

Aplicación de una incubadora tipo vertical para la eclosión de ovas de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*): Análisis Económico y Técnico



Colaboración

María del Rocío Julián Cortes; Alan Antonio Rico Barragán; Yovani López González; Elizabeth Salazar Hernández; Neira Sánchez Zárte, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Fecha de recepción: 01 de febrero del 2023

Fecha de aceptación: 09 de noviembre del 2023

RESUMEN: La acuicultura es considerada como un área en crecimiento, aunque debido a la alta demanda es de suma importancia garantizar una producción constante y de calidad. Este artículo, propone el uso y aplicación de una incubadora vertical de ovas de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) para zonas rurales o pequeños productores. La evaluación técnica se desarrolló mediante un porcentaje de mortandad, mientras que la evaluación económica se analizó utilizando una simulación de Montecarlo. El índice de mortandad se redujo hasta un 20% menos comparado con el proceso convencional, además la evaluación económica mostró un costo más probable de \$2,319.72 pesos/unidad. Además, se pudo constatar que el uso de la incubadora después de 8 ciclos puede representar un ahorro en el proceso de obtención de las ovas. La aplicación de diseño vertical permite un fácil acceso a las ovas, además se puede tener un manejo independiente de cada nivel resultando en una alta incubabilidad.

PALABRAS CLAVE: *Oncorhynchus mykiss*, Simulación Montecarlo, Mortandad, Evaluación Técnica, Evaluación Económica.

ABSTRACT: Aquaculture is considered a growing area, but due to the high demand, it is essential to ensure constant and quality production. This article proposes using and applying a vertical incubator of rainbow trout eggs (*Oncorhynchus mykiss*). The technical evaluation was developed using a mortality rate, while the economic evaluation was analyzed using a Monte Carlo simulation. As a result, the mortality rate was reduced by up to 20% less than the conventional process. In addition, the economic evaluation showed a more likely cost of \$2,319.72 /unit. It was found that the use of the incubator after 8 cycles can represent savings in the process of obtaining the eggs. The innovative vertical design allows easy access to the eggs; it is worth mentioning so that you can have independent handling of each level and get a high hatchability and good quality.

KEYWORDS: *Oncorhynchus mykiss*, Montecarlo Simulation, Mortality, Technical Evaluation, Economic Evaluation.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura desempeña un papel importante en la seguridad alimentaria y nutricional para el sustento de millones de personas en el mundo, dado que al igual que la agricultura consigue una producción controlada de bienes alimenticios para mejorar el abastecimiento del consumo de proteína de la población. En México, la acuicultura es considerada como un área en crecimiento; debido a ser una alternativa productiva en poblaciones rurales con altos índices de pobreza y marginación. Diversas especies son utilizadas para lo anterior, como lo son, el camarón, la tilapia, el ostión, la carpa y la trucha. Sin embargo, debido a la alta demanda anual de las especies, es

fundamental garantizar la producción de alevines de calidad.

En la zona de Veracruz, el cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) es considerada como una de las actividades de menor impacto al medio natural, además que en diversas áreas del estado de Veracruz ya es considerada como una alternativa económica para las familias veracruzanas [1]. De acuerdo con la información del Sistema Producto Trucha del estado de Veracruz, al año en la entidad se producen 648 toneladas, lo que representa ganancias de 61 millones de pesos y la creación de mil 300 empleos directos y 650 indirectos. Veracruz cuenta con un censo aproximado de 250 productores de trucha, de los cuales la mitad se ubica en la región de Acajete, Xico, Coatepec y Tlalnelhuayocan, con una producción estimada de 200 toneladas de pescado al año. Sin embargo, la producción resulta insuficiente para la demanda de la región, ya que incluso se tienen que traer truchas de Puebla para hacer frente a las necesidades de los restaurantes de la zona [1].

Las condiciones de reproducción de la trucha *Oncorhynchus mykiss* son muy específicas, por ejemplo, necesita temperaturas promedio entre 9 a 17°C y con un buen nivel de oxigenación [2] pH de 6.7 a 7, nivel de Amonio de hasta 10 grs. Disuelto. Actualmente el mercado ofrece diferentes tipos de alevines con características muy adecuadas para el cultivo, aunque aumenta el costo de producción de la trucha *Oncorhynchus mykiss* [3]. La idea de una aplicación de una incubadora surge de la necesidad de disminuir el nivel de mortalidad de las ovas eclosionadas, de aumentar la eficiencia en el espacio disponible, en la disminución de la cantidad de agua necesaria para la eclosión de las ovas y en la mejora en el control de la reproducción de la especie. Su posible aplicación a productores rurales y de pequeña escala puede propiciar un beneficio económico, además de un nuevo modelo de incubadora tipo vertical puede significar disminuir las brechas tecnológicas que actualmente presentan los pequeños productores de trucha en el estado de Veracruz.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño y construcción de la incubadora vertical

Mediante una revisión de literatura de diversas incubadoras, se planteó un diseño tipo vertical, debido a la mayor eficiencia del espacio disponible, al uso eficiente del suministro del agua y a la seguridad para las ovas y alevines recién eclosionados. El diseño de la incubadora vertical consta de tres niveles (ver Figura 1), cada nivel con una dimensión de 60 cm x 60 cm, permitiendo la incubación de alrededor de 500 a 600 huevos por charola contenedora. El fluido entra por la parte superior y pasa a través de cada uno de los niveles, para finalmente llegar en las bandejas contenedoras inferiores. Posteriormente, el agua cae a un contenedor con un sistema de recirculación, donde es regresada a la charola inicial (1 m de altura).



Figura 1. Construcción de la Incubadora Vertical.
Fuente: Elaboración propia.

Evaluación del uso de la Incubadora

El análisis del uso de la incubadora se realizó en la granja acuícola “El Tepozán”, ubicada en el municipio de Altotonga, Veracruz, a una altura de 1872 m sobre el nivel del mar. Para la evaluación de la incubadora, se trabajó con una población de ovas provenientes de la misma granja. Durante la eclosión, se recomienda que las ovas se coloquen con no más de 2 capas de profundidad en cada bandeja, con un aproximado de 300 ovas por bandeja contenedora; debido a que no se realizaron pruebas de saturación de oxígeno, se optó por disminuir a un tercio de la capacidad inicial la densidad de carga de ovas; por lo que en cada una de las bandejas se colocaron 300 especímenes (55 ovas L-1 aproximadamente), teniendo un total una cantidad de 900 ovas (ver Figura 2). Debido a que la aplicación de la incubadora de ovas sea para pequeños productores que no cuentan con la economía para procesos con mayor rigor, ningún proceso de desinfección a los huevos fue aplicado. El agua utilizada no presentó ningún tratamiento de purificación.



Figura 2. Traslado de las ovas a la incubadora vertical para su eclosión.

Fuente: Elaboración propia.

Para la obtención del porcentaje de mortandad, se toma en cuenta el total de ovas eclosionadas y se dividió por el total de ovas embrionadas, multiplicándose el resultado por 100 (Ecuación 1).

$$\% \text{ Mortandad} = \frac{\text{Total de ovas eclosionadas}}{\text{Total de ovas embrionadas}} * 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Las características de una ova que ya murió, se puede definir a partir de su color, forma, flotabilidad, se tornan de un color café marrón y una consistencia costrosa que flota en la superficie del cuerpo de agua.

Evaluación económica

Los materiales necesarios para la construcción de la incubadora se describen en la Tabla 1. Se registró y compiló una lista de proveedores de los materiales utilizados como materia prima para evaluar su distribución en los precios. El costo fue registrado por la cantidad necesaria para la fabricación de la incubadora (ver Tabla 1). El valor de las materias primas se analizó entre junio-agosto 2022. La distribución de los precios de los materiales (triangular, exponencial y normal) se obtuvo mediante MINITAB 19™. Para tener en cuenta la variabilidad asociada con el precio de materias primas y el costo del equipo se aplicó una simulación Monte Carlo. Cada variable se introdujo con su distribución definida, antes obtenida, la simulación se realizó en 10 000 ensayos, mostrando la probabilidad de la distribución del costo de fabricación de la incubadora vertical.

Tabla 1. Materiales utilizados para la elaboración de la incubadora vertical.

Material	Cantidad	Material	Cantidad
Válvula de PVC 1/2"	5	Bomba de agua (3 m)	1
Charola de plástico	3	Tambo (40 L)	1
Brida 1/2"	4	Codo de PVC 90° de 1/2"	4
Brida 3/4"	3	Malla protectora	4
Manguera 1/2"	5 m	Adaptador macho 1/2"	10
Manguera 3/4"	3 m	Adaptador macho 3/4"	3
Niple galvanizado doble rosca 1/2"	3	Conexión T	6
Cinchos de plástico	1 paquete	Reductor bushing de 1 a 1/2"	2
Teflón	1	Tubo de PVC 1/2"	4 m
Tubo de PVC 3/4"	4 m	Abrazadera 1/2"	6
Abrazadera 3/4"	3		

RESULTADOS
Análisis Económico

Antes de realizar la simulación Monte Carlo, es necesario contar con las distribuciones de la materia prima para la fabricación de la incubadora vertical de *Oncorhynchus mykiss*. Mediante el software MINITAB 19™ e ingresando los costos de cada una de las variables se pudo obtener el tipo de distribución. La Figura 3 muestra el tipo de distribución normal (a) y exponencial (b) para la válvula de PVC de 1/2"; el parámetro de Anderson-Darling (AD) analiza si existe una relación entre los datos y una distribución específica, mientras mejor se ajuste la distribución a los datos, menor será el valor de AD.

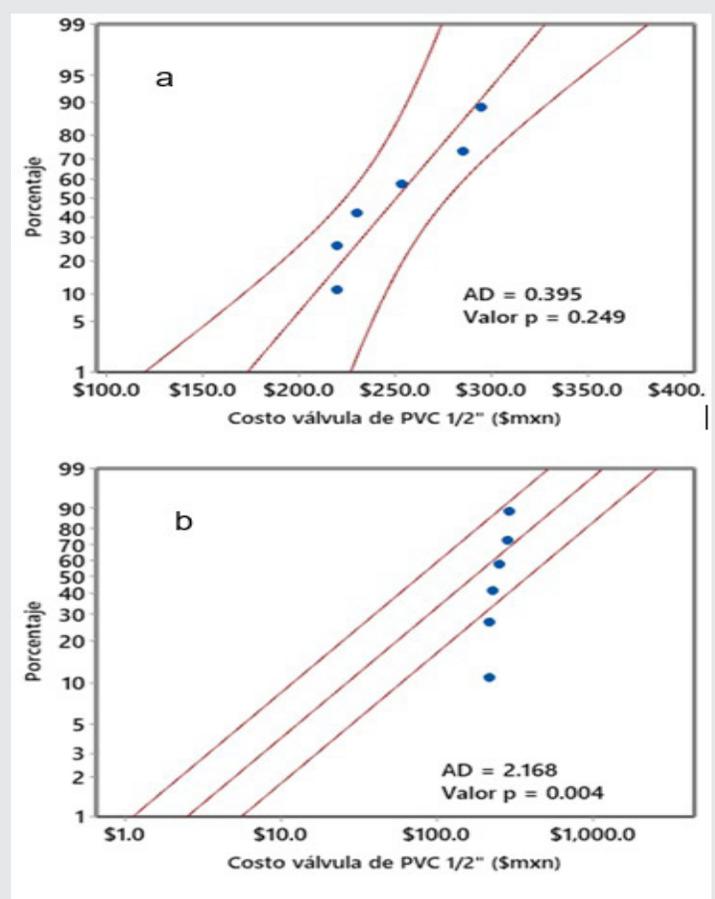


Figura 3. Gráfica de probabilidad a) Normal y b) Exponencial para válvula de PVC 1/2".

Fuente: Elaboración propia.

El valor correspondiente a una distribución normal presenta un valor más cercano a cero (AD = 0.395), caso contrario de la distribución tipo exponencial (AD = 2.168). Además de lo anterior, suponiendo un nivel de significancia $\alpha=0.05$, el valor de p (0.245) es mayor que el correspondiente valor de α , por lo que se confirma que los valores de costo de la válvula de PVC 1/2" provienen de una distribución tipo normal.

Cada uno de los materiales, su tipo de distribución y sus valores se resumen en la Tabla 2. El mayor porcentaje de la materia prima (17) para la fabricación

de la incubadora, siguen una distribución normal, mientras que el restante (4) se ajustan a una distribución tipo triangular. Una vez obtenido todas las distribuciones es posible obtener el costo más probable, para este caso no se tomó en cuenta el gasto energético utilizado por la bomba de agua debido a que puede ser considerado como despreciable por la cantidad de energía utilizada.

Tabla 2. Distribuciones de materia prima para la generación de la incubadora vertical

Material	Distribución	Media	Desviación Standard	
Válvula de PVC 1/2"	Normal	243.7	31.89	
Charola de plástico		114	6.70	
Manguera 1/2"		65.6	8.24	
Manguera 3/4"		61.7	6.64	
Niple galvanizado doble rosca 1/2"		123	8.74	
Bomba de agua		565.4	32.85	
Tambo de 40 L		130.8	8.60	
Codo de PVC 90° de 1/2"		38	8.94	
Malla protectora		46.3	7.77	
Adaptador macho 1/2"		101.8	10.29	
Adaptador macho 3/4"		28.2	8.89	
Conexión T		38.4	6.84	
Cinchos de plástico		30	6.67	
Teflón		22	5.29	
Tubo de PVC 3/4"		78	6.63	
Abrazadera 3/4"	54.8	7.88		
Abrazadera 3/4"	26.1	8.58		
	Triangular	Máximo	Más Probable	Mínimo
Brida 1/2"		336	268	64
Brida 3/4"		144	73.1	48
Reductor bushing de 1 a 1/2"		174	112	92
Tubo de PVC 1/2"		140	100	48

Un criterio de gran importancia para la generación de nuevos productos/equipos es la parte económica; se utilizó la simulación Monte Carlo para evaluar el costo más probable de la fabricación de la incubadora teniendo en cuenta las distribuciones de los costos de los materiales necesarios. Los resultados de la simulación para la incubadora vertical se observan en la Figura 4.

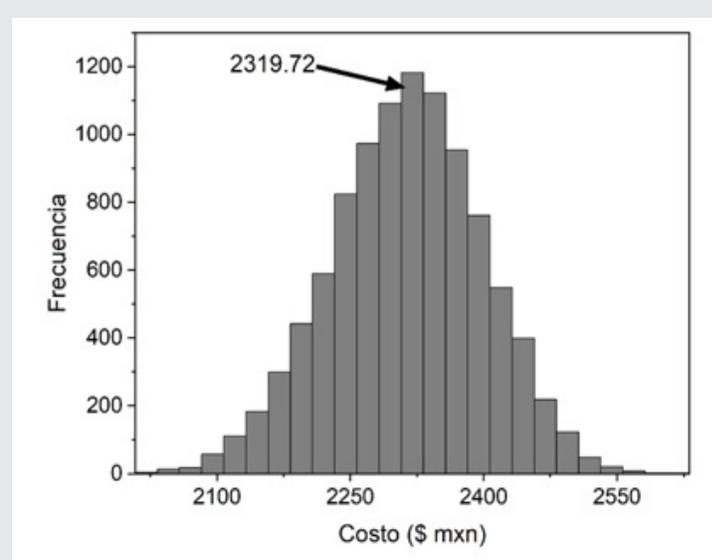


Figura 4. Resultados de salida de la simulación Monte Carlo para el costo (\$ MXN) más probable de la incubadora vertical de *Oncorhynchus mykiss*.

Fuente: Elaboración propia.

Un total de 10,000 simulaciones fueron utilizadas, como resultado los valores se encontraron entre \$2,020.40 y \$2619.05, con una frecuencia de 3 y 1 respectivamente (ver Figura 5). Los valores con mayor número de frecuencia fueron \$2,294.78 (1091), \$2,394.56 (1122) y \$2,319.72 (1183), por lo que, tomando en cuenta las variaciones en los precios de la materia prima el costo de la incubadora con más probabilidad de presentar es el de \$2,319.72.

Mortandad de Ovas

La aplicación de la incubadora vertical de ovas es con el objetivo de disminuir el porcentaje de mortalidad presentado en la granja. Los valores de mortalidad durante los años 2020-2021 y 2022 (uso de la incubadora) se presentan en la Figura 5. La mortalidad presentada en los años de 2020-2021 se dio sin uso de ninguna incubadora.

El uso de la incubadora vertical presentó una disminución del 20% en la mortalidad de las ovas de trucha *Oncorhynchus mykiss*, teniendo en consideración que se utilizaron alrededor de 900 ovas en el experimento, con lo que existe todavía una mortalidad de 40% (120 ovas). Aunque se siguen presentando un valor alto en la mortalidad, se redujo considerablemente a comparación de los años anteriores, considerando de igual manera que es un prototipo que todavía puede mejorar

en aspectos de diseño. Un aspecto importante para la reducción de la mortalidad es el grado de oxigenación, en este caso no se evaluó este parámetro, siendo necesario determinar el cambio de oxígeno disuelto conforme va avanzando la evaluación de la incubadora.

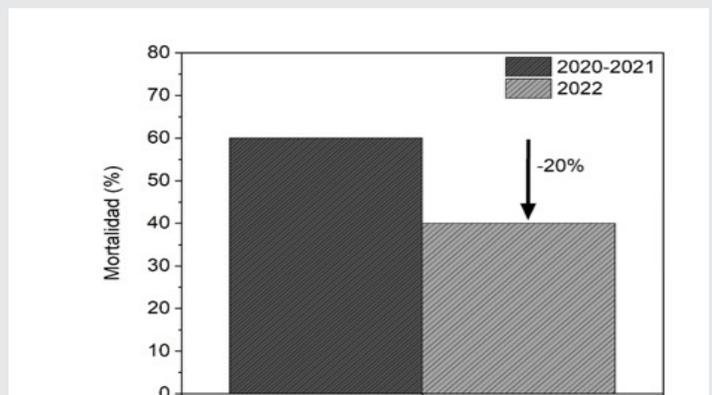


Figura 5. Mortandad de Ovas (%) en los años 2020-2021 y 2022. Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Mortandad de Ovas (%) en los años 2020-2021 y 2022. Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta el costo más probable y la reducción en la mortalidad de las ovas, se puede establecer un ahorro en función del uso de la incubadora vertical (Figura 6). En promedio cada ova cuesta alrededor de los \$5.00, por lo que una reducción de 20% representa alrededor de \$600 en ahorro.

Se puede observar que conforme aumenta las veces de utilización de la incubadora el ahorro aumenta, esto debido a que cada utilización de esta representa un %20 menos de mortalidad: a su cuarta vez de uso, el costo inicial de la incubadora (\$2,319.72) prácticamente ya fue eliminado por el ahorro obtenido. Después de 9 ciclos de utilización de la incubadora, el ahorro obtenido puede ser utilizado para generar una nueva incubadora, o en su caso para mantenimiento de la misma incubadora.

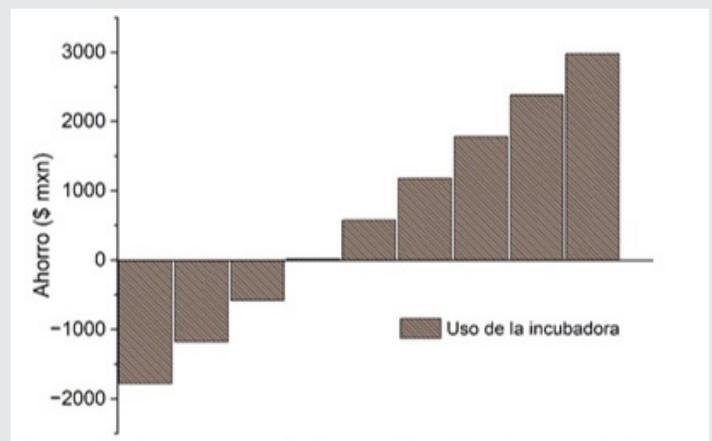


Figura 6. Ahorro económico en función del uso de la incubadora y reducción en el porcentaje de mortalidad (20%) de ovas. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Se evaluó el uso de una incubadora vertical de ovas de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*). La evaluación económica se aplicó utilizando una simulación de Montecarlo, como resultado se obtuvo un valor más probable de costo por unidad (\$2,319.72). La evaluación técnica se desarrolló mediante un porcentaje de mortandad, se observó una reducción de 20% a comparación con el proceso utilizado dentro de la granja. El uso constante de la incubadora (8 ciclos) puede generar un ahorro en el proceso de obtención de las ovas. De acuerdo con los resultados, el uso y aplicación de la incubadora vertical puede representar una forma más eficiente de obtener ovas de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*). La calidad de agua de igual manera representa un parámetro de interés, el valor de pH puede influir en los niveles de mortalidad de las ovas, por lo que en el futuro debería de evaluarse, además de realizar modificaciones a la incubadora de diseño para optimizar y encontrar valores óptimos en flujos, tamaño, tiempo de uso, densidades de aplicación, incluso para otro tipo de especímenes.

AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México, por el financiamiento para el proyecto con clave 14115.22-PD dentro de la convocatoria 2022: Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] K. Cancino, "Cría de truchas alternativa económica para municipios - El Sol de Córdoba | Noticias Locales, Policiacas, sobre México, Veracruz y el Mundo," Jan. 2019. <https://www.elsoldecordoba.com.mx/local/cria-de-truchas-alternativa-economica-para-municipios-2978148.html> (accesed Jan. 30, 2023).
- [2] R. Rosado Puccini, "Relación entre parámetros físicos y de composición de la ova con la eficiencia en fases de incubación y larvicultura en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum)," 2011, Accessed: Jan. 30, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9461>.
- [3] F. Apollin and C. Eberhart, *Análisis y Diagnóstico de los Sistemas de Producción en el Medio Rural*, vol. 1. Consorcio Camaren, 2018. Accessed: Jan. 30, 2023. [Online]. Available: http://cesa.org.ec/wp-content/uploads/2018/07/analisis_produccion_en_el_medio_rural_guia_metodologica.pdf.