



## SUPLEMENTACIÓN NUTRICIONAL CON ESPIRULINA EN AJOLOTES: UNA ESTRATEGIA PARA MEJORAR EL CRECIMIENTO EN CAUTIVERIO Y APOYAR SU CONSERVACIÓN

<sup>1</sup>\*Cruz-Aviña, J.R., <sup>1</sup>Jiménez-Cortez H. I., <sup>1</sup>Campos-García H., <sup>1</sup>Cordero-Abrego A., <sup>2</sup>Tenorio-Arvide M.G. <sup>3</sup>Güizado-Rodríguez M. A.

<sup>1</sup>Laboratorio de Conservación de Fauna Nativa “*Dr. Gustavo Casas Andreu*”, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. Hidalgo S/N, Col. Centro, CP 75480, Tecamachalco, Puebla, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas (CICA-ICUAP), Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio 6301, Jardines de San Manuel, CP 72570 Puebla, Puebla, México.

<sup>3</sup>División de Biología, Subdirección de Investigación y Posgrado, Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla, Tecnológico Nacional de México, Carretera Acuaco-Zacapoaxtla Km. 8, Col. Totoltepec, C.P. 73680, Zacapoaxtla, Puebla, México.

\*Autor de correspondencia: [juan.cruzavina@correo.buap.mx](mailto:juan.cruzavina@correo.buap.mx)  
Recibido 08-08-25; Revisado 29-09-25; Aceptado 05-10-25

### RESUMEN

El ajolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*), endémico de México y en peligro crítico de extinción (UICN, NOM-059-SEMARNAT-2010, CITES Apéndice II), enfrenta la pérdida de su hábitat en Xochimilco, México. La conservación *ex situ* requiere estrategias nutricionales eficaces para optimizar crecimiento y supervivencia. Este estudio evaluó el efecto de la suplementación con espirulina (*Arthrospira* spp.) en dietas basadas en (*Artemia* spp.) sobre el rendimiento zootécnico de ajolotes en etapas postlarval a juvenil. Se empleó un diseño completamente al azar con seis tratamientos de espirulina (0–5 %) y tres repeticiones, utilizando una dieta estándar basada en harina de soya como grupo control. Se mantuvieron 200 ejemplares de 15 días post-eclosión (11.10 ± 0.8 mm; 12.3 ± 1.1 mg) durante 120 días bajo condiciones controladas de pH (7–8.5), oxígeno disuelto (8.5 mg/L) y temperatura (18–20 °C). Se evaluaron crecimiento, ganancia diaria de peso, tasa específica de crecimiento, índice de condición y consumo alimenticio. Los datos se analizaron mediante ANOVA y la prueba de Tukey (P < 0.05). Los resultados indicaron que la dieta con 4 % de espirulina optimizó talla, peso, ganancia de peso, tasa de crecimiento e índice de condición. En contraste, la dieta con 3 % mejoró significativamente el peso, mientras que la de 2 % redujo el consumo alimenticio. La supervivencia no mostró diferencias significativas. Se concluye que la suplementación con espirulina en dietas de *Artemia* spp. representa una alternativa viable para optimizar el crecimiento y la sobrevivencia del ajolote en programas de conservación bajo condiciones controladas.



**Palabras clave:** Alimento vivo, *Artemia* spp., conservación *ex situ*, dietas, nutrición.

## ABSTRACT

The Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*), endemic to Mexico and listed as critically endangered (IUCN, NOM-059-SEMARNAT-2010, CITES Appendix II), is facing habitat loss in Xochimilco, Mexico. Ex situ conservation requires effective nutritional strategies to optimize growth and survival. This study evaluated the effect of spirulina (*Arthrospira* spp.) supplementation in (*Artemia* spp.) based diets on the zootechnical performance of axolotls from postlarval to juvenile stages. A completely randomized design with six spirulina treatments (0–5 %) and three replicates per treatment was used, employing a standard diet based on soybean meal as the control group. Two hundred 15-day post-hatch specimens ( $11.10 \pm 0.8$  mm;  $12.3 \pm 1.1$  mg) were maintained for 120 days under controlled conditions of pH (7–8.5), dissolved oxygen (8.5 mg/L), and temperature (18–20 °C). Growth, daily weight gain, specific growth rate, condition index, and feed intake were evaluated. Data were analyzed using ANOVA and Tukey's test ( $P < 0.05$ ). The 4 % spirulina diet optimized size, weight, weight gain, growth rate, and condition index. The 3 % diet significantly improved weight, while the 2 % diet reduced feed intake. Survival was not significantly affected. In conclusion, spirulina supplementation in *Artemia* spp. diets represents a viable strategy to optimize growth and survival of axolotls in ex situ conservation programs under controlled conditions.

**Keywords:** Live food, *Artemia* spp, *ex situ*, conservation, diets, nutrition

---

## INTRODUCCIÓN

El interés en el uso de la espirulina como suplemento en la alimentación animal ha aumentado debido a su alta disponibilidad, elevado valor nutricional y versatilidad. El término "espirulina" se refiere al género *Arthrospira* spp., un grupo de cianobacterias verde-azuladas, filamentosas y multicelulares (anteriormente conocidas como algas verde-azules), que se reproducen mediante división celular por fisión binaria. Estas bacterias, también denominadas cianofíceas, habitan de forma natural en lagos alcalinos con altas concentraciones de sal (superiores a 30 g/L), pH elevado (8.5–11.0), temperaturas medias entre 25 y 35 °C y altos niveles de radiación solar (Belay, 2007). Gracias a su perfil nutricional, *Arthrospira* spp., es cultivada en sistemas acuáticos controlados que garantizan su calidad e inocuidad tanto para el consumo humano como para la alimentación animal en monogástricos y rumiantes (Ramírez-Moreno & Olvera-Ramírez, 2006; Tarazona-Díaz, 2018). Reconocida por su contenido en proteínas, ácidos grasos esenciales, vitaminas, minerales y pigmentos como la ficocianina, la espirulina fue declarada en 1996 por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como un "superalimento" con potencial para



combatir la desnutrición en poblaciones vulnerables de más de 70 países. En 2005, el Instituto Intergubernamental para el Uso de las Microalgas Alimenticias la destacó como una alternativa integral frente a la malnutrición aguda en emergencias humanitarias y como herramienta para el desarrollo sostenible (ONU, 2005; Moorhead et al., 2011). En México, su uso se remonta a tiempos prehispánicos, y actualmente continúa cultivándose en el Lago de Texcoco y en zonas cercanas al Valle de México. En el ámbito de la Acuicultura, la espirulina ha demostrado ser un aditivo funcional eficaz en la dieta de diversas especies acuáticas, mejorando parámetros de crecimiento, eficiencia alimenticia, respuesta inmunológica, resistencia a enfermedades y, en el caso de especies ornamentales, la coloración corporal. Además, representa una alternativa sustentable frente a ingredientes tradicionales como la harina de pescado, promoviendo prácticas acuícolas más responsables con el medio ambiente (Cruz-Aviña, et al., 2023). En este contexto, su aplicación se ha extendido al cultivo experimental de anfibios, como los ajolotes del género *Ambystoma*. En particular, el ajolote mexicano *Ambystoma mexicanum*, (Shaw & Nodder, 1798), es una especie neoténica obligada y endémica del sistema lacustre de Xochimilco, México. Ha sido ampliamente estudiado por su relevancia ecológica, biocultural y biomédica. Actualmente se encuentra enlistado como en Peligro de Extinción (P) según la NOM-059-SEMARNAT-2010 y en Peligro Crítico (CR) por la Lista Roja de la UICN, además de estar incluido en el Apéndice II de CITES (SEMARNAT, 2018). La degradación de su hábitat por urbanización, canalización, contaminación, pérdida de vegetación acuática y la introducción de especies invasoras como la carpa *Cyprinus carpio* y la tilapia *Oreochromis* spp. han sido identificadas como las principales amenazas para sus poblaciones silvestres (Zambrano et al., 2010; Martínez-Cruz et al., 2021). Ante este escenario, los programas de conservación *ex situ*, desarrollados por instituciones como los PIMVS, zoológicos y laboratorios universitarios, buscan preservar su diversidad genética y fomentar su reproducción en condiciones controladas. Dentro de estos esfuerzos, la nutrición desempeña un papel clave para garantizar la supervivencia, crecimiento y estado inmunológico de los ejemplares mantenidos en cautiverio (Griffiths et al., 2020; Tapia-González et al., 2022). La formulación de dietas balanceadas y sostenibles, que integren ingredientes funcionales como la espirulina, es esencial para mejorar el rendimiento zootécnico y apoyar la viabilidad a largo plazo de esta especie emblemática. En los programas de conservación *ex situ* de *A. mexicanum*, la alimentación desempeña un papel crucial para asegurar el crecimiento, la supervivencia y el bienestar de los ejemplares en cautiverio. Durante las etapas larvales, este anfibio se alimenta principalmente de zooplancton, incluyendo rotíferos, cladóceros y ostrácodos. Sin embargo, en condiciones controladas, el crustáceo braquiópodo *Artemia* spp. se ha consolidado como una fuente proteica viva ampliamente utilizada debido a su alta digestibilidad, valor nutricional y facilidad de cultivo. La neotenia, característica distintiva de *A. mexicanum*, consiste en la permanencia de rasgos larvales en individuos sexualmente maduros y es fundamental para su desarrollo, reproducción y conservación *ex situ*. Mantener este estado requiere un equilibrio endocrino delicado, principalmente en la regulación de hormonas tiroideas y factores de crecimiento. Algunos suplementos o aditivos alimenticios pueden alterar indirectamente este equilibrio hormonal, afectando la metamorfosis, el crecimiento o la reproducción. Por ello, la formulación de dietas enriquecidas debe considerar no solo los



beneficios nutricionales, sino también la preservación de la neotenia, asegurando que la suplementación no interfiera en los procesos fisiológicos esenciales de la especie. En contraste, los nauplios de *Artemia* spp. son especialmente adecuados para las primeras fases ontogénicas del ajolote, ya que su tamaño y movilidad estimulan el comportamiento de caza y favorecen la ingestión, (Cruz-Aviña et al., 2025). A pesar de sus ventajas, el uso exclusivo de *Artemia* spp. presenta desafíos significativos. Su cultivo requiere condiciones específicas y su mantenimiento continuo puede ser costoso y logísticamente complejo para muchas unidades de manejo de vida silvestre (PIMVS). Además, dietas basadas únicamente en *Artemia* spp. pueden no proporcionar todos los nutrientes esenciales necesarios para un desarrollo óptimo, lo que ha llevado a la exploración de suplementos o aditivos que potencien su valor nutricional. En este contexto, la espirulina ha emergido como un complemento prometedor en dietas para *A. mexicanum*, debido a su alta concentración de proteínas, vitaminas, minerales y antioxidantes, así como su impacto positivo documentado en diversas especies acuáticas. La integración de ingredientes funcionales como la espirulina en las dietas de (*A. mexicanum*) no solo mejora el rendimiento zootécnico, sino que también contribuye a prácticas de alimentación más sostenibles y responsables con el medio ambiente. Estas estrategias nutricionales son fundamentales para el éxito de los programas de conservación *ex-situ* y la preservación a largo plazo de esta especie emblemática. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la suplementación con espirulina *Arthrospira* spp. en dietas basadas en *Artemia* spp. sobre el crecimiento, consumo alimenticio y supervivencia de *A. mexicanum* en etapas de cría (de postlarva a juvenil) bajo condiciones controladas de laboratorio. Se buscó determinar la concentración óptima de espirulina que permita mejorar el rendimiento zootécnico y contribuir a estrategias nutricionales sostenibles que fortalezcan los programas de conservación *ex situ* de esta especie en peligro crítico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Obtención de la espirulina.-*

La cepa original de espirulina (*Arthrospira* spp.) fue aislada en la zona del antiguo lago de Texcoco, [Sosa Texcoco], México, con la colaboración de pescadores locales en 2021. Para el cultivo, se siguió un protocolo adaptado del método descrito por Moreira et al. (2010), modificando la composición del medio de cultivo para optimizar el crecimiento. El medio empleado contenía cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ,  $30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ,  $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), fertilizante agrícola NPK (17-17-17, Fertisquisa<sup>®</sup>,  $1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y superfosfato triple (TSP, Tepeyac<sup>®</sup>,  $0.1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Estas sales fueron molidas y disueltas en 10 litros de agua destilada dentro de un recipiente plástico, y luego se añadieron los fertilizantes, previamente pulverizados. La solución resultante fue oxigenada durante 24 horas utilizando una bomba de aire para acuario (modelo Elite 799<sup>®</sup>), después se dejó reposar, decantar y filtrar para su uso en los cultivos. Un inóculo inicial se preparó a partir de un cultivo activo de *Arthrospira* spp., mantenido en el Laboratorio de Conservación de Fauna Nativa de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (LCFN-FMVZ-BUAP). Se transfirieron 300 mL de este cultivo a un matraz Erlenmeyer



esterilizado de un litro, que fue incubado bajo condiciones controladas: iluminación aproximada de 1,000 lux, temperatura de  $28 \pm 2$  °C, pH entre 7 y 9, y concentración de OD 7-8  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . La mezcla se agitó manualmente una vez al día hasta alcanzar la densidad celular deseada (DO=680 nm), comparable a la del cultivo original. A continuación, el volumen se incrementó hasta 20 litros en un garrafón plástico. La biomasa obtenida se recolectó por decantación sobre papel filtro y se secó a temperatura ambiente (alrededor de 20 °C). Finalmente, el material seco fue almacenado a 5 °C para preservar su calidad hasta su uso posterior.

#### *Obtención de Artemia spp.-*

El cultivo de *Artemia* spp. se realizó con éxito empleando una eclosionadora casera elaborada a partir de una botella de PET invertida, equipada con válvula inferior para facilitar la cosecha. El sistema fue conectado a una bomba de aire [Elite 900] con una roca difusora, lo que permitió mantener una aireación constante y homogénea durante todo el proceso, favoreciendo tanto la oxigenación del agua como la suspensión continua de los quistes marca DECAEMIA<sup>®</sup>, sin cascara bolsa con 40 g). La salinidad del medio se ajustó a 30 g/L, utilizando sal de mina adquirida en 2021 a la empresa Sosa Texcoco. Esta se disolvió previamente en agua deionada para garantizar la calidad del medio. La temperatura se mantuvo entre 27-29 °C, pH osciló entre 7.8-8.2 y OD 5  $\text{mg L}^{-1}$ . La tasa de eclosión observada a las 24 horas fue del 85%, obteniéndose nauplios viables, móviles y con un tamaño promedio de  $430 \pm 15$   $\mu\text{m}$ . A partir del tercer día post-eclosión, los organismos fueron alimentados con levadura comercial y espirulina rehidratada, alcanzando una longitud promedio de  $8.2 \pm 0.4$  mm al séptimo día de cultivo. La supervivencia general durante el cultivo fue del 75 al 80%. Este sistema casero resultó eficiente para la producción continua de *Artemia* spp., proporcionando un recurso nutricionalmente adecuado como alimento vivo para juveniles de *A. mexicanum*.

#### *Diseño experimental.-*

Cada individuo se alojó en tinas plásticas de 10 galones (aproximadamente 40 litros), considerando a cada ajolote como una unidad experimental (UE).

Se establecieron seis tratamientos (Tx) con base en el porcentaje de inclusión de *Arthrospira* spp. en dietas a base de *Artemia* spp. enriquecida y harina de soya como complemento vegetal. Los tratamientos fueron: Tx1 (control, 0% espirulina), Tx2 (1%), Tx3 (2%), Tx4 (3%), Tx5 (4%) y Tx6 (5%). Cada tratamiento contó con tres repeticiones (total n = 18). La composición aproximada de cada dieta se muestra en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Composición aproximada de las dietas experimentales para ajolotes juveniles de *A. mexicanum* con diferentes niveles de inclusión de espirulina en *Artemia* spp. Los porcentajes (%) corresponden a la proporción

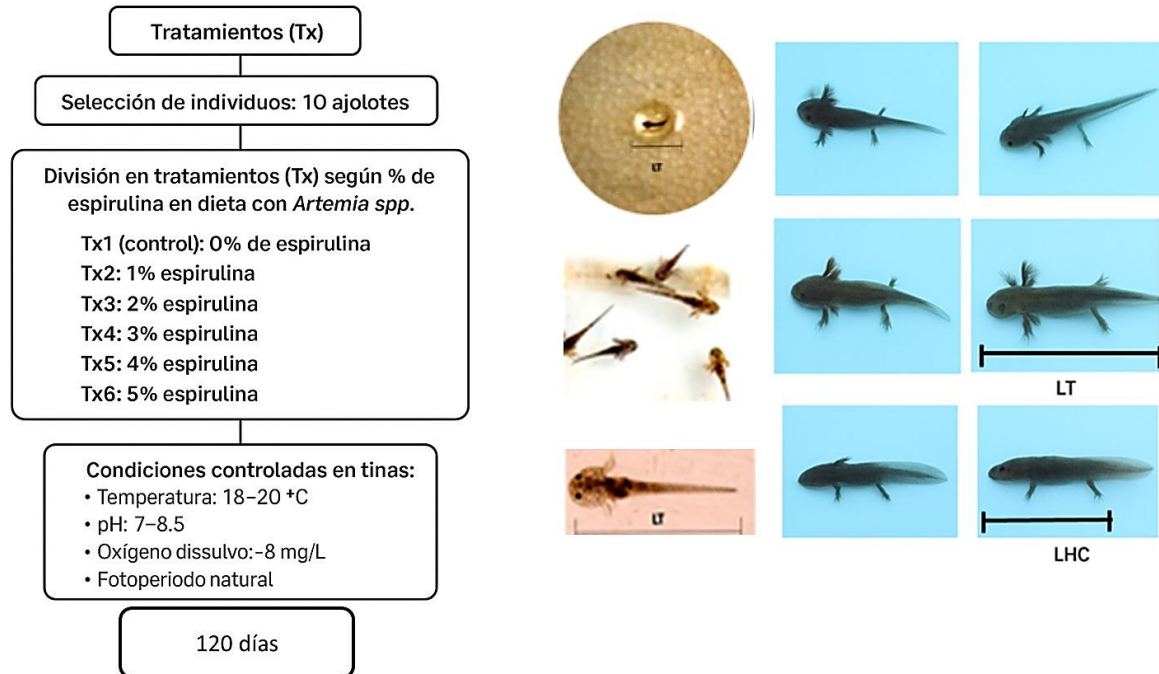


de	ingredientes	sobre	el	total	de	la	dieta	fresca.
Tratamiento	<i>Artemia</i> spp. (%)	Espirulina (%)	Harina de soya (%)	Proteína bruta (%)	Lípidos (%)	Carbohidratos (%)	Cenizas (%)	Energía (kcal/100g)
Tx1 (0%)*	95	0	5	52	13	20	8	420
Tx2 (1%)	94	1	5	53	14	19	8	425
Tx3 (2%)	93	2	5	54	14	18	8	430
Tx4 (3%)	92	3	5	55	15	17	8	435
Tx5 (4%)	91	4	5	56	15	16	8	440
Tx6 (5%)	90	5	5	57	16	15	8	445

**\* Control**

Los valores de proteína, lípidos, carbohidratos y cenizas se estimaron a partir de datos reportados de Atwater en la literatura energía metabolizable fue calculada con base en los factores (Lavens & Sorgeloos, 1996; Habib et al., 2008; NRC, 2011).

Po su parte, las tinas se mantuvieron en condiciones controladas de temperatura (18–20 °C), pH (7–8.5), oxígeno disuelto (~8.5 mg/L) y fotoperiodo natural. La alimentación se suministró manualmente dos veces al día (mañana y tarde), ajustando la cantidad ofrecida al 5% del peso corporal, con actualizaciones semanales según la ganancia de peso registrada. El periodo experimental tuvo una duración de 120 días. En la **Figura 1** se muestra el diseño experimental general y el rendimiento zootécnico obtenido para cada tratamiento.



**Figura 1.-** Tren de pruebas del diseño experimental general y el rendimiento zootécnico obtenido para cada tratamiento con espirulina en los ejemplares de *A. mexicanum*, Propio, 2025.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto de seis tratamientos (Control y 1–5% de espirulina) sobre variables zootécnicas de *Ambystoma mexicanum* durante 120 días mostró diferencias significativas en la mayoría de los parámetros evaluados (ANOVA,  $P = 0.031–0.047$ ; Tukey).

### *Crecimiento en longitud y peso*

Los tratamientos con 3%, 4% y 5% de espirulina presentaron longitudes totales significativamente mayores ( $14.03 \pm 0.23$  mm;  $P = 0.038$ ), en comparación con el control ( $6.00 \pm 0.23$  mm). De forma similar, el peso final aumentó progresivamente con la suplementación, alcanzando el máximo en el tratamiento 5% ( $40.30 \pm 1.67$  mg;  $P = 0.041$ ). Estos resultados evidencian un efecto dosis–respuesta positivo de la espirulina en el crecimiento.

### *Crecimiento Longitud hocico–cloaca (LHC)*



La LHC final fue significativamente mayor en los tratamientos de 3–5% (11.00–12.00 cm) respecto al control ( $3.30 \pm 0.01$  cm;  $P = 0.044$ ).

#### *Ganancia diaria de peso (GDP) y tasa específica de crecimiento (TEC)*

Se registró un incremento progresivo de la GDP conforme se aumentó la espirulina en la dieta, con el valor más alto en 5% ( $0.2508 \pm 0.01$  mg/día) frente al control ( $0.083 \pm 0.01$  mg/día;  $P = 0.031$ ). La TEC mostró una tendencia similar, alcanzando  $0.0223$  mg/mg/día en el tratamiento 5% frente a  $0.00083$  mg/mg/día en el control ( $P = 0.034$ ).

#### *Consumo y eficiencia alimenticia*

El consumo de alimento fue mayor en los tratamientos con 4–5% (máximo en 5%:  $121.03 \pm 0.75$  mg;  $P = 0.042$ ). El factor de conversión alimenticia (FCA) fue más bajo y eficiente en 3% ( $4.19 \pm 0.28$ ) y 5% ( $4.01 \pm 0.28$ ), en contraste con el control ( $P = 0.047$ ).

#### *Supervivencia*

La supervivencia alcanzó el 100% en todos los tratamientos con 2–5% de espirulina, mientras que en el control y el tratamiento con 1% fue del 75% ( $P = 0.035$ ), lo que sugiere un efecto protector.

#### *Análisis fisiológico de los efectos de la espirulina*

El mejor desempeño de los ajolotes suplementados con espirulina puede explicarse por la acción combinada de sus compuestos bioactivos: **Ficocianina:** pigmento proteico con fuerte actividad antioxidante y antiinflamatoria. Puede reducir el estrés oxidativo en tejidos en crecimiento, favoreciendo el metabolismo energético y la síntesis de proteínas (Holman & Malau-Aduli, 2013). Además, actúa como inmunoestimulante, lo que podría explicar la mayor supervivencia observada. **Aminoácidos esenciales y péptidos:** la espirulina es rica en lisina, metionina y fenilalanina, fundamentales para la síntesis de enzimas y hormonas anabólicas. Esto facilita la hipertrofia muscular y el crecimiento somático en etapas juveniles (Amar et al., 2001). **Vitaminas del complejo B (B1, B2, B6, B12) y vitamina E:** actúan como cofactores en rutas metabólicas (glucólisis, ciclo de Krebs, síntesis de ácidos nucleicos). Su presencia optimiza la conversión energética del alimento, explicando el menor FCA registrado en los tratamientos 3–5%. **Ácidos grasos esenciales y carotenoides:** incrementan la biodisponibilidad de energía y mejoran la integridad de membranas celulares, lo cual puede traducirse en mayor tolerancia a condiciones de laboratorio y mejor crecimiento. En conjunto, la espirulina actúa no solo como fuente proteica, sino también como modulador metabólico e inmunológico, lo que favorece simultáneamente crecimiento y supervivencia en *A. mexicanum*.



Estos hallazgos coinciden con estudios en peces y otros anfibios, donde la suplementación con espirulina incrementa la ganancia de peso, la eficiencia alimenticia y la resistencia inmunológica (Putra et al., 2022; Ahmad et al., 2023; Escobar-Ramírez et al., 2022) ver **Figura 2**.

Durante los 120 días de evaluación, se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en los parámetros productivos de (*A. mexicanum*) bajo el efecto de diferentes porcentajes de espirulina (*Arthrospira* spp.) en su proteína (*Artemia* spp.). El tratamiento con el (5% ) de espirulina registró el mayor peso final ( $40.30 \pm 1.67$  mg), seguido por los tratamientos con 3% ( $38.60 \pm 1.67$  mg) y 4% ( $35.78 \pm 1.67$  mg). El grupo control (sin espirulina) presentó el menor valor ( $11.00 \pm 1.67$  mg). En cuanto a la longitud total final (LT), los tratamientos con (3%, 4% y 5%) mostraron los valores más altos ( $15.00 \pm 0.23$  mm;  $14.03 \pm 0.23$  mm;  $14.03 \pm 0.23$  mm, respectivamente), en contraste con el grupo control ( $6.00 \pm 0.23$  mm). La longitud hocico-cloaca (LHC) también fue significativamente mayor en los tratamientos 3% y 5% ( $12.00 \pm 0.01$  cm), mientras que el grupo control registró el valor más bajo ( $3.30 \pm 0.01$  cm). La ganancia diaria de peso (GDP) se incrementó progresivamente con el aumento del nivel de espirulina, con el valor más alto en el tratamiento con 5% ( $0.2508 \pm 0.01$  mg/día), seguido por el tratamiento con 4% ( $0.2082 \pm 0.01$  mg/día). La tasa específica de crecimiento (TEC) fue mayor en los tratamientos con 5% ( $0.0223 \pm 0.01$  mg/mg/día) y 4% ( $0.0206 \pm 0.01$  mg/mg/día), en comparación con el grupo control ( $0.00083 \pm 0.01$  mg/mg/día). El consumo de alimento (CON) aumentó conforme al nivel de espirulina, alcanzando su máximo en el tratamiento con 5% ( $121.03 \pm 0.75$  mg). En cuanto al factor de conversión alimenticia (FCA), se observó una disminución significativa en los tratamientos con niveles altos de espirulina, destacando el tratamiento con 5% con el menor FCA ( $4.01 \pm 0.28$ ), lo que indica mayor eficiencia. La supervivencia fue del 100% en los tratamientos del 2% al 5%, mientras que los tratamientos control y 1% mostraron una supervivencia del 75%, como se puede apreciar en la **Tabla II**.

**Tabla II.** Parámetros productivos de *Ambystoma mexicanum* (n=200), bajo el efecto de los diferentes niveles de espirulina (*Arthrospira* spp). *Elaboración propia, 2025.*

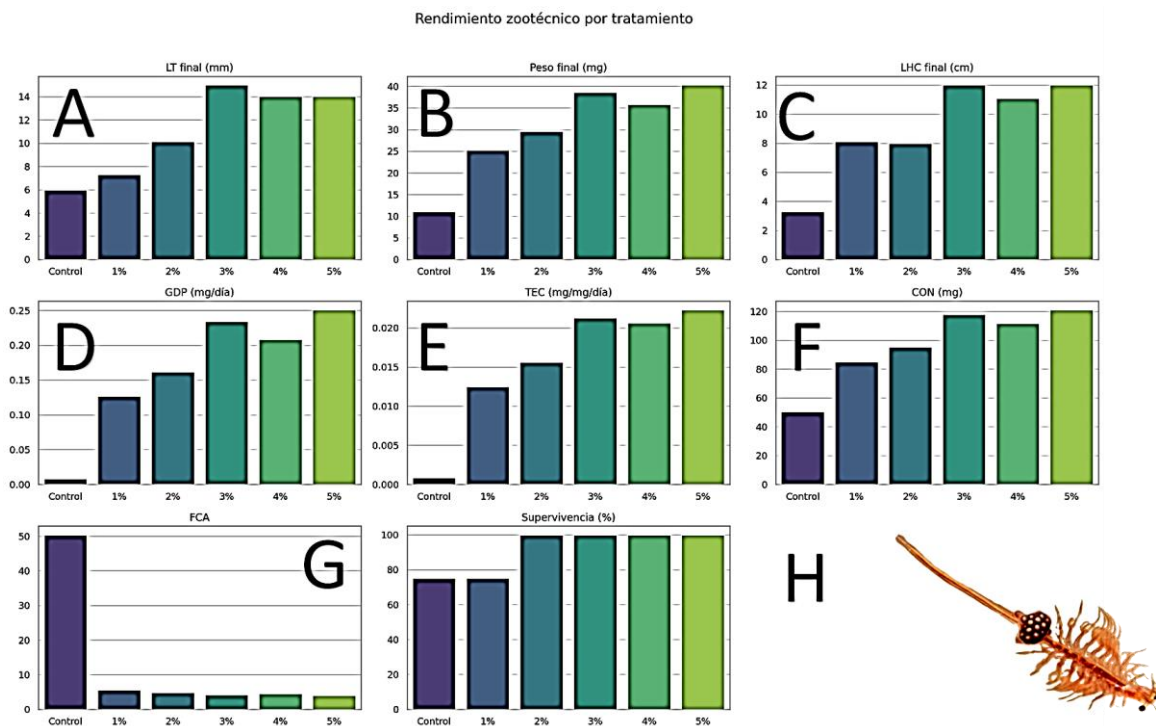
Tratamiento (Tx)	LT final (mm)	Peso final (mg)	LHC final (cm)	GDP (mg/día)	TEC (mg/mg/día)	CON (mg)	FCA	Supervivencia (%)
Control HS	$6.00 \pm 0.23^c$	$11.00 \pm 1.67^d$	$3.30 \pm 0.01^d$	$0.0083 \pm 0.01^c$	$0.00083 \pm 0.01^c$	$50.4 \pm 0.75^e$	$50.4 \pm 0.28^a$	75
1%	$7.30 \pm 0.23^c$	$25.30 \pm 1.67^c$	$8.10 \pm 0.01^c$	$0.1267 \pm 0.01^b$	$0.0125 \pm 0.01^b$	$84.96 \pm 0.75^d$	$5.59 \pm 0.28^a$	75
2%	$10.11 \pm 0.23^b$	$29.55 \pm 1.67^c$	$8.00 \pm 0.01^c$	$0.1620 \pm 0.01^b$	$0.0156 \pm 0.01^b$	<b><math>95.18 \pm 0.75^c</math></b>	$4.90 \pm 0.28^b$	100
3%	<b><math>15.00 \pm 0.23^a</math></b>	<b><math>38.60 \pm 1.67^{ab}</math></b>	<b><math>12.00 \pm 0.01^a</math></b>	<b><math>0.2342 \pm 0.01^{ab}</math></b>	<b><math>0.0213 \pm 0.01^a</math></b>	<b><math>117.84 \pm 0.75^b</math></b>	<b><math>4.19 \pm 0.28^c</math></b>	100
4%	<b><math>14.03 \pm 0.23^a</math></b>	$35.78 \pm 1.67^b$	<b><math>11.08 \pm 0.01^b</math></b>	<b><math>0.2082 \pm 0.01^a</math></b>	<b><math>0.0206 \pm 0.01^a</math></b>	$111.79 \pm 0.75^b$	$4.48 \pm 0.28^c$	100
5%	$14.03 \pm 0.23^a$	<b><math>40.30 \pm 1.67^a</math></b>	<b><math>12.00 \pm 0.01^a</math></b>	<b><math>0.2508 \pm 0.01^a</math></b>	<b><math>0.0223 \pm 0.01^a</math></b>	<b><math>121.03 \pm 0.75^a</math></b>	<b><math>4.01 \pm 0.28^c</math></b>	100

Nota: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (ANOVA, prueba de Tukey,  $P < 0.05$ ).

N= Número de ajolotes por Tratamiento (n=10) Nt (200 organismos), P=Peso, LT= Longitud Total, LHC= Longitud Hocico-Cloaca, GDP=Ganancia Diania de Peso, TEC= Tasa Especifica de Crecimiento, CON= Consumo Alimenticio, FCA=Factor de Conversión Alimenticia, S= Supervivencia. .



Estos resultados coinciden con lo reportado en otras especies acuáticas. En *Osphronemus goramy*, la inclusión de 5% de *Spirulina platensis* mejoró significativamente la ganancia de peso, la tasa de crecimiento específico y la conversión alimenticia (Putra et al., 2022). De manera similar, en *Heteropneustes fossilis*, una dieta suplementada con 5% de espirulina mejoró los índices de crecimiento y la resistencia inmunológica (Ahmad et al., 2023). En ajolotes *A. mexicanum*, Escobar-Ramírez et al. (2022) reportaron mejoras en el crecimiento y la pigmentación con el uso de dietas enriquecidas con microalgas, incluyendo *Spirulina*, lo cual respalda nuestros hallazgos. La suplementación con espirulina no solo parece mejorar el crecimiento y la eficiencia alimenticia, sino también influir positivamente en la supervivencia, lo que podría estar relacionado con su contenido en antioxidantes, ácidos grasos esenciales y compuestos inmunoestimulantes (Belay, 2002; Holman & Malau-Aduli, 2013). No obstante, es importante continuar evaluando los efectos de dosis mayores y sus posibles límites fisiológicos o metabólicos, ver **Figura 2**.



**Figura 2.** Rendimiento zootécnico de ajolotes juveniles *A. mexicanum*, alimentados con dietas de *Artemia* spp. enriquecida con diferentes niveles de espirulina (1–5%), comparados con un grupo control. En general, la inclusión de espirulina mejoró las variables de crecimiento, consumo, eficiencia alimenticia y supervivencia, con los mejores resultados entre 3% y 5%, *Propio*, 2025



No obstante, futuras investigaciones deben profundizar en el análisis de perfil lipídico, retención de nutrientes y respuesta inmunológica para establecer las dosis óptimas en distintas fases de crecimiento. La suplementación con espirulina en la dieta de *A. mexicanum* mostró efecto positivo en el crecimiento y la supervivencia, con reducción significativa en el consumo de alimento en dosis del 1% y con aumento en el peso, la ganancia diaria de peso (GDP) y la tasa específica de crecimiento (TEC) con la inclusión del 2% durante un período de 120 días. Dado que los nauplios de *Artemia* spp. son la principal fuente de alimento en la cría a nivel de laboratorio de esta especie, la suplementación con *Arthrospira* spp. podría representar una estrategia viable para optimizar su calidad nutricional y reducir costos. Se recomienda continuar evaluando los efectos de este aditivo en la dieta para mejorar su eficiencia en la alimentación de *A. mexicanum* en programas de conservación *ex situ*. Diversos estudios han demostrado que la suplementación de *Artemia* spp. con microalgas como la espirulina *Arthrospira* spp. mejora significativamente el perfil nutricional de este alimento vivo, incrementando su contenido proteico, de ácidos grasos esenciales, carotenoides, vitaminas y minerales (Amar et al., 2001; Tizkar et al., 2013). Esta sinergia resulta particularmente valiosa en fases tempranas de desarrollo de organismos acuáticos, donde la biodisponibilidad de nutrientes es crítica para el crecimiento, la inmunocompetencia y la supervivencia. En el caso de la acuicultura de anfibios como En *A. mexicanum*, la suplementación de *Artemia* spp. con espirulina representa una estrategia prometedora para mejorar los resultados zootécnicos en condiciones de laboratorio. Esta combinación incrementa el valor nutricional del alimento y actúa como vehículo de compuestos bioactivos con efectos antioxidantes e inmunoestimulantes (García-Ortega et al., 2022; Mahdavi et al., 2020). La alta digestibilidad de la espirulina y su contenido en ficobiliproteínas, ficocianina y vitaminas del complejo B pueden compensar las limitaciones nutricionales de *Artemia* en ciertas etapas de desarrollo larval, favoreciendo un crecimiento más eficiente y un estado de salud óptimo. Por tanto, su inclusión en dietas enriquecidas constituye una estrategia nutricional efectiva para programas de conservación *ex situ* del ajolote mexicano.

## CONCLUSIÓN

Los resultados muestran que la adición de espirulina en la dieta mejora significativamente el crecimiento, la eficiencia alimenticia y la supervivencia de *A. mexicanum*, con efectos más pronunciados a partir del 3% de inclusión. Los tratamientos con 4% y 5% de espirulina son los más efectivos en todas las variables evaluadas, sin comprometer la supervivencia

**CONFLICTO DE INTERESES.** Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses potencial con respecto a la autoría y/o publicación de este artículo

**CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES.** JRCA concibió el estudio y escribió el manuscrito. HIJC y ACA contribuyeron con el desempeño práctico del estudio y supervisaron las etapas del estudio, MGTA contribuyó con material y resultados prácticos en



el laboratorio para esta investigación, HCG participó en dar revisiones estadísticas y críticas a la versión final del manuscrito.

**RECONOCIMIENTOS** Esta investigación fue apoyada por el Laboratorio de Medicina de la Conservación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia “Dr. Gustavo Casas Andreu” de la FMVZ-BUAP y forma parte del proyecto “Conservación de fauna nativa en Áreas Naturales de Puebla, resiliencia y patrimonio biocultural ante el cambio climático”. El primer autor agradece a l@s alumn@s Nadia Sánchez Sánchez, María Guadalupe Cinto Tochomi y Rubén Torija Luna estudiantes de servicio social, por su invaluable ayuda en este experimento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-López, J. L., López Sánchez, J., & Villar, S. C. (2013). Axolotl, letra por letra. *Ciencia*, 64(2), 78–83.
- Ahmad, I., Shahid, M., Riaz, M., & Shabbir, S. (2023). The dietary inclusion of *Spirulina platensis* enhances growth performance, hematological parameters, and disease resistance in *Heteropneustes fossilis*. *Aquaculture Reports*, 32, 101478. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101478>
- American Public Health Association APHA (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). Washington, DC: American Public Health Association.
- Amar, E. C., Kiron, V., Satoh, S., Watanabe, T. (2001). Enhancement of innate immunity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) associated with dietary intake of carotenoids from natural sources. *Fish & Shellfish Immunology*, 11(3), 199–209. <https://doi.org/10.1006/fsim.2000.0304>
- Arcos-García, J. L., Reynoso, V. H., Mendoza, M. G. D., Clemente, F. S., Tarango, A. L. A., & Crosby, G. M. M. (2005). Efecto del tipo de dieta y temperatura sobre el crecimiento y eficiencia alimenticia de iguana negra (*Ctenosaura pectinata*). *Revista Científica FCV-LUZ*, 15(4), 338–344.
- Belay, A. (2007). *Spirulina (Arthrospira)*: Production and quality assurance. En A. Belay & Y. Ota (Eds.), *Spirulina in human nutrition and health* (pp. 15–40). CRC Press.
- Belay, A. (2002). The potential application of *Spirulina (Arthrospira)* as a nutritional and therapeutic supplement in health management. *Journal of the American Nutraceutical Association*, 5(2), 27–48.
- Cheong, S. H., Kim, M. Y., Sok, D. E., Hwang, S. Y., Kim, J. H., Kim, H. R., ... & Kim, M. R. (2010). *Spirulina* prevents atherosclerosis by reducing hypercholesterolemia in rabbits fed a high-cholesterol diet. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 56(1), 34–40.
- Cruz-Aviña, J. R., Sánchez, N., Tenorio-Arvide M., Valencia, R., & Sánchez-Alarcón, J. (2025). Evaluación de levadura como suplemento en (*Ambystoma velasci*, Dugés 1888) para optimizar su crecimiento y conservación. *Revista de Investigación en*



- Ciencia y Biotecnología Animal*, 2, 12–19.  
<https://doi.org/10.10122/RCVB.2025751292>
- Cruz-Aviña J. R., Herrera-Corichi F. J., Utrera-Quintana F.1, Díaz-Larrea J., Cabrera-García R. (2023). Uso de simbióticos en acuicultura, experiencias en Puebla, México. *MIX TEC*, 3(5): 45-59. Recuperado de: <http://mixtec.utim.edu.mx/articulosv6/articulo04.pdf> .
- Escobar-Ramírez, C., Rivera, F., & Mendoza-Salazar, M. (2022). Efecto de microalgas en la alimentación de ajolotes (*Ambystoma mexicanum*). *Revista de Acuicultura Experimental*, 14(1), 21–29.
- García-Ortega, A., Verreth, J. A. J., Coutteau, P., Sorgeloos, P., Segner, H. (2022). The use of enriched *Artemia* in larviculture: a review of nutritional enhancement strategies and prospects. *Aquaculture Research*, 53(1), 50–64. <https://doi.org/10.1111/are.15563>
- Griffiths, R. A., Pavajeau, L., & García-Paredes, I. (2020). Captive breeding and the conservation of amphibians. *Conservation Biology*, 34(3), 672–681. <https://doi.org/10.1111/cobi.13475>
- Geng, Y., Wang, Y., Sun, J., Liu, T. (2020). Effects of dietary supplementation with spirulina (*Arthrospira platensis*) on growth performance, pigmentation, and antioxidant capacity in ornamental fish (*Carassius auratus*). *Aquaculture Reports*, 17, 100356. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100356>
- Habib, M. A. B., Parvin, M., Huntington, T. C., & Hasan, M. R. (2008). *A review on culture, production, and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish*. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1034
- Holman, B. W. B., & Malau-Aduli, A. E. O. (2013). Spirulina as a livestock supplement and animal feed. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 97(4), 615–623. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2012.01328.x>
- Jiménez, O., Cruz-Aviña, J. R., Arzate, E., Figueroa, G., & Casas, G. (2017). Conservación ex-situ de poblaciones en riesgo de ajolotes (*Ambystoma* spp.) del Estado de Puebla, México. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 8(18), 1–10.
- Kiron, V., Satoh, S., Takeuchi, T., Watanabe, T. (2012). Role of dietary supplements and probiotics in aquaculture: health benefits and applications. *Aquaculture Nutrition*, 18(3), 219–237. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00895.x>
- Lara-Flores, M., Olvera-Novoa, M. A., Guzmán-Méndez, B. E., & López-Madrid, W. (2010). Use of probiotic bacteria in tilapia (*Oreochromis niloticus*) and catfish (*Ictalurus punctatus*) aquaculture: A review. *African Journal of Microbiology Research*, 4(18), 1875–1883.
- Luna-Figueroa, J., Vargas, Z. T. de J., & Figueroa, J. T. (2010). Alimento vivo como alternativa en la dieta de larvas y juveniles de *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein, 1823). *Avances en Investigación Agropecuaria*, 14, 63–72. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83715746005>
- Mahdavi, M., Hoseinifar, S. H., Aghaei, H., Yeganeh, S., Raeisi, M., Safari, R. (2020). Spirulina (*Arthrospira platensis*) supplementation improves growth performance, innate immune responses, and mucosal barrier function in juvenile common carp



- (*Cyprinus carpio*). *Fish & Shellfish Immunology*, 98, 387–393.  
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.12.009>
- Mahran, R. E., Razek, T., & SM, M. (2024). Phycoremediation of greywater using *Spirulina platensis* and the potential applications of the produced biomass. *Journal of Environmental Science*, 53(12), 3277–3303.
- Martínez-Cruz, O., Prieto-Ramírez, A., & Barba, E. (2021). El ajolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*): conservación en Xochimilco y estrategias ex situ. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92, e923193. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3193>
- Mena, A., & Servín, J. (2014). Manejo y calidad del agua en la cría de *Ambystoma velasci*. *Revista Mexicana de Herpetología*, 2(1), 45–56.
- Mena-González, H., & Servín-Zamora, E. (2014). *Manual básico para el cuidado en cautiverio del axolote de Xochimilco (Ambystoma mexicanum)*. Laboratorio de Restauración Ecológica, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://doi.org/978-607-025513-7>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2005). *La utilización de microalgas alimenticias contra la malnutrición aguda en las emergencias humanitarias y para el desarrollo sostenible*. Naciones Unidas, Treaty Series, vol. 2151, No. 37542.
- Putra, R. E., Nugroho, A., & Syakti, A. D. (2022). Effect of *Spirulina platensis* on growth performance and feed utilization in giant gourami (*Osphronemus goramy*). *Journal of Scientific Research and Reports*, 28(4), 26–36.  
<https://doi.org/10.9734/jsrr/2022/v28i430522>
- Ramírez-Moreno, L., & Olvera-Ramírez, R. (2006). Uso tradicional y actual de *Spirulina* sp.(*Arthrospira* sp.). *Interciencia*, 31(9), 657-663.
- Ringø, E., Olsen, R. E., Jensen, I., Romero, J., & Lauzon, H. L. (2012). Application of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) in aquaculture: A review. *Aquaculture*, 342–343, 1–14.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.03.002>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2018). *Programa de Acción para la Conservación de las Especies Ambystoma spp*, SEMARNAT/CONANP, México (Año de edición 2018).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación.
- Suárez-Machín, C., & Guevara-Rodríguez, C. A. (2017). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* en la alimentación de rumiantes: Revisión bibliográfica. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 51(2), 21–30.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223154251004>
- Tapia-González, J. M., León-Reyes, C., & Rodríguez-Mendoza, M. (2022). Evaluación de dietas alternativas para ajolotes (*Ambystoma mexicanum*) en cautiverio: implicaciones para su conservación. *Zoo Biology*, 41(4), 320–329.  
<https://doi.org/10.1002/zoo.21639>



- Tizkar, B., Yeganeh, S., Falahatkar, B., Gisbert, E. (2013). Effects of enrichment of *Artemia* nauplii with different microalgae on growth, survival, and biochemical composition of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) larvae. *Aquaculture Research*, 44(1), 54–66. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03002.x>
- Vázquez, A., Ramírez, L., & Torres, G. (2019). Parámetros óptimos de calidad del agua para la producción de *Ambystoma velasci*. *Journal of Aquatic Sciences*, 6(3), 112–125.
- Vázquez-Silva, G., Arana, M. F. C., López, A. K., Hernández, G. P. A., Mendoza, M. G. D., & Martínez, G. J. A. (2019). Efecto de la levadura de selenio en el crecimiento, supervivencia y potencial reproductivo de *Ambystoma mexicanum*. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6(Suplemento 2), 1521–1526.
- Wang, Y. B., Li, J. R., & Lin, J. (2019). Probiotics in aquaculture: Challenges and outlook. *Aquaculture Research*, 50(2), 685–694.
- Zambrano, L., Vega, E., Herrera, M., Prado, E., & Reynoso, V. H. (2010). A population matrix model and population viability analysis to predict the fate of endangered species in highly managed water systems. *Animal Conservation*, 13(5), 488–495. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2010.00366>.

Copyright: © 2025 Arnulfo Villanueva-Castillo. This is an open-access article published under the terms of the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited. Competing Interests: The authors have declared that no competing interests exist. Available Online First: 07 Oct 2025. Please cite this article as: Cruz-Aviña, J.R., Jiménez-Cortez H. I., Campos-García H., Cordero-Abrego A., Tenorio-Arvide M.G., Güizado-Rodríguez M. A. SUPLEMENTACIÓN NUTRICIONAL CON ESPIRULINA EN AJOLOTES: UNA ESTRATEGIA PARA MEJORAR EL CRECIMIENTO EN CAUTIVERIO Y APOYAR SU CONSERVACIÓN. *Revista Ciencia Veterinaria y Biotecnología*. Rev Cien Vet Bio 2025; 2 (2): 19-32. <https://doi.org/10.10122/RCVB.2025737180>