo: <https://www.cibnor.gob.mx/images/stories/biohelis/pdfs/Estrategias-de-alimentacion-en-la-etapa-de-engorda-del-camaron.pdf>

Wang, Y., Farraj, D., Vijayaghavan, P., Hatamleh, A., Davadhasan Biji, G., & Mostafa Rady, A. (10 de Julio de 2020). *Host associated mixed probiotic bacteria induced digestive enzymes in the gut of tiger shrimp Penaeus monodon*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X20302965>

Ward, N. (2020). *DSM*. Obtenido de Why Animals Need Enzymes in the Feed?: • [https://www.dsm.com/content/dam/dsm/anh/en\\_US/documents/E001A\\_Why\\_Animals\\_Need\\_Enzymes\\_in\\_the\\_Feed.pdf](https://www.dsm.com/content/dam/dsm/anh/en_US/documents/E001A_Why_Animals_Need_Enzymes_in_the_Feed.pdf)

Wilson, J. (2020). *DSM*. Obtenido de What are the Enzymes and How do they Work?: [https://www.dsm.com/content/dam/dsm/anh/en\\_US/documents/E002A\\_What\\_are\\_Enzymes\\_and\\_How\\_do\\_they\\_Work.pdf](https://www.dsm.com/content/dam/dsm/anh/en_US/documents/E002A_What_are_Enzymes_and_How_do_they_Work.pdf)