



Artículo original / Original article

Efecto de las enzimas en la biorremediación de agua y lodo de estanques seminaturales sobre el proceso productivo del paco (*Piaractus brachypomus*) en localidad Alegría, Madre de Dios

Effect of enzymes in the bioremediation of water and mud from semi-natural ponds on the productive process of paco (*Piaractus brachypomus*) in Alegría, Madre de Dios

Homero Gómez-Matos ^{1*} ; Odalis Morales-Olin ² 

¹Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú

²Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú

Recibido: 09/04/2022

Aceptado: 27/06/2022

Publicado: 25/07/2022

*Autor de correspondencia: hgomez@unamad.edu.pe

Resumen: El presente estudio tuvo como objetivo investigar el efecto de las enzimas en la biorremediación de agua y lodo de estanques seminaturales sobre el proceso productivo del paco (*Piaractus brachypomus*) en la localidad de Alegría, Madre de Dios, desde enero a junio del 2018. Se utilizaron 3,000 alevinos de paco de $5 \pm 0,2$ gr, distribuidos al azar en 3 tratamientos con dos repeticiones cada uno bajo un diseño al azar. Los tratamientos fueron: T1 (control), T2 (0,01 g/m²) y T3 (con 0,03 g/ m²), evaluados durante las 3 etapas de crecimiento del paco, además de evaluar por 5 meses cada semana los parámetros físico-químicos del agua. Los resultados no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en los parámetros productivos evaluados; sin embargo, promedios altos en los parámetros físico-químicos del agua oxígeno disuelto (4,5 ppm), transparencia (6 cm) y el pH (6,58), Nitrito (0,02 ppm), amonio (1,35 ppm). Concluyendo que, el uso de las enzimas los estanques piscícolas no afectaron significativamente los parámetros productivos y parámetros físico-químicos evaluados, observando mejor crecimiento en conversión alimenticia con inclusión del enzima al 0,03.

Palabras clave: biorremediación, calidad de agua, enzimas, *Piaractus brachypomus*

Abstract: The objective of this study was to investigate the effect of enzymes in the bioremediation of water and mud from semi-natural ponds on the productive process of paco (*Piaractus brachypomus*) in the town of Alegría, Madre de Dios, from January to June 2018. used 3,000 paco fingerlings of 5 ± 0.2 gr, randomly distributed in 3 treatments with two repetitions each under a random design. The treatments were: T1 (control), T2 (0.01 g/m²) and T3 (with 0.03 g/m²), evaluated during the 03 growth stages of the paco, in addition to evaluating the parameters for 5 months each week. physical-chemical of water. The results did not show significant differences ($p > 0.05$) in the productive parameters evaluated; however, high averages were obtained in the physicochemical parameters of dissolved oxygen water (4.5 ppm), transparency (6 cm) and pH (6.58), Nitrite (0.02 ppm), ammonium (1.35 ppm). Concluding that the use of enzymes in fish ponds did not significantly affect the productive parameters and physicochemical parameters evaluated, observing better growth in feed conversion with the inclusion of the enzyme at 0.03.

Keywords: bioremediation, water quality, enzymes, *Piaractus brachypomus*

1. Introducción

La piscicultura es una actividad productiva relativamente reciente en la Amazonía peruana. Desde su inicio hasta hace unos cinco años se practicó en forma limitada, principalmente a nivel familiar, y durante los últimos años ha tenido un desarrollo acelerado, debido fundamentalmente a los avances obtenidos en el proceso de producción de alevinos de especies nativas como gamitana (*Colossoma macropomum*) y paco (*Piaractus brachypomus*) (Reyes, 1998).

La biorremediación es considerada como la vía más efectiva para la remediación de suelos contaminados, en contraste a alternativas más costosas como la incineración (Castillo Rogel et al., 2020). Los tratamientos biológicos de degradación en suelos pueden ser eficientes y económicos si las condiciones de biodegradación son optimizadas (Suarez Beltrán, 2013).

La actividad de los microorganismos presentes en el lodo y agua se puede favorecer mejorando determinadas condiciones edáficas, añadiendo nutrientes, enzimas, agua, oxígeno y modificando el pH (Martinez-Prado et al., 2011). Otra forma es la introducción de nuevas especies para aumentar la concentración de microbiota presente.

Actualmente, la degradación por acción de enzimática, tiene como principio agregar enzimas al lugar y/o sitio contaminado con la finalidad de degradar las sustancias nocivas o degradar los compuestos tóxicos que afectan a los peces y camarones (Marcillo Tipán, 2014). Estas enzimas se obtienen de microorganismos especialmente diseñados para así obtener grandes cantidades y de alta especificidad, que son comercializadas por las empresas biotecnológicas.

En la región Madre de Dios, la actividad piscícola se sigue trabajando sin ningún uso de tecnologías en donde se mejore el rendimiento productivo, se incremente la densidad de siembra de los peces y se use adecuadamente el agua. Por otro lado, realizar mayor número de campañas, trae como consecuencia que se eleve los costos de producción, se generen cantidad de sólidos suspendidos y materia orgánica producto de la sobrealimentación de peces.

Por su parte, Isuiza Chacchi (2016) donde evaluó la biorremediación utilizando microorganismos eficaces (EM) en estanques piscícolas sin presencia de peces, donde señala que el tratamiento 3 es el que tuvo más efecto significativo ($p < 0,05$) en la biorremediación de la calidad de agua y lodo de estanques piscícolas. Este tratamiento fue el más eficaz en mejorar la calidad del agua, donde se obtuvo promedios altos en los parámetros fisicoquímicos de oxígeno disuelto (4,04 ppm), transparencia (4,57 cm) y el pH (6,33); y promedios bajos en los parámetros de amonio (1,29 ppm), nitrito (0,04 ppm), CO₂ (10 ppm) y alcalinidad y dureza (23,73 y 20,33 ppm)

2. Materiales y métodos

Se utilizaron 3000 alevinos de paco de 5 gr \pm 0,5. Los cuales fueron distribuidos al azar en tres tratamientos con dos repeticiones cada uno, procedentes del Centro Piscícola -La Cachuela del Gobierno Regional de Madre de Dios. Como dieta control se usó dos estanques sin ningún tipo de tratamiento enzimático. Se evaluaron tres tratamientos:

Tratamiento 1: T1 (control), Tratamiento 2: T2 (0,01g enzimas/m²) y Tratamiento 3: T3 (con 0,03 g de enzima/ m²), para las etapas de crecimiento Inicio, Crecimiento, Engorde.

La medición de la ganancia de peso promedio, biomasa ganada y consumo de alimento se realizó una vez a la semana, se utilizó una balanza digital de 100 kg de capacidad y con 1,0 g de sensibilidad. El alimento balanceado, previamente pesado, se suministró diariamente a las 8:00 a.m. utilizando un alimento comercial.

3. Resultados y discusión

3.1. Mediciones de parámetros productivos

Variables evaluadas

- Peso promedio (g)
- Biomasa ganada (kg)
- Consumo de alimento (kg)

Conversión alimenticia

Los promedios del efecto de los tratamientos fueron analizados mediante el Diseño Completamente al Azar, con tres tratamientos y ocho repeticiones por tratamiento y se realizó el análisis de varianza (ANVA) para los parámetros productivos. Los datos fueron procesados con el programa estadístico SAS versión 8.0. Para la comparación de medias se realizó la prueba de Duncan para determinar las diferencias estadísticas o no entre tratamientos con un nivel de significación de 5% (Calzada, 1982).

$$\text{Conversión alimenticia acumulada} = \frac{\text{Consumo total de materia seca (g)}}{\text{Ganancia total de peso vivo (g)}}$$



Figura 1. Acondicionamiento de estanques seminaturales

Tabla 1. Evaluación de comportamiento de los parámetros de calidad de agua inicialmente antes del sistema de biorremediación enzimática etapa Inicio (30 días)

	Oxígeno disuelto (ppm)	Temperatura	Amoniaco	Dureza	pH
Tratamiento 1 Enzima 1 R1	4,0	29	2,2	120	6,5
Tratamiento 2 Enzima 1 R1	3,5	27	2,5	120	7,0
Tratamiento 2 Enzima 2 R1	2,5	28	2,0	200	6,5
Tratamiento 2 Enzima 2 R2	2,8	27	2,2	200	6,8
Tratamiento 3 Sin enzima R1	2,5	28	2,5	250	5,5
Tratamiento 3 Sin enzima R2	2,2	29	2,0	250	5,8

Tabla 2. Comportamiento de los parámetros de calidad de agua al Final de evaluados con el sistema de biorremediación enzimática etapa Crecimiento (60 días)

	Oxígeno disuelto (ppm)	Temperatura	Amoniaco	Dureza	pH
Tratamiento 1 Enzima 1 R1	2,5	28	2,0	120	6,5
Tratamiento 2 Enzima 1 R1	3,5	28	2,0	120	7,0
Tratamiento 2 Enzima 2 R1	2,8	29	1,5	200	6,5
Tratamiento 2 Enzima 2 R2	3,0	29	1,5	200	6,8
Tratamiento 3 Sin enzima R1	3,0	30	1,5	250	5,4
Tratamiento 3 Sin enzima R2	3,1	30	1,5	250	5,3

Tabla 3. Comportamiento de los parámetros de calidad de agua al Final de evaluados con el sistema de biorremediación enzimática etapa Engorde (30 días)

	Oxígeno disuelto (ppm)	Temperatura (°C)	Amoniaco (ppm)	Dureza (ppm)	pH
Tratamiento 1 Enzima 1 R1	2,5	28	2,0	120	6,5
Tratamiento 2 Enzima 1 R1	2,5	28	2,0	120	7,0
Tratamiento 2 Enzima 2 R1	3,1	28	1,5	200	6,5
Tratamiento 2 Enzima 2 R2	2,9	29	1,5	200	6,8
Tratamiento 3 Sin enzima R1	3,0	28	1,5	250	5,4
Tratamiento 3 Sin enzima R2	3,1	29	1,5	250	6,0

Tabla 4. Parámetros productivos para la etapa Inicio de alevinos de paco

	Biomasa inicial (kg)	Biomasa final (kg)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Conversión alimenticia
Tratamiento 1 Enzima 1 R1	4,8	49,5	4,9	49,7	1,60
Tratamiento 2 Enzima 1 R1	4,9	51,0	5,1	48,4	1,80
Tratamiento 2 Enzima 2 R1	5,0	53,0	5,3	50,2	1,83
Tratamiento 2 Enzima 2 R2	5,0	52,0	4,8	49,6	1,71

Tratamiento 3 Sin enzima R1	4,8	50,0	5,0	50,1	1,94
Tratamiento 3 Sin enzima R2	4,9	51,2	4,9	49,9	1,90

Tabla 5. Parámetros productivos para la etapa Crecimiento de juveniles de paco

	Biomasa inicial (kg)	Biomasa final (kg)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Conversión alimenticia
Tratamiento 1 Enzima 1 R1	49,6	159,4	49,58	155,2	1,91
Tratamiento 2 Enzima 1 R1	52,0	156,5	49,6	160,3	1,86
Tratamiento 2 Enzima 2 R1	51,0	157,3	51,32	152,6	1,82
Tratamiento 2 Enzima 2 R2	52,0	157,2	49,8	151,5	1,88
Tratamiento 3 Sin enzima R1	50,0	160,3	55,3	150,2	1,81
Tratamiento 3 Sin enzima R2	50,0	158,1	55,5	156,2	1,85

Tabla 6. Parámetros productivos para la etapa Engorde de adultos de paco

	Biomasa inicial (kg)	Biomasa final (kg)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Conversión alimenticia
Tratamiento 1 Enzima 1 R1	160,0	440,1	160,2	455,2	1,90
Tratamiento 2 Enzima 1 R1	160,2	445,3	158,2	456,3	1,85
Tratamiento 2 Enzima 2 R1	158,5	423,8	158,6	458,3	1,84
Tratamiento 2 Enzima 2 R2	158,9	420,9	157,5	452,4	1,78
Tratamiento 3 Sin enzima R1	157,8	424,7	156,2	415,2	1,80
Tratamiento 3 Sin enzima R2	157,5	426,1	150,3	399,5	1,91



Figura 2. Monitoreo producción de la etapa de engorde del paco

4. Discusión

De acuerdo a estos resultados de los tres tratamientos se realizó el análisis de varianza en los incrementos de peso, biomasa final y conversión alimenticia, no se encontraron diferencias significativas tanto en los parámetros productivos y físico químico del agua de acuerdo a las dosis evaluadas con enzimas, sin embargo numéricamente el tratamiento 2 tuvo mayor efecto respuesta en ganancia de peso, conversión alimenticia y ganancia de peso en las tres etapas del proceso productivo del paco (Inicio, Crecimiento, Engorde)

Investigaciones en otras especies como la realizada por Colquehuanca Mamani (2015) muestra el efecto de un cultivo de paco en estanques, reportando una ganancia total de peso de en alevinos y juveniles de 50 gr y 150 gr utilizando torta de sachu inchi, superando al tratamiento testigo que ganaron 45 gr y 145 gr.

Los resultados obtenidos indicaron que en las variables de peso final alcanzados por los peces no mostraron diferencias significativas entre tratamientos a nivel de varianza, ni a nivel del comparativo de medias. No obstante, el tratamiento 2, muestra un ligero incremento en comparación con los otros dos, y los pesos alcanzados a esta densidad corresponde a pesos comerciales que tienen gran aceptación en los mercados locales. Bernardino & Ferrari (1989) reportan iguales resultados con la especie *Piaractus mesopotamicus*, a densidades de 5 000 y 10 000 peces ha⁻¹ sin encontrar diferencias significativas en peso. Según los resultados observamos que el incremento de la enzima mejora la calidad del agua en el crecimiento en los peces.

El alimento utilizado para el género *Piaractus* en diferentes trabajos en América Latina, varían del 14% al 40% de proteína bruta, con una tasa de alimentación del 2 al 5% de su biomasa, alcanzando conversiones alimenticias de 1,9 a 3,8 (Bernardino & Ferrari, 1989). Al trabajarse en el experimento con una dieta con 33% de proteína, una tasa de alimentación inicial y final de 10% y 2,5%, se obtuvieron conversiones alimenticias de 0,54 a 3,55, siendo el tratamiento 5,000 peces ha⁻¹ el que alcanzó un valor de 1,09, el más próximo a 1 en comparación con los otros dos.

5. Conclusiones

El uso de las enzimas en el agua y lodo de estanques para el proceso productivo del paco en sus tres etapas no afectó significativamente ningún parámetro productivo y físico-químico. Sin embargo, los tratamientos con adición de enzimas tuvieron un incremento numéricamente.

Financiamiento

Por Innóvate Perú con Contrato N° 375-FIDECOM-INNOVATEPERU-PIMEN-2016.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Contribución de autores

G-M, H.: conceptualización, análisis formal, investigación, escritura (preparación del borrador final).

M-O, O.: metodología, investigación, curación de datos, redacción (revisión y edición).

Referencias bibliográficas

- Bernardino, G., & Ferrari, V. (1989). Efeitos do uso de ração comercial no desempenho do pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg 1 887) em cativeiro. In *Boletín Técnico do CEPTA* (Vol. 2).
- Calzada, J. (1982). *Métodos estadísticos para la investigación* (5th ed.). Editorial y Distribuidora Milagros S. A.
- Castillo Rogel, R. T., More Calero, F. J., Cornejo La Torre, M., Fernández Ponce, J. N., & Mialhe Matonnier, E. L. (2020). Aislamiento de bacterias con potencial biorremediador y análisis de comunidades bacterianas de zona impactada por derrame de petróleo en Condorcanqui – Amazonas – Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 22(3), 2015–2225. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.656>
- Colquehuanca Mamani, E. Y. (2015). *Efecto de diferentes niveles de dietas alimentarias en base a torta de sachá inchi (Plukenetia volubilis) en la alimentación de paco (Piaractus brachyomus) en la región Madre de Dios* [Universidad Nacional Del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4046>
- Isuiza Chacchi, B. M. (2016). *Efecto de microorganismos eficaces (EM) en la biorremediación de agua y lodo de estanques piscícolas. Pucallpa, Perú* [Universidad Nacional de Ucayali]. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3248>
- Marcillo Tipán, E. P. (2014). *Evaluación de la eficiencia de un inóculo enzimático como acelerador del proceso landfarm en biorremediación de suelos contaminados con diésel y bunker a escala piloto. Parroquia el Reventador provincia de Sucumbios* [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8343>
- Martínez-Prado, M. A., Pérez-López, M. E., Pinto-Espinoza, J., Gurrola-Nevárez, B., & Osorio-Rodríguez, A. (2011). Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(3), 241–252. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/26299>
- Reyes, W. (1998). Cultivo de peces amazónicos. *Revista Peruana de Limnología y Acuicultura Continental. Publicación Especial APLAC*, 4.
- Suarez Beltrán, R. M. (2013). *Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos* [Universidad Libre]. <https://hdl.handle.net/10901/10607>