CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

EVALUACIÓN BIOLÓGICA Y ZOOTÉCNICA DEL TRANSPORTE DE CRÍAS DE TILAPIA DEL NILO (*Oreochromis niloticus*).

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Acuicultura)

P r e s e n t a

José David López Jiménez

La Paz, Baja California Sur, marzo de 2023.

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 12:00 horas del día 16 del Mes de febrero del 2023, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la tesis de grado titulada:

EVALUACIÓN BIOLÓGICA Y ZOOTÉCNICA DEL TRANSPORTE DE CRÍAS DE TILAPIA DEL NILO (*Oreochromis niloticus*)

Presentado por el alumno:

José David López Jiménez

Aspirante al grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN **Acuicultura**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Dr. Luis Daniel Espinosa Chaurand
Co-Director de Tesis

Dr. Alfonso Nivardo Maeda Martínez
Co-Director de Tesis

Dra. Viridiana Peraza Gómez
Co-Tutora de Tesis

Dra. Gracia Alicia Gómez Anduro,
Directora de Estudios de Posgrado y
Formación de Recursos Humanos

La Paz, Baja California Sur, a 16 de febrero de 2023.

Los miembros del comité de tesis del estudiante JOSÉ DAVID LÓPEZ JIMÉNEZ del Programa de Maestría en Ciencias en el Uso Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, revisamos el contenido de la tesis y otorgamos el Vo.Bo. dado que la tesis no representa un plagio de otro documento como lo muestra el reporte de similitud realizado:

- **Herramienta antiplagio:**
  IThenticate
- **Filtros utilizados:**
  Excluir citas
  Excluir bibliografía
  Excluir fuentes que sean menores a 15 palabras
- **Porcentajes de similitud:**
  12% de similitud

  Se muestra captura de pantalla

Tesis Maestría - EVALUACIÓN BIOLÓGICA Y ZOOTÉCNICA DE TRANSPORTE DE CRÍAS DE TILAPIA DEL NILO (Oreochromis niloticus)

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%
ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	cibnor.repositorioinstitucional.mx Internet	525 palabras — 3%
2	bdigital.uncu.edu.ar Internet	144 palabras — 1%
3	Bill J Vayias. "Evaluation of natural diatomaceous earth deposits from south-eastern Europe for stored-grain protection: the effect of particle size", Pest Management Science, 10/2009 Crossref	139 palabras — 1%
4	docplayer.com.br Internet	130 palabras — 1%
5	repositorio.cientifica.edu.pe:8080 Internet	77 palabras — < 1%

Firmas del comité

Dr. Luis Daniel Espinosa Chaurand
Co-Director de Tesis

Dr. Alfonso Nivardo Maeda Martínez
Co-Director de Tesis

Dra. Viridiana Peraza Gómez
Co-Tutora de Tesis

Conformación de Comités

Comité Tutorial
Dr. Luis Daniel Espinosa Chaurand
CONACyT-Centro de investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Director de Tesis

Dr. Alfonso Nivardo Maeda Martínez
Centro de investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Director de Tesis

Dra. Viridiana Peraza Gómez
Universidad Autónoma de Nayarit
Co-Tutora de Tesis

Comité Revisor de Tesis
Dr. Luis Daniel Espinosa Chaurand
Dr. Alfonso Nivardo Maeda Martínez
Dra. Viridiana Peraza Gómez

Jurado de Examen
Dr. Luis Daniel Espinosa Chaurand
Dr. Alfonso Nivardo Maeda Martínez
Dra. Viridiana Peraza Gómez

Suplente
Dr. Alejandro de Jesús Cortés Sánchez

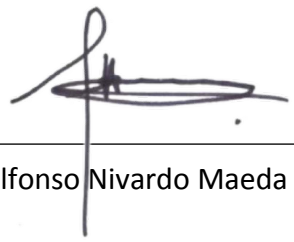
Resumen

El transporte de peces vivos es una operación acuícola delicada que se realiza para distribuir las semillas o juveniles producidos en los laboratorios, a las granjas de cultivo. A pesar de su importancia, muchos productores realizan transportes sin las bases científicas que les permitan asegurar la supervivencia y el crecimiento de los organismos durante el proceso de engorda. En el presente trabajo se determinó la supervivencia, la supervivencia pos-transporte 8D y glucosa sanguínea por efecto del transporte simulado de crías de tilapia *Oreochromis niloticus* de dos tamaños (1.2 ± 0.3 g y 2.4 ± 0.3 g), probando 126 tratamientos donde se combinó tres tiempos de transporte (4, 8 y 24 h), tres densidades (54, 66 y 80 g/L), tres temperaturas (20, 22 y 24 °C), tres salinidades (3, 6 y 9 ups) y tres concentraciones de OD (10, 15 y 20 mg/L). Los ensayos se realizaron con el mismo sistema de transporte que utilizan los laboratorios comerciales consistente en bolsas de polietileno calibre 400 de 2 L de capacidad conteniendo 0.5 L de agua. Se determinó la supervivencia al finalizar los tiempos de transporte, la supervivencia pos-transporte durante los 8 días posteriores, la glucosa en sangre como indicador de estrés, y las concentraciones de oxígeno disuelto y amoniaco al final de los ensayos. En términos generales, las condiciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y densidad probadas no produjeron mortalidad de las crías al finalizar el transporte en ninguno de los tratamientos. Sin embargo, la supervivencia pos-transporte 8D declinó gradualmente durante los primeros 4-5 días y se estabilizó hasta los 8 días de experimentación. Las crías pequeñas de 1.2 ± 0.3 g fueron significativamente ($P<0.05$) más afectadas en promedio de supervivencia pos-transporte con 77.7 ± 10.4 %, comparado con 94.2 ± 6.1 % obtenido en las crías de 2.4 ± 0.3 g. Se elaboraron superficies de respuesta para mostrar la supervivencia esperada pos-transporte 8D en función de la densidad, el tiempo de transporte y el peso de las crías. Durante el periodo pos-transporte, la mortalidad registrada se atribuyó al efecto combinado de la temperatura y la manipulación de las crías, más que a la falta de oxígeno o a las concentraciones de amoniaco, ya que ambas variables estuvieron a niveles tolerables por la especie. Con estos resultados se concluye que las mejores condiciones de transporte, bajo los escenarios evaluados, se obtienen con crías de 2.4 ± 0.3 g transportadas a una densidad de 80 g/L hasta por 24 h, a 24°C y 3 ups.

Palabras claves: Tilapia, *Oreochromis niloticus*, transporte, glucosa, amonio.
ORCID: 0000-0003-4981-5369

Vo.Bo. Co-Directores de Tesis

Dr. Luis Daniel Espinosa Chaurand



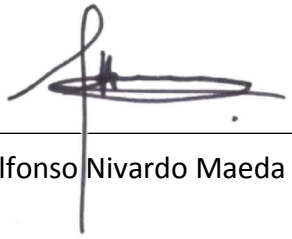
Dr. Alfonso Nivardo Maeda Martínez

Summary

The transport of live fish is a delicate aquaculture operation that is carried out to distribute the fry or juveniles produced in the laboratories, to the culture farms. Despite its importance, many producers carry out transport without the scientific bases that allow them to ensure the survival and growth of the organisms during the grow-out process. In the present work, survival, 8D post-transport survival and blood glucose of *Oreochromis niloticus* tilapia hatchlings of two sizes (1.2 ± 0.3 g and 2.4 ± 0.3 g), were determined in a simulated transport to find the best conditions to do so. A total of 126 treatments were tested combining three transport times (4, 8 and 24 h), three densities (54, 66 and 80 g/L), three temperatures (20, 22 and 24 °C), three salinities (3, 6 and 9 psu) and three concentrations of DO (10, 15 and 20 mg/L). The tests were carried out with the same transport system used by commercial laboratories, consisting of 2 L 400 caliber polyethylene bags, containing 0.5 L of water. Survival at the end of transportation times, post-transportation survival during the subsequent 8 days, blood glucose as an indicator of stress, and dissolved oxygen and ammonia concentrations at the end of the trials were determined. In general terms, the tested conditions of temperature, salinity, dissolved oxygen and density did not produce fry mortality at the end of transport in any of the treatments. However, 8D post-transport survival gradually declined during the first 4-5 days and stabilized up to 8 days of experimentation. Small fry of 1.2 ± 0.3 g were significantly ($P<0.05$) more affected in average post-transport survival with 77.7 ± 10.4 %, compared to 94.2 ± 6.1 % obtained in fry of 2.4 ± 0.3 g. Response surfaces were constructed to show the expected 8D post-transport survival as a function of density, transport time, and fry weight. During the post-transport period, the recorded mortality was attributed to the combined effect of temperature and handling of the hatchlings, rather than to lack of oxygen or ammonia concentrations, since both variables were at tolerable levels for the species. With these results it is concluded that the best transport conditions, under the evaluated scenarios, are obtained with hatchlings of 2.4 ± 0.3 g transported at a density of 80 g/L for up to 24 h, at 24°C and 3 ups.

Key words: Tilapia, *Oreochromis niloticus*, transport, glucose, ammonium.
ORCID: 0000-0003-4981-5369

Vo.Bo. Co-Directores de Tesis



Dr. Luis Daniel Espinosa Chaurand

Dr. Alfonso Nivardo Maeda Martínez

Dedicatoria

A mis padres, Teresa Jiménez Pecina y Carlos López Gutiérrez.

A mis hermanos, Carlos y Daniela.

Agradecimientos

Agradezco principalmente a Dios, por brindarme salud para poder desenvolverme adecuadamente en lo que me gusta y disfrutar de la vida, por darme la fortaleza de levantarme cuando caigo y nunca darme por vencido, aunque el camino del objetivo sea complicado.

A mi familia por el apoyo incondicional que he recibido en todo momento.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., (CIBNOR), y a la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos, por darme la oportunidad de pertenecer a la comunidad de este gran Centro de Investigaciones, un gran privilegio, a los profesores que fueron parte de mi formación por brindar sus conocimientos a lo largo de este periodo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por otorgarme la beca de maestría No. 1086659.

A la Unidad de Nayarit del CIBNOR, por permitirme desarrollar este trabajo en sus instalaciones y la gran disponibilidad de todo el personal que forma parte de esta Unidad de Investigación, en especial al Dr. Alfonso Maeda por confiar en mi para desarrollar este tema, al Dr. Luis Daniel Espinosa por el apoyo incondicional brindado, por la paciencia y amistad que me brindo durante este periodo tan importante en mi vida.

A la Dra. Viridiana Peraza Gómez por su disponibilidad, seguimiento y observaciones durante el proceso de la investigación.

Contenido

Resumen i
Summary ii
Dedicatoria iii
Agradecimientos iv
Contenido v
Lista de figuras vi
Lista de tablas viii
Abreviaturas ix
1. INTRODUCCIÓN 1
2. ANTECEDENTES 3
2.1 Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) 3
2.2 Transporte de peces 4
2.3 Variables fisicoquímicas 4
2.3.1 Temperatura 4
2.3.2 Salinidad 5
2.3.3 Oxígeno disuelto 6
2.4 Variables de manejo 7
2.4.1 Densidad 7
2.4.2 Tiempos de transporte 8
2.5 Indicadores de estrés 8
2.6 Toxicidad por amoniaco (NH_3) 9
3. JUSTIFICACIÓN 10
4. HIPÓTESIS 11
5. OBJETIVOS 12
5.1 Objetivo general 12
5.2 Objetivos particulares 12
6. MATERIAL Y MÉTODOS 13
6.1 Análisis estadístico 17
7. RESULTADOS 19
7.1 Supervivencia y supervivencia pos-transporte 8D 19
7.1.2 Efecto de la temperatura 19
7.1.3 Efecto de la salinidad 22
7.1.4 Efecto del Oxígeno Disuelto 23
7.2 Determinación del estrés en las crías de tilapia por efecto del transporte 25
7.3 Concentración de amonio (NH_4^+) y amoniaco (NH_3) en el agua de transporte 29
7.4 Efecto combinado de las variables ambientales sobre la supervivencia pos-transporte 8D 33
8. DISCUSIÓN 41
9. CONCLUSIONES 47
10. LITERATURA CITADA 49

Lista de figuras

Figura 1. Ejemplar adulto de tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus*.....3
Figura 2. Supervivencia pos-transporte 8D de crías de tilapia (*Oreochromis niloticus*) de 1.2 ± 0.3 g y de 2.4 ± 0.3 g, expuestas a los tratamientos de temperatura, salinidad, y oxígeno disuelto. Los marcadores indican el dato promedio y las líneas verticales sobre ellos la *DE. n*= 3. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre el tiempo de pos-transporte 8D para cada tratamiento de peso de los organismos para cada caso (*P*<0.05). Letras minúsculas diferentes por día de pos-transporte hasta 8D indican diferencias significativas entre pesos de los organismos en cada caso (*P*<0.05). 21
Figura 3. Concentraciones de glucosa en sangre de crías de tilapia Oreochromis niloticus transportadas a tres temperaturas (20, 22 y 24 °C) y a diferentes densidades (54, 66 y 80 g/L), durante 0, 4, 8 y 24 h, a 3 ups y 20 mg/L de OD. Los paneles a), b) y c) corresponden a crías de 1.2 ± 0.3 g, y los paneles d), e) y f) a crías de 2.4 ± 0.3 g. Las barras representan los valores promedio y las líneas verticales en cada uno la DE. n = 3. Letras mayúsculas indican diferencias significativas (P<0.05) entre tiempos de transporte. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (P<0.05) entre temperaturas por tiempo de transporte. 26
Figura 4. Concentraciones de glucosa en sangre de crías de tilapia *Oreochromis niloticus* transportadas a tres salinidades (3, 6 y 9 ups) y a diferentes densidades (54, 66 y 80 g/L), durante 0, 4, 8 y 24 h, a 22°C y 20 mg/L de OD. Los paneles a), b) y c) corresponden a crías de 1.2 ± 0.3 g, y los paneles d), e) y f) a crías de 2.4 ± 0.3 g. Las barras representan los valores promedio y las líneas verticales en cada uno la DE. n = 3. Letras mayúsculas indican diferencias significativas (P<0.05) entre tiempos de transporte. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (P<0.05) entre temperaturas por tiempo de transporte. 27
Figura 5. Concentraciones de glucosa en sangre de crías de tilapia Oreochromis niloticus transportadas a tres concentraciones de oxígeno disuelto (10, 15 y 20 mg/L) y a diferentes densidades (54, 66 y 80 g/L), durante 0, 4, 8 y 24 h, a 22°C y 3 ups. Los paneles a), b) y c) corresponden a crías de 1.2 ± 0.3 g, y los paneles d), e) y f) a crías de 2.4 ± 0.3 g. Las barras representan los valores promedio y las líneas verticales en cada uno la DE. n = 3. Letras mayúsculas indican diferencias significativas (P<0.05) entre tiempos de transporte. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (P<0.05) entre temperaturas por tiempo de transporte.....28
Figura 6. Concentraciones de amonio en el agua de transporte de crías de tilapia Oreochromis niloticus transportadas a tres temperaturas (20, 22 y 24 °C) y a diferentes densidades (54, 66 y 80 g/L), durante 0, 4, 8 y 24 h, a 20 mg/L de OD y 3 ups. Los paneles a), b) y c) corresponden a crías de 1.2 ± 0.3 g, y los paneles d), e) y f) a crías de 2.4 ± 0.3 g. Las barras representan los valores promedio y las líneas verticales en cada uno la DE. n = 3. Letras mayúsculas indican diferencias significativas (P<0.05) entre tiempos de transporte. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (P<0.05) entre temperaturas por tiempo de transporte. 30
Figura 7. Concentraciones de amonio en el agua de transporte de crías de tilapia Oreochromis niloticus transportadas a tres salinidades (3, 6 y 9 ups) y a diferentes densidades (54, 66 y 80 g/L), durante 0, 4, 8 y 24 h, a 20 mg/L de OD y a 22 °C. Los paneles a), b) y c) corresponden a crías de 1.2 ± 0.3 g, y los paneles d), e) y f) a crías de 2.4 ± 0.3 g. Las barras representan los valores promedio y las líneas verticales en cada uno la DE. n = 3. Letras mayúsculas indican diferencias significativas (P<0.05) entre tiempos de transporte. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (P<0.05) entre salinidades por tiempo de transporte.....31

Figura 8. Concentraciones de amonio en el agua de transporte de crías de tilapia Oreochromis niloticus transportadas a tres concentraciones de oxígeno disuelto (10, 15 y 20 mg/L) y a diferentes densidades (54, 66 y 80 g/L), durante 0, 4, 8 y 24 h, a 22 °C y 3 ups. Los paneles a), b) y c) corresponden a crías de 1.2 ± 0.3 g, y los paneles d), e) y f) a crías de 2.4 ± 0.3 g. Las barras representan los valores promedio y las líneas verticales en cada uno la DE. n = 3. Letras mayúsculas indican diferencias significativas (P<0.05) entre tiempos de transporte. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (P<0.05) entre concentraciones de oxígeno disuelto por tiempo de transporte. 32
Figura 9. Variación del pH del agua, al finalizar los tratamientos de transporte de crías de tilapia de 1.2 ± 0.3 g (Oreochromis niloticus) a diferentes temperaturas. Los valores son la media ± DE. n a 20°C = 9; n a 22°C = 45; n a 24°C = 9. 33
Figura 10. Supervivencia pos-transporte 8D promedio de crías de tilapia Oreochromis niloticus en función de la densidad y el peso de las crías durante a) 4 h, b) 8h y c) 24 h de transporte, a 22 °C y 3 ups. 35
Figura 11. Supervivencia pos-transporte 8D promedio de crías de tilapia Oreochromis niloticus en función del tiempo de transporte y del peso de las crías a las densidades de a) 54 g/L, b) 66 g/L y c) 80 g/L, a 22 °C y 3 ups. 36
Figura 12. Supervivencia pos-transporte 8D promedio de crías de tilapia *Oreochromis niloticus* de a) 1.2 ±0.3 g y b) 2.4 ± 0.3 g en función del tiempo y de la densidad de transporte, a 22 °C y 3 ups. 37

Lista de tablas

Tabla 1. Tratamientos realizados en el estudio de transporte de crías de tilapia (*Oreochromis niloticus*) *de* 1.2 ± 0.3 g, a diferentes tiempos de transporte, densidad, temperatura (T), oxígeno disuelto (OD) y salinidad (S). 14
Tabla 2. Tratamientos realizados en el estudio de transporte de crías de tilapia (*Oreochromis niloticus*) *de* 2.4 ± 0.3 g, a diferentes tiempos de transporte, densidad, temperatura (T), oxígeno disuelto (OD) y salinidad (S). 15
Tabla 3. Efecto de la temperatura sobre la supervivencia y la supervivencia pos-transporte 8D de las crías de tilapia Oreochromis niloticus de 1.2 ± 0.3 g, a diferentes tiempos y densidades de transporte. 20
Tabla 4. Efecto de la temperatura sobre la supervivencia y la supervivencia pos-transporte 8D de las crías de tilapia Oreochromis niloticus de 2.4 ± 0.3 g, a diferentes tiempos y densidades de transporte. 20
Tabla 5. Efecto de la salinidad sobre la supervivencia y la supervivencia pos-transporte 8D de las crías de tilapia *Oreochromis niloticus* de 1.2 ± 0.3 g, a diferentes tiempos y densidades de transporte. 22
Tabla 6. Efecto de la salinidad sobre la supervivencia y la supervivencia pos-transporte 8D de las crías de tilapia Oreochromis niloticus de 2.4 ± 0.3 g, a diferentes tiempos y densidades de transporte. 23
Tabla 7. Efecto de la concentración de OD sobre la supervivencia y la supervivencia pos-transporte 8D de las crías de tilapia *Oreochromis niloticus* de 1.2 ± 0.3 g, a diferentes tiempos y densidades de transporte. 24
Tabla 8. Efecto de la concentración de OD sobre la supervivencia y la supervivencia pos-transporte 8D de las crías de tilapia Oreochromis niloticus de 2.4 ± 0.3 g, a diferentes tiempos y densidades de transporte. 24
Tabla 9. Comparación entre supervivencia, supervivencia pos-transporte 8D y glucosa en sangre de crías de tilapia (*Oreochromis niloticus*) de dos tamaños, transportados durante 4, 8 y 24 h a 22 °C, 3 ups de salinidad y a una densidad de 54 g/L. Se muestran además las concentraciones promedio finales de oxígeno disuelto, amonio y amoniaco en el agua. 38
Tabla 10. Comparación entre supervivencia, supervivencia pos-transporte 8D y glucosa en sangre de crías de tilapia (Oreochromis niloticus) de dos tamaños, transportados durante 4, 8 y 24 h a 22 °C, 3 ups de salinidad y a una densidad de 66 g/L. Se muestran además las concentraciones promedio finales de oxígeno disuelto, amonio y amoniaco en el agua. 39
Tabla 11. Comparación entre supervivencia, supervivencia pos-transporte 8D y glucosa en sangre de crías de tilapia (Oreochromis niloticus) de dos tamaños, transportados durante 4, 8 y 24 h a 22 °C, 3 ups de salinidad y a una densidad de 80 g/L. Se muestran además las concentraciones promedio finales de oxígeno disuelto, amonio y amoniaco en el agua. 40

Abreviaturas

CL_{50}	=	Concentración letal media
ups	=	Unidades prácticas de salinidad
g/L	=	Gramos por litro
h	=	Horas
kg/m^3	=	kilogramos por metro cúbico
mg/L	=	Miligramos por litro
n	=	Número de repeticiones
OD	=	Oxígeno disuelto
S	=	Salinidad
8D	=	8 días

1. INTRODUCCIÓN

Considerando que la producción de alimento de alto valor nutricional es de suma importancia para la generación del bienestar alimentario y socioeconómico del hombre, dentro de los sistemas de producción, la acuicultura de agua dulce ha tomado gran importancia debido a que se presenta como una alternativa viable en la generación de beneficios bioecológicos, nutrimentales y socioeconómicos (Espinosa-Chaurand *et al*., 2011).

La acuicultura es una actividad en constante crecimiento, en el año 2018 se estima que la producción mundial de pescado alcanzó los 179 millones de toneladas, 156 millones de toneladas fueron destinadas a consumo humano, lo restante fue destinado a la producción de harina y aceite de pescado (FAO, 2020).

Uno de los principales recursos dulceacuícolas en el mundo es la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), es un pez teleósteo del orden de los perciformes y de la familia Cichlidae (FAO, 2020). Es de origen africano y ha sido introducida a la mayor parte de regiones tropicales del mundo donde las condiciones son favorables para su reproducción y crecimiento (Vega-Villasante *et al*., 2009).

El cultivo de tilapia ha presentado un incremento en la producción mundial cercano a los 4.5 millones de toneladas en 2018 (FAO, 2020), debido a ser una alternativa para satisfacer la demanda de alimento por las cualidades propias de la especie. (Vega-Villasante *et al*., 2010).

La producción en México por pesca y acuicultura de tilapia es de aproximadamente 102,807 toneladas, con un valor comercial de 3, 360 millones de pesos, lo que sitúa a esta actividad comercial en la quinta posición pesquera y acuícola del país y en la tercera en valor de producción (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, 2018). Desde el año 2018 la producción de tilapia en México ha presentado un decremento, esto debido a varias causas dentro de las cuales destaca, el desabasto de crías de tilapia a las granjas de engorda y enfermedades que se han presentado en los cultivos por lo cual, la producción nacional no satisface las necesidades internas del producto, importando cerca de 88 mil toneladas de tilapia procedentes de China en el año 2020 (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, 2018).

Cada una de las etapas de producción de tilapia debe tomarse en cuenta desde el punto de vista biológico y de manejo para incrementar los niveles de aprovechamiento y disminuir el impacto al medio (Espinosa-Chaurand *et al*., 2011).

El transporte de peces vivos es una etapa necesaria y critica dentro de la cadena de producción para diferentes fines como el transporte de alevines a zona de incubación, eclosión, reversión sexual, tanques de engorda, para alimento, repoblamiento, ornamentales y para fines de investigación (Vanderzwalmen *et al*., 2021), y pese a las cualidades que posee la tilapia de Nilo, los organismos pueden verse afectados por agentes o factores como el tiempo, nivel de impacto por manejo, condiciones ambientales adversas durante el transporte y acondicionamiento a los sistemas de producción que puede llegar a resultar en mortalidades inmediatas y plazos cortos posteriores a la recepción de los organismos (Das *et al*., 2015).

El transporte de peces vivos es una actividad que desencadena de manera directa estrés, lo cual compromete el bienestar y la supervivencia de los peces (Denaley *et al*., 2005; Purbosari *et al*., 2019). El estrés es la modificación del equilibrio homeostático de la especie por estímulos intrínsecos o extrínsecos, donde los organismos responden con una serie de reacciones conductuales y fisiológicas con el objetivo de contrarrestar o adaptarse a la situación (Seyle, 1950; Barandica y Tort, 2008).

Una de las reacciones típicas fisiológicas de los teleósteos frente al estrés es la hiperglucemia, que es una de las respuestas secundarias ante situaciones de estrés que es originado por la liberación de catecolaminas y corticosteroides (Brinn *et al*., 2012), por lo cual se vuelve importante la medición de concentración de glucosa en sangre como indicador fisiológico sobre la cantidad de energía requerida por los peces para contrarrestar o adaptarse a las condiciones.

En el transporte de peces el conocimiento de la interacción de las variables de manejo y ambientales en relación a los niveles de glucosa en sangre y la supervivencia de los organismos al finalizar el transporte y posterior al transporte, facilitará el desarrollo de estrategias y protocolos con bases científicas para el aprovechamiento de los recursos durante el transporte, haciéndolo un proceso amigable económica y ambientalmente.

2. ANTECEDENTES

2.1 Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)

La tilapia del Nilo (*Orechromis niloticus*, Linnaeus, 1758) es un pez de agua dulce, teleósteo, del orden de los Perciformes de la familia Cichlidae, con cuerpo comprimido lateralmente con forma ovalada y habita preferentemente en aguas someras. En etapa adulta puede alcanzar 50 a 60 cm de longitud y un peso de 4.3 a 5 kg y puede vivir de nueve a diez años (Eccles, 1992; Paugy, 2003; FAO, 2009; CONABIO, 2014).

Figura 1. Ejemplar adulto de tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus*.

La tilapia del Nilo se distribuye naturalmente en África tropical, subtropical y Medio Oriente, y ha sido ampliamente introducido a nivel mundial con fines de repoblamiento de embalses y acuicultura por las cualidades que posee la especie; rápido crecimiento, adaptabilidad, fácil manejo, alimentación omnívora y buenos indicadores productivos (Vega-Villasante *et al*., 2010).

2.2 Transporte de peces

El transporte de peces vivos es una operación acuícola delicada que se realiza para distribuir las semillas o juveniles de cualquier especie producidas en los laboratorios a las granjas de engorda. A pesar de su importancia, muchos productores realizan transportes empíricamente y sin bases científicas que les permitieran asegurar la supervivencia y el crecimiento de los organismos una vez sembrados.

Existen estudios científicos publicados sobre este tema en diversas especies de peces donde se evalúa el efecto de las variables fisicoquímicas (Iwama *et al*., 1997; Paterson *et al*., 2003; Treasurer, 2010), la densidad durante el transporte (Carneiro y Urbinati, 2002; Gomes *et al*., 2003; Adamante *et al*., 2008; Braun y Nuñes, 2014, Orina *et al*., 2014), el tiempo de transporte (Sampaio y Freire, 2016), el uso de sedantes para mejorar el transporte (Montañez-Calero *et al.*, 2022), la fisiología del organismo durante y posterior al transporte (Van Der Boon *et al*., 1991; Chow *et al*., 1994; Barton, 2002; Acerete *et al*., 2004; Gomes *et al*., 2006; Oyoo-Okoth *et al*., 2011; Abreu *et al*., 2014; Sampaio y Freire, 2016) y sobre el tipo de empaque (Teo *et al*., 1989; Gomes *et al*., 2006; Harmon, 2009).

2.3 Variables fisicoquímicas

2.3.1 Temperatura

La temperatura del agua es uno de los factores más significativos que influyen en el metabolismo de los organismos, específicamente en peces al ser organismos poiquilotermos (Fry, 1958), el cultivo de tilapia preferentemente se da en zonas tropicales y subtropicales donde la temperatura está dentro de los intervalos óptimos para su desarrollo y reproducción (Vega-Villasante *et al*., 2009).

Diversos autores reportan intervalos de temperatura confort de 25 a 32 °C para el desarrollo adecuado del cultivo de tilapia (Ross, 2000; Baras *et al*., 2001). Ndau y Vilhelm (2022) concluyen en su estudio una temperatura óptima de 26 °C para tilapia del Nilo, y un intervalo térmico confort de 20.2 a 32.1 °C, asintiendo que la tilapia es un pez euritermo, reportando una temperatura critica mínima de 13.1 °C y una temperatura crítica máxima de 38.8 °C.

En el transporte de peces tropicales vivos se recomienda la reducción de la temperatura confort de la especie entre 5 a 10 °C para eficientar y lograr mayores supervivencias (Wedemeyer, 1996). El descenso de temperatura tiende a disminuir el metabolismo de los peces, reduciendo el consumo de oxígeno que es limitante en el transporte de peces en sistemas cerrados (bolsas plásticas), y disminuyendo la excreción de amonio el cual es tóxico para los organismos.

Por su parte Hocutt y Tinley (1985) reportan en su estudio de *O. mossambicus* sometidos a estrés por calor, que *O. mossambicus* pueden soportar cambios bruscos de temperatura de hasta 5 °C con efectos menores de estrés sin causar daños que comprometan la supervivencia del organismo.

Bittencourt *et al*. (2018) en su trabajo de transporte de la especie *Rhamdia quelen* donde realizó una comparación de la temperatura del agua de 15, 20 y 25 °C en transportes de 4, 8 y 12 h, concluye que el transporte de *R. quelen* debe realizarse entre 15 y 25 °C por periodos inferiores a 12 h para no perjudicar la homeostasis de los organismos y por ende la supervivencia. En sus resultados reportan supervivencias del 100 % con organismos transportados a 15 °C durante 12 h; coincidiendo con los estudios de Golombieski *et al*. (2003) donde reporta que la mejor temperatura para el transporte de alevines de *R. quelen* en bolsas plásticas es de 15 °C, ya que a las 24 h de transporte no hubo mortalidad significativa.

Delaney *et al*. (2005) en su estudio de cambios graduales y agudos de temperatura en tilapia del Nilo sugieren que el estrés de las operaciones acuícolas de rutina puede minimizarse mediante la aclimatación previa a la nueva ubicación antes de realizar cualquier procedimiento que implique un estrés térmico agudo.

2.3.2 Salinidad

La tilapia del Nilo es un pez de agua dulce capaz de soportar un amplio intervalo de salinidades (eurihalino), ya que posee mecanismos fisiológicos de adaptación que le permiten un desarrollo adecuado en diferentes concentraciones de salinidad (McCormick *et al*., 2013).

El trabajo de Job (1969) en *O. mossambicus* a salinidades de 0.4, 12.5 y 30.5 ups, menciona que el punto isosmótico de la especie (12.5 ups), produce un mejor desempeño de los organismos porque reduce el costo energético de osmorregulación.

Blancas-Arroyo *et al*. (2014) realizaron un estudio para determinar el efecto de la salinidad en la supervivencia de peces del género *Chirostoma* durante el transporte y establecimiento de los organismos en condiciones de laboratorio. Evaluaron diferentes salinidades en el agua de transporte de 0, 5 y 10 ups, y comprobaron que los mejores resultados de supervivencia fueron en las salinidades de 5 y 10 ups con un 95–100 % en comparación con aquellos que se transportaron en agua con 0 ups, en donde la supervivencia fluctuó entre 5 y 31 %. Los resultados del trabajo recomiendan el transporte de organismos del género *Chirostoma* a una salinidad de 10 ups, mientras que la salinidad durante la aclimatación y después de la siembra de acuerdo a los resultados debería ser de 5 ups.

2.3.3 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) es un gas esencial para los procesos vitales de los organismos (Iwama *et al*., 1997). Presenta doble perfil fisiológico ya que, por un lado, su déficit ocasiona problemas para realizar los procesos vitales de los peces provocando en ocasiones la muerte, y por el otro, el exceso puede ser tóxico debido a los radicales libres inestables y altamente reactivos que genera, los cuales pueden provocan daños celulares (Corrales y Muñoz, 2012; Yang *et al*., 2020). Existe controversia respecto al límite inferior para el crecimiento de la tilapia, ya que Morales (2003) y Oliveira *et al*. (2009) mencionan que la tilapia del Nilo es una especie que tolera bajas concentraciones de OD de hasta 1 mg/L. Por otra parte, Ross (2000) considera que la concentración mínima de OD para el crecimiento óptimo de la tilapia es de 3 mg/L, mientras que Saavedra-Martínez (2006) recomienda mantener el OD a niveles mayores a 4 mg/L para no comprometer el bienestar de los peces. Según Riche y Garling (2003), la concentración de OD preferida para el crecimiento óptimo de la tilapia es superior a 5 mg/L.

Respecto al límite superior, Tsadik y Kutty (1987) demostraron que la tilapia puede tolerar condiciones de alta sobresaturación de oxígeno de hasta 40 mg/L, y por lo tanto para asegurar mejores resultados de supervivencia en el transporte en contenedores cerrados, Morales (2003) y Oliveira *et al*. (2009) recomiendan sobresaturar el agua con oxígeno puro.

2.4 Variables de manejo

2.4.1 Densidad

El conocimiento de la densidad óptima (n.°de peces o biomasa/L) es clave para realizar el transporte de peces con éxito. Se busca transportar la mayor biomasa posible en el transporte para ahorrar recursos lo más posible, sin comprometer el bienestar de los organismos (Navarrete-Salgado y Morales-Ventura, 2000).

Urbinati *et al*. (2004) realizaron un estudio de transporte de juveniles de matrinxa (*Brycon cephalus*) el cual es un pez muy agresivo nativo de la cuenca del río Amazonas en Perú y Bolivia. Evaluaron tres densidades de transporte (83, 125 y 166 g/L) y encontraron que la agresividad y el dominio social del pez disminuyeron conforme aumentó la densidad.

Takhahashi *et al*. (2010) en su estudio del efecto de transporte en bolsas de plástico de curimbatá (*Prochilodus lineatus*) de 25.1 ± 9.4 g de peso, a tres densidades (100, 150 y 250 g/L) y durante seis horas, no se presentaron mortalidades al finalizar los tiempos de transporte. Sin embargo, a las 24 h posteriores al transporte, registraron mortalidades de hasta 6 % en los tratamientos con densidades más altas. Mencionan que a las 96 h pos-transporte, se recuperaron los niveles basales de las variables fisiológicas y hematológicas incluyendo: glucosa, osmolaridad, cloruro, hematocrito, volumen corpuscular medio, número de eritrocitos y nivel de hemoglobina.

Orina *et al*. (2014), realizaron un trabajo similar al presente, donde determinaron las densidades óptimas de transporte de crías de 0.2, 0.5 y 5.0 g de *O. niloticus*, transportadas durante un máximo de 24 h a 22.8-23.6 °C, 0 ups y probaron 3 densidades 4, 8 y 12 peces por litro, equivalentes a 0.8, 1.6 y 16 g/L en crías de 0.2 g; 2.0, 4.0, y 6.0 g/L en crías de 0.5 g, y 20, 40 y 60 g/L en crías de 5 g. Sus resultados indicaron mayor supervivencia en las crías pequeñas (0.2 g), recomendando transportarlas hasta por 24 h a la mayor densidad probada (12 peces de 0.2 g/L ó 16 g/L). La máxima mortalidad fue de 11.3% en crías de 5 g a la máxima densidad de 60 g/L. Estos autores atribuyen las mortalidades a la limitación de OD aunque no registraron mortalidad pos-transporte en ningún tratamiento durante los siete días. Los niveles de OD cayeron de 8.51 a 3.26 mg/L al finalizar el experimento a 60 g/L en peces de 5 g a 24 h de transporte.

2.4.2 Tiempos de transporte

Golombieski *et al*. (2003) realizaron un estudio de transporte de alevines de *Rhamdia quelen* de 5-10 cm de longitud, en bolsas de plástico de 5 L de capacidad, conteniendo 1.5 L de agua a 25 °C y una atmósfera de oxígeno en el resto del volumen de las bolsas durante 6, 12 y 24 h. Estos autores recomiendan no transportar estos peces por más de 6 h en densidades de 168 g/L, ya que registraron mortalidades debido al aumento significativo de los niveles de amonio y de dióxido de carbono y a la disminución de OD. Gomes *et al.* (1999) reportaron que las mortalidades de alevines de *R. quelen* aumentaron significativamente con tiempos de transporte mayores a 12 h, recomendado que el transporte de esta especie en bolsas plásticas no exceda las 12 h.

Dobsícová *et al*. (2006) estudiaron la respuesta al estrés y los cambios en los índices bioquímicos y hematológicos de *Cyprinus carpio* de tres años de edad durante 12 h de transporte. Reportan un aumento en la concentración de amoniaco, volumen corpuscular medio, y una disminución en cloruro y lactato. Sin embargo, no se afectaron los niveles de cortisol, glucosa en el perfil bioquímico y los valores de recuento de eritrocitos, hemoglobina, concentración de hemoglobina corpuscular media y recuento de leucocitos en el perfil hematológico. Mencionan que los procedimientos de manipulación previos al transporte producen estrés y que a pesar que la carpa común se adapta rápidamente a las condiciones ambientales, las perturbaciones deber reducirse al mínimo en el transporte para garantizar la mayor supervivencia.

2.5 Indicadores de estrés

La glucosa es uno de los indicadores de estrés en peces teleósteos más comunes y prácticos de medir dentro de la acuicultura (Oliveira *et al.,* 2009; Montañez-Calero *et al*., 2022). La hiperglucemia observada durante el estrés es resultado de la glucogenólisis y gluconeogénesis (Flores, 2002). Estos niveles elevados de glucosa en la sangre son generados principalmente para proveer la energía metabólica para un sin número de reacciones metabólicas y procesos fisiológicos en respuesta a la condición estresante (Pérez-Arvizu, 2009). El análisis de la concentración de glucosa en sangre se puede realizar con un glucómetro de mano, el cual arroja los resultados de manera inmediata, facilitando el manejo y la toma de decisiones en las granjas de producción (Freckmann *et al.,* 2012).

Por otra parte, Adamante *et al*. (2008) utilizaron la concentración de cortisol como indicador fisiológico del estrés en el transporte de alevines de *Salminus brasilensis* de 0.71 ± 0.53 g, a densidades de 5, 10 y 15 g/L y transportes de 4, 8 y 12 h en bolsas plásticas de 15 L de capacidad con 4 litros de agua y oxígeno puro en la parte restante. Reportan que existe un aumento de estrés a las 4 h de transporte en todas las densidades evaluadas, pero no reportan mortalidades ni lesiones aparentes en los organismos, concluyendo que las condiciones que pudiesen producir mortalidades de *S. brasilensis* están por encima de los niveles probados.

2.6 Toxicidad por amoniaco (NH_3)

Gunal y Köksal (2005), determinaron las concentraciones letales medias (CL_{50}) de amoniaco a las 48 h en embriones y alevines de tilapia (*O. niloticus*), siendo de 1.009 ± 0.02 mg/L para embriones y 7.40 ± 0.01 mg/L para alevines. El-Shafai *et al.* (2004) mencionan que los niveles letales de amoniaco en *O. niloticus* son a partir de 0.6 mg/L.

El-Sherif y El-Feky (2008) determinaron la concentración letal media de amoniaco en crías de tilapia *O. niloticus* de 19.0 ± 1.0 g. Ellos concluyeron que el intervalo de concentración de amoniaco para un rendimiento de crecimiento óptimo y una alta tasa de supervivencia es de 0.01-0.004 mg/L. Además, reportan que el aumento en la concentración de amoniaco produce una reducción significativa ($P \leq 0.05$) del crecimiento, un aumento del factor de conversión alimenticio, una disminución del hematocrito y de algunos parámetros de hemoglobina, y diferentes signos de daño en hígado, branquias y riñón. También, concluyeron que la LC_{50} 48 h en alevines de tilapia fue de 7.1 mg/L de amoniaco.

3. JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales problemas en México para la producción de tilapia, es la pérdida de organismos al momento de su transporte y establecimiento en los sistemas de producción, lo cual no sólo merma el stock de organismos de manera inmediata, sino también la eficiencia bioeconómica de la cadena de producción. Una de las causas de esta situación es la falta de protocolos científicamente fundamentados en la biología y manejo de esta especie durante su transporte y recepción, lo que hace imperativo el conocer y establecer los intervalos ecofisiológicos de estos organismos para ajustes de su manejo durante estas fases, lo cual ayudará a promover la supervivencia a futuro.

Tomando en cuenta la creciente demanda de tilapia como alimento y la derrama económica asociada a los diferentes sectores sociales en México, se hace necesario contribuir a mejorar la cadena de producción, aumentando la supervivencia y rentabilidad de los sistemas al identificar y aprovechar el conocimiento ecofisiológico de respuesta de estos organismos y adaptarlo a protocolos de manejo para su transporte y aclimatación.

La importancia de este trabajo reside en la generación de conocimiento sobre las variables fisicoquímicas y de manejo que afectan la supervivencia y balance bioquímico de los organismos al momento del transporte y pos-transporte de los organismos. Ello llevará a recomendar procesos más eficientes en la cadena de producción para la reducción de la mortalidad y los efectos que pueden tener en *O. niloticus* durante su transporte y pos-transporte de engorda. El transporte de organismos vivos busca trasladar el mayor número de organismos en el menor volumen de agua, donde los organismos se encuentren en buenas condiciones y con supervivencias rentables una vez concluidas estas dos etapas.

4. HIPÓTESIS

Existe un efecto negativo en la supervivencia, supervivencia pos-transporte 8D y glucosa sanguínea en crías de tilapia por efecto de la temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, densidad y tiempos de transporte, que dependerá directamente de su duración e intensidad sobre los límites ecofisiológicos y de plasticidad de la especie.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Determinar la supervivencia, la supervivencia pos-transporte 8D y glucosa sanguínea por el efecto del tamaño de los peces, tiempo y densidad (factores de manejo), así como la temperatura, oxígeno disuelto y salinidad (factores fisicoquímicos) para el transporte de crías de tilapia *Orechromis niloticus*.

5.2 Objetivos particulares

1. Determinar la supervivencia y la supervivencia pos-transporte 8D de las crías de tilapia de dos tamaños (1.24 ± 0.29 g, y 2.36 ± 0.31 g), transportadas durante 4, 8 y 24 h, a tres densidades (54, 66 y 80 g/L), a tres temperaturas (20, 22 y 24 °C), a tres concentraciones de OD (10, 15 y 20 mg/L) y a tres salinidades (3, 6 y 9 ups).
2. Determinar el estrés producido por efecto del transporte utilizando como indicador el nivel de glucosa en sangre, sobre de las crías de tilapia de dos tamaños (1.24 ± 0.29 g, y 2.36 ± 0.31 g), transportadas durante 4, 8 y 24 h, a tres densidades (54, 66 y 80 g/L), a tres temperaturas (20, 22 y 24 °C), a tres concentraciones de OD (10, 15 y 20 mg/L) y a tres salinidades (3, 6 y 9 ups).
3. Determinar las concentraciones de amonio (NH_4^+) y amoniaco (NH_3) antes y al finalizar el transporte de las crías de tilapia de dos tamaños (1.24 ± 0.29 g, y 2.36 ± 0.31 g), durante 4, 8 y 24 h, a tres densidades (54, 66 y 80 g/L), a tres temperaturas (20, 22 y 24 °C), a tres concentraciones de OD (10, 15 y 20 mg/L) y a tres salinidades (3, 6 y 9 ups).

6. MATERIAL Y MÉTODOS

Los bioensayos se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en Tilapia (LIDETIT) de la Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (UNCIBNOR), en la Ciudad del Conocimiento de Tepic, Nayarit, México (21˚ 28´ 58” N y 104˚ 50´ 42” O), en el mes de noviembre del año 2021.

En las Tablas 1 y 2 se muestran los 126 tratamientos que se probaron en este trabajo por triplicado, para determinar la supervivencia, la supervivencia pos-transporte 8D y glucosa sanguínea por el efecto del tamaño de los peces, tiempo, densidad, temperatura, OD y salinidad para el transporte de crías de tilapia *Orechromis niloticus*. Se probaron dos tamaños de crías (1.24 ± 0.29 g, y 2.36 ± 0.31 g), transportadas durante 4, 8 y 24 h a tres densidades (54, 66 y 80 g/L), a tres temperaturas (20, 22 y 24 °C), a tres concentraciones de OD (10, 15 y 20 mg/L) y a tres salinidades (3, 6 y 9 ups). Estos parámetros se determinaron *a priori* a partir de su uso común en sistemas de producción comercial para el transporte de crías.

Previo a los experimentos 20,000 crías de tilapia (*O. niloticus*) sexualmente revertidas de 0.5 g de peso fueron transferidas a dos jaulas (7.4 m^3 - 3.7 m largo*2 m ancho *1 m de profundidad) colocadas dentro de un tanque de geomembrana de 56 m^3 de capacidad a una densidad de 1,500 organismos por m^3. El agua de las jaulas se mantuvo entre 25 y 30°C, pH de 6.5 – 8.5, ≤ 0.5 mg/L de amonio y a una concentración de OD mayor a 4 mg/L, lo cual se logró mediante difusores conectados a un blower de 4.5 HP. Los peces se alimentaron a razón de 10 % de su biomasa en tres raciones al día, con alimento balanceado comercial de 0.6 mm y 45 % de proteína cruda. Cada semana se determinó el peso promedio de los organismos para ajustar la cantidad de alimento a suministrar. Una vez alcanzado los 1.2 ± 0.3 g de peso de una de las jaulas, los organismos se dejaron de alimentar durante 24 previas al inicio del experimento. Mientras tanto los peces de la segunda jaula destinados a los experimentos de la segunda talla a probar, se mantuvieron bajo las mismas condiciones hasta alcanzar los 2.4 ± 0.3 g.

Tabla 1. Tratamientos realizados en el estudio de transporte de crías de tilapia (*Oreochromis niloticus*) *de* 1.2 ± 0.3 g, a diferentes tiempos de transporte, densidad, temperatura (T), oxígeno disuelto (OD) y salinidad (S).

Trat.	Tiempo (h)	Densidad (kg/m^3)	T (°C)	OD (mg/L)	S (ups)
1	4	54	20	20	3
2		66	20	20	3
3		80	20	20	3
4	8	54	20	20	3
5		66	20	20	3
6		80	20	20	3
7	24	54	20	20	3
8		66	20	20	3
9		80	20	20	3
10	4	54	22	10	3
11		66	22	10	3
12		80	22	10	3
13	8	54	22	10	3
14		66	22	10	3
15		80	22	10	3
16	24	54	22	10	3
17		66	22	10	3
18		80	22	10	3
19	4	54	22	15	3
20		66	22	15	3
21		80	22	15	3
22	8	54	22	15	3
23		66	22	15	3
24		80	22	15	3
25	24	54	22	15	3
26		66	22	15	3
27		80	22	15	3
28	4	54	22	20	3
29		66	22	20	3
30		80	22	20	3
31	8	54	22	20	3
32		66	22	20	3
33		80	22	20	3
34	24	54	22	20	3
35		66	22	20	3
36		80	22	20	3
37	4	54	22	20	6
38		66	22	20	6
39		80	22	20	6
40	8	54	22	20	6
41		66	22	20	6
42		80	22	20	6
43	24	54	22	20	6
44		66	22	20	6
45		80	22	20	6
46	4	54	22	20	9
47		66	22	20	9
48		80	22	20	9
49	8	54	22	20	9
50		66	22	20	9
51		80	22	20	9
52	24	54	22	20	9
53		66	22	20	9
54		80	22	20	9
55	4	54	24	20	3
56		66	24	20	3
57		80	24	20	3
58	8	54	24	20	3
59		66	24	20	3
60		80	24	20	3
61	24	54	24	20	3
62		66	24	20	3
63		80	24	20	3

Tabla 2. Tratamientos realizados en el estudio de transporte de crías de tilapia (*Oreochromis niloticus*) *de* 2.4 ± 0.3 g, a diferentes tiempos de transporte, densidad, temperatura (T), oxígeno disuelto (OD) y salinidad (S).

Trat.	Tiempo (h)	Densidad (kg/m^3)	T (°C)	OD (mg/L)	S (ups)
64	4	54	20	20	3
65		66	20	20	3
66		80	20	20	3
67	8	54	20	20	3
68		66	20	20	3
69		80	20	20	3
70	24	54	20	20	3
71		66	20	20	3
72		80	20	20	3
73	4	54	22	10	3
74		66	22	10	3
75		80	22	10	3
76	8	54	22	10	3
77		66	22	10	3
78		80	22	10	3
79	24	54	22	10	3
80		66	22	10	3
81		80	22	10	3
82	4	54	22	15	3
83		66	22	15	3
84		80	22	15	3
85	8	54	22	15	3
86		66	22	15	3
87		80	22	15	3
88	24	54	22	15	3
89		66	22	15	3
90		80	22	15	3
91	4	54	22	20	3
92		66	22	20	3
93		80	22	20	3
94	8	54	22	20	3
95		66	22	20	3
96		80	22	20	3
97	24	54	22	20	3
98		66	22	20	3
99		80	22	20	3

Trat.	Tiempo (h)	Densidad (kg/m^3)	T (°C)	OD (mg/L)	S (ups)
100	4	54	22	20	6
101		66	22	20	6
102		80	22	20	6
103	8	54	22	20	6
104		66	22	20	6
105		80	22	20	6
106	24	54	22	20	6
107		66	22	20	6
108		80	22	20	6
109	4	54	22	20	9
110		66	22	20	9
111		80	22	20	9
112	8	54	22	20	9
113		66	22	20	9
114		80	22	20	9
115	24	54	22	20	9
116		66	22	20	9
117		80	22	20	9
118	4	54	24	20	3
119		66	24	20	3
120		80	24	20	3
121	8	54	24	20	3
122		66	24	20	3
123		80	24	20	3
124	24	54	24	20	3
125		66	24	20	3
126		80	24	20	3

El sistema de transporte fue el que comúnmente se emplea para transportar crías de tilapia y larvas o postlarvas de otros organismos. Este consistió de una bolsa de polietileno calibre 400 de 2 L de capacidad, conteniendo 0.5 L de agua previamente preparada a las condiciones experimentales de 20, 22 y 24 °C, y a 3, 6 y 9 ups, empleando una sonda multiparamétrica marca HANNA modelo HI98196. El agua para los tratamientos de temperatura y salinidad se preparó previamente agregando hielo o sal a contenedores de plástico de 100 L hasta alcanzar la temperatura o salinidad deseadas. A cada bolsa se transfirieron 44, 53 o 65 crías de 1.24 ± 0.29 para los tratamientos 54, 66 y 80 g/L respectivamente.

Posteriormente se les inyectó oxígeno industrial al 95 % de pureza, a un flujo de 7 L/min hasta alcanzar una concentración de 10, 15 o 20 mg OD/L, equivalentes al 125, 190 y 250 % de saturación de OD (Baird *et al*., 2017). La saturación de OD se calculó considerando 22 °C, 3 ups y 683 mmHg de presión atmosférica por la elevación de la ciudad de Tepic, Nayarit, México de 920 m sobre el nivel medio del mar. Las bolsas fueron infladas y selladas con una banda de hule dejando una atmósfera dentro de la bolsa de 1 L de oxígeno.

Durante el proceso de llenado de las bolsas, la concentración de OD fue monitoreada de manera continua mediante un oxímetro Microx TX2 (PreSens, Regensburg, Alemania) con compensación de temperatura, equipado con un sensor de fibra óptica de 140 µm de punta fina PSt1, con límite de detección 20 ppb, 0 – 22.5 mg/L de OD. Este medidor se conectó a una PC a través de una interfaz USB o RS232, con un software especial para registro continuo y almacenamiento de datos para su posterior análisis.

Una vez alcanzada la concentración de oxígeno, se tomaron tres muestras de agua para determinar la concentración de amonio en viales Eppendorf de 2 mL las cuales se conservaron en congelación (-20 °C) hasta su posterior análisis. Posteriormente, las bolsas fueron colocadas dentro de tres tanques conteniendo agua a las temperaturas experimentales para evitar variaciones de temperatura durante los experimentos. La temperatura se mantuvo agregando hielo al agua cuando se registró una tendencia al incremento. Una vez concluido el tiempo de transporte de cada tratamiento, las bolsas se abrieron, e inmediatamente se registraron las concentraciones de OD, se tomaron tres muestras de agua para determinar la concentración de amonio y se contaron las crías muertas para finalmente calcular la supervivencia (S %) mediante la ecuación (1):

$$S\,\% = \frac{N.°.peces\ iniciales - N.°\ \ peces\ finales}{N.°\ \ peces\ iniciales} * 100 \qquad (1)$$

Posteriormente para determinar la supervivencia pos-transporte durante 8 días, las crías fueron transferidas a jaulas de 16 L de capacidad (37 cm largo x 36 cm ancho x 12 cm altura cm) suspendidas dentro de un tanque de 56 m^3 conteniendo agua a 25 °C, 5 mg/L de OD, 0 ups de

salinidad y ≤ 0.5 mg/L de amonio. Durante ese periodo, los peces fueron alimentados a razón de 10 % de su biomasa en dos raciones al día, con alimento balanceado comercial de 0.6 mm y 45 % de proteína cruda. Diariamente se contaron y desecharon los organismos muertos para calcular la supervivencia con la fórmula (1) y para ajustar la cantidad de alimento.

La determinación de glucosa en sangre se realizó en 30 peces del stock inicial y en 10 peces de cada tratamiento empleando el Kit colorimétrico comercial ACCU-CHEK®, cuyo fundamento de operación y evaluación está descrito en Freckmann *et al.* (2012). Muestras de 30 µL (una gota) de sangre fueron tomadas del pedúnculo caudal del pez haciendo una incisión con un bisturí y colocando la gota sobre las tiras reactivas del Kit. Las tiras reactivas tienen una resolución entre 10 y 600 mg/dL de glucosa. La verificación visual de color se realizó dentro de 30 y 60 segundos después de la aplicación, empleando un glucómetro de mano modelo GB de la misma marca.

La concentración de amonio en las muestras de agua de cada tratamiento y repetición se determinó mediante la técnica de microplaca de Hernández-López y Vargas-Albores (2003). Previamente a las lecturas se construyó una curva estándar empleando un estándar de 100 ppm de NH_4^+, utilizando un espectrofotómetro de microplaca (Dynex, MRX Revelation) a 630 nm. Para determinar el porcentaje de amoniaco o amonio no ionizado (NH_3), se midió el pH del agua al principio y al finalizar los experimentos con crías de 1.2 ± 0.3 g, empleando la sonda HANNA modelo HI98196 de acuerdo a Emerson *et al*. (1975). Una vez que los peces de la segunda jaula alcanzaron los 2.36 ± 0.31 g de peso promedio, se procedió a realizar los tratamientos de la Tabla 2 bajo el mismo método, pero incubando en este caso 22, 27 y 33 crías de tilapia por bolsa para los tratamientos 54, 66 y 80 g/L, respectivamente.

6.1 Análisis estadístico

A los valores de supervivencia, físico-químicos y glucosa sanguínea se le aplicó análisis de varianza (ANOVA) de una vía, tomando como factores el peso, biomasa y tiempo de transporte, en un diseño por bloques independientes. Se realizaron pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov, 169 α=0.05) y homocedasticidad (Bartlett, α=0.05). Los datos de supervivencia expresados en porcentaje se les aplicó la transformación del arcoseno de su raíz cuadrada (Zar, 2010). Las diferencias significativas entre tratamientos se determinaron por medio de

comparaciones múltiples de Tukey ($P<0.05$). Todas las pruebas se realizaron en el programa SigmaStat V.3.5. Se realizaron correlaciones de Pearson y regresión lineal múltiple entre los factores y las variables ($P<0.05$). Se elaboraron gráficos de superficie de respuesta con los datos de regresiones múltiples para la supervivencia pos-transporte 8D respecto a las variables de densidad, peso, tiempo, por medio del programa Sigma Plot V.15.

7. RESULTADOS

7.1 Supervivencia y supervivencia pos-transporte 8D

7.1.2 Efecto de la temperatura

En las Tablas 3 y 4 se muestran los resultados del efecto de tres temperaturas, tiempos y densidades de transportes sobre la supervivencia de las crías de 1.2 ± 0.3 g y de 2.4 ± 0.3 g, respectivamente al final y después de 8 días posteriores al transporte. Bajo estas condiciones, la supervivencia inmediata al transporte fue superior al 99.3 ± 1.05 % en todos los tratamientos y tamaños de las crías, a excepción del tratamiento 24 °C, 24 h, y 80 g/L en crías de 1.2 ± 0.3 g, donde la supervivencia fue significativamente menor que todos los tratamientos (94.8 %, $P<0.05$).

La supervivencia pos-transporte 8D por efecto de tres temperaturas, tiempos y densidades de transporte se presenta en la Figura 2 y en las Tablas 3 y 4. En la Figura 2 se aprecia que en los peces de mayor tamaño la supervivencia se mantuvo alta (94.2 ± 6.1 %) durante los 8 días, mientras que en los peces pequeños la supervivencia pos-transporte 8D fue declinando gradualmente hasta alcanzar 79.4 ± 3.6 % entre el día 5 y el día 8. En promedio, la supervivencia de las crías de 1.2 ± 0.3 g fue de 77.7 ± 10.4 %, y en las de 2.4 ± 0.3 g fue de 94.2± 6.1 %.

El registro de supervivencia pos-transporte significativamente más bajo se obtuvo en crías de 1.2 ± 0.3 g en los tratamientos de 20 °C a las 24 h en las densidades de 54 y 66 g/L (45.0 ± 2.1 % y 57.1 ± 14.1 % respectivamente; $P<0.05$), mientras que en las de 2.4 ± 0.3 g, en los tratamientos 20 y 22 °C a las 24 h, con 86.7 ± 8.5 y 86.7 ± 16.9 % respectivamente. El intervalo de supervivencias en crías pequeñas fue más amplio (45.0 ± 2.1 a 94.8 ± 5.0 %) que en las grandes (86.7 ± 8.5 a 100 %).

Tabla 3. Efecto de la temperatura sobre la supervivencia y la supervivencia pos-transporte 8D de las crías de tilapia Oreochromis niloticus de 1.2 ± 0.3 g, a diferentes tiempos y densidades de transporte.

Tiempo (h)	Densidad g/L	Supervivencia Temperatura (°C) 20	22	24	Supervivencia Pos-transporte 8D Temperatura (°C) 20	22	24
4	54	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	74.9 ± 7.5 ^{BCb}	83.4 ± 7.4 ^{Ab}	82.4 ± 8.4 ^{Ab}
8	54	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	97.9 ± 3.6 ^{ABa}	94.8 ± 5.0 ^{Aab}	86.3 ± 15.1 ^{Ab}	88.3 ± 10.5 ^{Ab}
24	54	98.4 ± 2.8 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	45.0 ± 2.1 ^{Dc}	78.5 ± 11.4 ^{Ab}	86.2 ± 8.5 ^{Ab}
4	66	100 ± 0.0 ^{Aa}	99.7 ± 0.9 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	76.0 ± 13.2 ^{Bb}	78.7 ± 5.7 ^{Ab}	71.8 ± 12.3 ^{ABb}
8	66	100 ± 0.0 ^{Aa}	99.6 ± 1.2 ^{Aa}	96.7 ± 3.2 ^{ABa}	88.6 ± 2.5 ^{ABb}	86.2 ± 14.9 ^{Ab}	78.8 ± 17.6 ^{ABb}
24	66	100 ± 0.0^{Aa}	98.7 ± 2.7 ^{Aa}	96.9 ± 2.7 ^{ABa}	57.1 ± 14.1 ^{CDd}	72.1 ± 16.8 ^{Ac}	86.0 ± 8.3 ^{Abc}
4	80	98.4 ± 2.7 ^{Aa}	99.0 ± 2.3 ^{Aa}	99.3 ± 1.2 ^{Aa}	66.5 ± 8.0 ^{BCc}	76.3 ± 8.6 ^{Ab}	71.9 ± 3.8 ^{Bb}
8	80	100 ± 0.0 ^{Aa}	99.7 ± 0.9 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	72.6 ± 19.2^{BCb}	82.2 ± 7.8 ^{Ab}	75.3 ± 11.0 ^{ABb}
24	80	100 ± 0.0 ^{Aa}	97.3 ± 5.5 ^{Aab}	94.8 ± 2.1 ^{Bb}	73.4 ± 18.8 ^{BCc}	76.8 ± 15.2 ^{Ac}	86.9 ± 8.2 ^{Abc}

Los datos son la media ± *DE*. *n* = 3. Letras mayúsculas diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre tiempos de transporte y densidad, a una misma temperatura ($P<0.05$). Letras minúsculas diferentes por fila indican diferencias significativas entre temperaturas para cada tiempo y densidad de transporte ($P<0.05$).

Tabla 4. Efecto de la temperatura sobre la supervivencia y la supervivencia pos-transporte 8D de las crías de tilapia Oreochromis niloticus de 2.4 ± 0.3 g, a diferentes tiempos y densidades de transporte.

Tiempo (h)	Densidad g/L	Supervivencia Temperatura (°C) 20	22	24	Supervivencia Pos-transporte 8D Temperatura (°C) 20	22	24
4	54	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	97.0 ± 5.2 ^{ABa}	90.7 ± 9.4 ^{Aa}	97.0 ± 5.2 ^{Aa}
8	54	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	97.6 ± 4.1 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	96.4 ± 4.3 ^{Aa}	95.8 ± 3.8 ^{Aa}
24	54	97.0 ± 5.2 ^{Aab}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	86.7 ± 8.5 ^{Bb}	86.7 ± 16.9 ^{Ab}	90.2 ± 3.1 ^{Bb}
4	66	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	97.8 ± 3.8 ^{ABa}	93.8 ± 7.5 ^{Aa}	97.8 ± 3.8 ^{Aa}
8	66	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	97.8 ± 3.9 ^{Aa}	95.8 ± 7.2 ^{ABa}	96.3 ± 3.6 ^{Aa}	90.4 ± 11.4 ^{Aa}
24	66	100 ± 0.0 ^{Aa}	99.1 ± 2.8 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	93.3 ± 5.9 ^{Bab}	94.2 ± 8.6 ^{Aab}	87.7 ± 11.0 ^{Bb}
4	80	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	98.2 ± 3.0 ^{ABa}	92.3 ± 8.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}
8	80	97.9 ± 3.6 ^{Aa}	98.8 ± 2.4 ^{Aa}	98.2 ± 3.0 ^{Aa}	95.8 ± 7.2 ^{ABab}	89.5 ± 6.5 ^{Ab}	98.2 ± 3.0 ^{Aa}
24	80	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	94.4 ± 5.1 ^{Ba}	94.1 ± 4.9 ^{Aa}	92.0 ± 8.9 ^{Aa}

Los datos son la media ± *DE*. *n* = 3. Letras mayúsculas diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre tiempos de transporte y densidad, a una misma temperatura ($P<0.05$). Letras minúsculas diferentes por fila indican diferencias significativas entre temperaturas para cada tiempo y densidad de transporte ($P<0.05$).

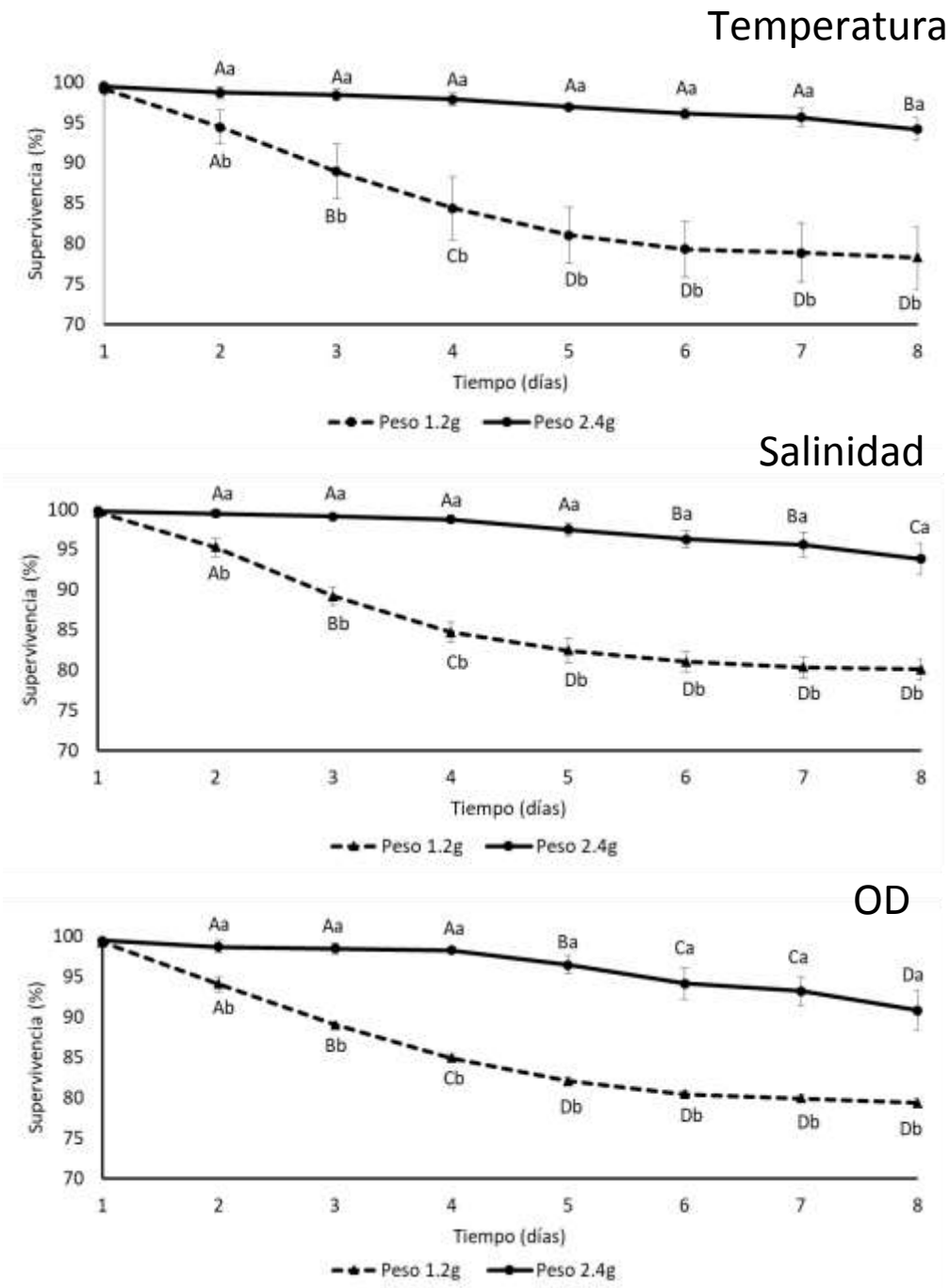


Figura 2. Supervivencia pos-transporte 8D de crías de tilapia (*Oreochromis niloticus*) de 1.2 ± 0.3 g y de 2.4 ± 0.3 g, expuestas a los tratamientos de temperatura, salinidad, y oxígeno disuelto. Los marcadores indican el dato promedio y las líneas verticales sobre ellos la *DE. n*= 3. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre el tiempo de pos-transporte 8D para cada tratamiento de peso de los organismos para cada caso ($P<0.05$). Letras minúsculas diferentes por día de pos-transporte hasta 8D indican diferencias significativas entre pesos de los organismos en cada caso ($P<0.05$).

7.1.3 Efecto de la salinidad

El efecto de la salinidad a diferentes tiempos y densidades de transporte sobre la supervivencia de las crías de 1.2 ± 0.3 g y de 2.4 ± 0.3 g al final del transporte (Tablas 5 y 6) y después de 8 días posteriores al transporte (Fig. 2).

De manera similar a la temperatura, no hubo un efecto significativo de la salinidad sobre la supervivencia al finalizar el transporte en todos los tratamientos y en las dos clases de peso de las crías (99.7 ± 0.6 %; $P>0.05$). Sin embargo, durante el periodo pos-transporte la supervivencia en los tratamientos de salinidad fue también significativamente inferior ($P<0.05$) en los peces de 1.2 ± 0.3 g (80.1 ± 9.3 %) que en los de 2.4 ± 0.3 g (94.6 ± 5.3 %). En los tratamientos de menor peso la supervivencia pos-transporte 8D fue declinando gradualmente (Fig. 2b) hasta alcanzar un promedio de 81.0 ± 1.4 %, del día 5 al día 8. El intervalo de supervivencia fue de 65.8 a 95.4 % en los peces pequeños y de 76.6 a 100 % en los grandes.

Tabla 5. Efecto de la salinidad sobre la supervivencia y la supervivencia pos-transporte 8D de las crías de tilapia *Oreochromis niloticus* de 1.2 ± 0.3 g, a diferentes tiempos y densidades de transporte.

		Supervivencia (%)			Supervivencia Pos-transporte 8D (%)		
Tiempo	Densidad	Salinidad			Salinidad		
(h)	g/L	(ups)			(ups)		
		3	6	9	3	6	9
4	54	100 ± 0.0 ^{Aa}	98.7 ± 2.3 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	83.4 ± 7.4 ^{Ab}	88.5 ± 3.1 ^{Bb}	89.0 ± 4.1 ^{ABb}
8	54	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	86.3 ± 15.1 ^{Aab}	75.3 ± 14.3 ^{Bb}	94.3 ± 5.6 ^{Aa}
24	54	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	78.5 ± 11.4 ^{Ab}	76.3 ± 13.9 ^{Bb}	78.5 ± 5.1 ^{Bb}
4	66	99.7 ± 0.9 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	78.7 ± 5.7 ^{Ab}	79.9 ± 9.9 ^{Bb}	79.1 ± 11.0 ^{Bb}
8	66	99.6 ± 1.2 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	86.2 ± 14.9 ^{Aab}	94.3 ± 0.8 ^{Ab}	95.4 ± 4.5 ^{Aab}
24	66	98.7 ± 2.7 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	72.1 ± 16.8 ^{Ab}	65.9 ± 17.3 ^{BCb}	70.1 ± 9.5 ^{Bb}
4	80	99.0 ± 2.3 ^{Aa}	99.3 ± 1.3 ^{Aa}	99.3 ± 1.3 ^{Aa}	76.3 ± 8.6 ^{Ab}	65.8 ± 9.2 ^{Cb}	74.3 ± 7.3 ^{Bb}
8	80	99.7 ± 0.9 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	82.2 ± 7.8 ^{Ab}	84.0 ± 9.6 ^{Bb}	77.8 ± 7.6 ^{Bb}
24	80	97.3 ± 5.5 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	98.9 ± 2.0 ^{Aa}	76.8 ± 15.2 ^{Ab}	79.3 ± 9.0 ^{Bb}	74.1 ± 5.5 ^{Bb}

Los datos son la media ± *DE*. $n = 3$. Letras mayúsculas diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre tiempos de transporte y densidad, a una misma salinidad ($P<0.05$). Letras minúsculas diferentes por fila indican diferencias significativas entre salinidades para cada tiempo y densidad de transporte ($P<0.05$).

Tabla 6. Efecto de la salinidad sobre la supervivencia y la supervivencia pos-transporte 8D de las crías de tilapia Oreochromis niloticus de 2.4 ± 0.3 g, a diferentes tiempos y densidades de transporte.

		Supervivencia (%)			Supervivencia Pos-transporte 8D (%)		
Tiempo	Densidad	Salinidad			Salinidad		
(h)	g/L	(ups)			(ups)		
		3	6	9	3	6	9
4	54	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	90.7 ± 9.4 ^{Aa}	97.4 ± 4.4 ^{Aa}	97.6 ± 4.1 ^{Aa}
8	54	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	96.4 ± 4.3 ^{Aa}	97.4 ± 4.4 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}
24	54	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	96.3 ± 6.4^{Aa}	86.7 ± 16.9 ^{Aab}	85.4 ± 13.7 ^{Ab}	88.2 ± 4.5 ^{Bb}
4	66	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	93.8 ± 7.5 ^{Aab}	100 ± 0.0 ^{Aa}	92.4 ± 0.8 ^{Bb}
8	66	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	96.3 ± 3.6 ^{Aab}	95.7 ± 3.7 ^{Ab}	95.8 ± 7.2 ^{Aab}
24	66	99.1 ± 2.8 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	94.2 ± 8.6 ^{Aab}	100 ± 0.0 ^{Aa}	89.3 ± 4.4 ^{Bb}
4	80	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	92.3 ± 8.0 ^{Aa}	97.9 ± 3.6 ^{Aa}	96.5 ± 6.1 ^{Aa}
8	80	98.8 ± 2.4 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	89.5 ± 6.5 ^{Ab}	97.8 ± 3.8 ^{Aab}	98.2 ± 3.0 ^{Aa}
24	80	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	94.1 ± 4.9 ^{Ab}	92.9 ± 8.0 ^{Aab}	76.6 ± 10.9 ^{Bc}

Los datos son la media ± *DE*. *n* = 3. Letras mayúsculas diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre tiempos de transporte y densidad, a una misma salinidad ($P<0.05$). Letras minúsculas diferentes por fila indican diferencias significativas entre salinidades para cada tiempo y densidad de transporte ($P<0.05$).

7.1.4 Efecto del Oxígeno Disuelto

En las Tablas 7 y 8 se muestran los resultados del efecto de tres concentraciones de OD, tiempos y densidades de transportes sobre la supervivencia de las crías de 1.2 ± 0.3 g y de 2.4 ± 0.3 g respectivamente, al final y después de 8 días posteriores al transporte.

Los resultados indican que no hubo efecto significativo ($P>0.05$) de esta variable sobre la supervivencia de las crías de ambos tamaños (99.4 ± 0.9 %) al finalizar los experimentos en todas las combinaciones de tiempos de transporte y densidades probadas. No obstante, la supervivencia en los tratamientos de OD fue también distinta en los peces de diferente peso (Fig. 2). En los peces pequeños de 1.2 ± 0.3 g, la supervivencia pos-transporte 8D fue declinando gradualmente hasta llegar a un promedio de 80.4 ± 0.5% entre los días 5 y 8. En los peces de mayor peso (2.4 ± 0.3 g), la supervivencia pos-transporte 8D declinó ligeramente hasta el día 5, donde la supervivencia se estabilizó en 93.7 ± 1.9 %. El intervalo de supervivencia fue de 59.1 a 95.8 % en los peces pequeños, y de 81.9 al 100 % en los grandes.

Tabla 7. Efecto de la concentración de OD sobre la supervivencia y la supervivencia pos-transporte 8D de las crías de tilapia *Oreochromis niloticus* de 1.2 ± 0.3 g, a diferentes tiempos y densidades de transporte.

Tiempo (h)	Densidad g/L	Supervivencia			Supervivencia Pos-transporte 8D		
		Oxígeno disuelto			Oxígeno disuelto		
		10	15	20	10	15	20
4	54	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	90.1 ± 4.3 ^{Ab}	72.4 ± 9.1 ^{Bc}	83.4 ± 7.4 ^{Ab}
8	54	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	92.6 ± 8.5 ^{Aa}	95.8 ± 3.6 ^{Aa}	86.3 ± 15.1 ^{Aa}
24	54	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	74.4 ± 15.5 ^{Bb}	76.3 ± 6.9 ^{Bb}	78.5 ± 11.4 ^{Ab}
4	66	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	99.7 ± 0.9 ^{Aa}	78.2 ± 2.2 ^{Bb}	87.2 ± 8.7 ^{ABb}	78.7 ± 5.7 ^{Ab}
8	66	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	99.6 ± 1.2 ^{Aa}	77.6 ± 12.1 ^{Bb}	84.9 ± 6.5 ^{ABb}	86.2 ± 14.9 ^{Ab}
24	66	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	98.7 ± 2.7 ^{Aa}	59.1 ± 14.4 ^{Cc}	75.3 ± 7.5 ^{Bb}	72.1 ± 16.8 ^{Ab}
4	80	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	99.0 ± 2.3 ^{Aa}	80.3 ± 3.8 ^{Bb}	80.6 ± 2.9 ^{Bb}	76.3 ± 8.6 ^{Ab}
8	80	100 ± 0.0 ^{Aa}	97.0 ± 0.6 ^{Ba}	99.7 ± 0.9 ^{Aa}	74.2 ± 9.0 ^{Bb}	73.4 ± 14.3 ^{Bb}	82.2 ± 7.8 ^{Ab}
24	80	98.8 ± 2.1 ^{Aa}	90.5 ± 8.3 ^{Bab}	97.3 ± 5.5 ^{Aa}	84.5 ± 4.4 ^{Bb}	80.6 ± 14.4 ^{ABb}	76.8 ± 15.2 ^{Ab}

Los datos son la media ± *DE*. *n* = 3. Letras mayúsculas diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre tiempos de transporte y densidad, a una misma concentración de OD ($P<0.05$). Letras minúsculas diferentes por fila indican diferencias significativas entre concentraciones de OD para cada tiempo y densidad de transporte ($P<0.05$).

Tabla 8. Efecto de la concentración de OD sobre la supervivencia y la supervivencia pos-transporte 8D de las crías de tilapia Oreochromis niloticus de 2.4 ± 0.3 g, a diferentes tiempos y densidades de transporte.

Tiempo (h)	Densidad g/L	Supervivencia			Supervivencia Pos-transporte 8D		
		Oxígeno disuelto			Oxígeno disuelto		
		10	15	20	10	15	20
4	54	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	81.9 ± 21.4 ^{Aba}	91.7 ± 14.4 ^{Aba}	90.7 ± 9.4 ^{Aa}
8	54	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	95.1 ± 4.3 ^{Ab}	97.4 ± 4.4 ^{Aab}	96.4 ± 4.3 ^{Aab}
24	54	97.0 ± 5.2 ^{Aab}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	85.8 ± 13.7 ^{ABb}	97.9 ± 3.6 ^{Aab}	86.7 ± 16.9 ^{Aab}
4	66	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	94.4 ± 4.9 ^{Ab}	86.5 ± 6.4 ^{Bb}	93.8 ± 7.5 ^{Aab}
8	66	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	88.7 ± 3.6 ^{Bb}	89.4 ± 6.2 ^{Bb}	96.3 ± 3.6 ^{Aa}
24	66	100 ± 0.0 ^{Aa}	95.6 ± 7.7 ^{Aab}	99.1 ± 2.8 ^{Aa}	92.2 ± 8.4 ^{Aab}	80.1 ± 17.8 ^{Bb}	94.2 ± 8.6 ^{Aab}
4	80	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	86.4 ± 12.6 ^{ABb}	100 ± 0.0 ^{Aa}	92.3 ± 8.0 ^{Aab}
8	80	100 ± 0.0 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	98.8 ± 2.4 ^{Aa}	86.7 ± 12.6 ^{ABb}	98.2 ± 3.0 ^{Aa}	89.5 ± 6.5 ^{Ab}
24	80	98.2 ± 3.0 ^{Aa}	97.9 ± 3.6 ^{Aa}	100 ± 0.0 ^{Aa}	81.0 ± 13.0 ^{Bb}	85.4 ± 14.4 ^{Bb}	94.1 ± 4.9 ^{Aab}

Los datos son la media ± *DE*. *n* = 3. Letras mayúsculas diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre tiempos de transporte y densidad, a una misma concentración de OD ($P<0.05$). Letras minúsculas diferentes por fila indican diferencias significativas entre concentraciones de OD para cada tiempo y densidad de transporte ($P<0.05$).

7.2 Determinación del estrés en las crías de tilapia por efecto del transporte

En este trabajo se empleó la concentración de glucosa en sangre como indicador del estrés en las crías de tilapia. En las Figuras 3, 4 y 5 se muestra el efecto del transporte sobre la concentración de glucosa en sangre a diferentes temperaturas, salinidades y concentraciones de OD respectivamente. El patrón general de la variación de glucosa en sangre con respecto a la temperatura (Fig. 3) se aprecia una tendencia al incremento conforme aumentó el tiempo de transporte. En las crías de 1.2 ± 0.3 g, este incremento fue más grande en las densidades más altas de 66 y 80 g/L (Figs. 3b y c), pasando de la concentración inicial de 35 mg/dL, a 60 mg/dL. La misma tendencia al incremento se observó en la glucosa de las crías más grandes conforme aumentó el tiempo de transporte (Figs. 3 d-f). No hubo un patrón claro del efecto de la temperatura.

En cuanto al efecto de la salinidad (Fig. 4) y del OD (Fig. 5), la tendencia fue también al incremento con el tiempo de transporte, pero tampoco se observó un efecto claro ni de la salinidad ni del OD sobre la concentración de glucosa en sangre en todos los tratamientos y pesos de los peces. La concentración máxima en varios tratamientos no superó los 60 mg/dL.

1.2 ± 0.3 g 2.4 ± 0.3 g

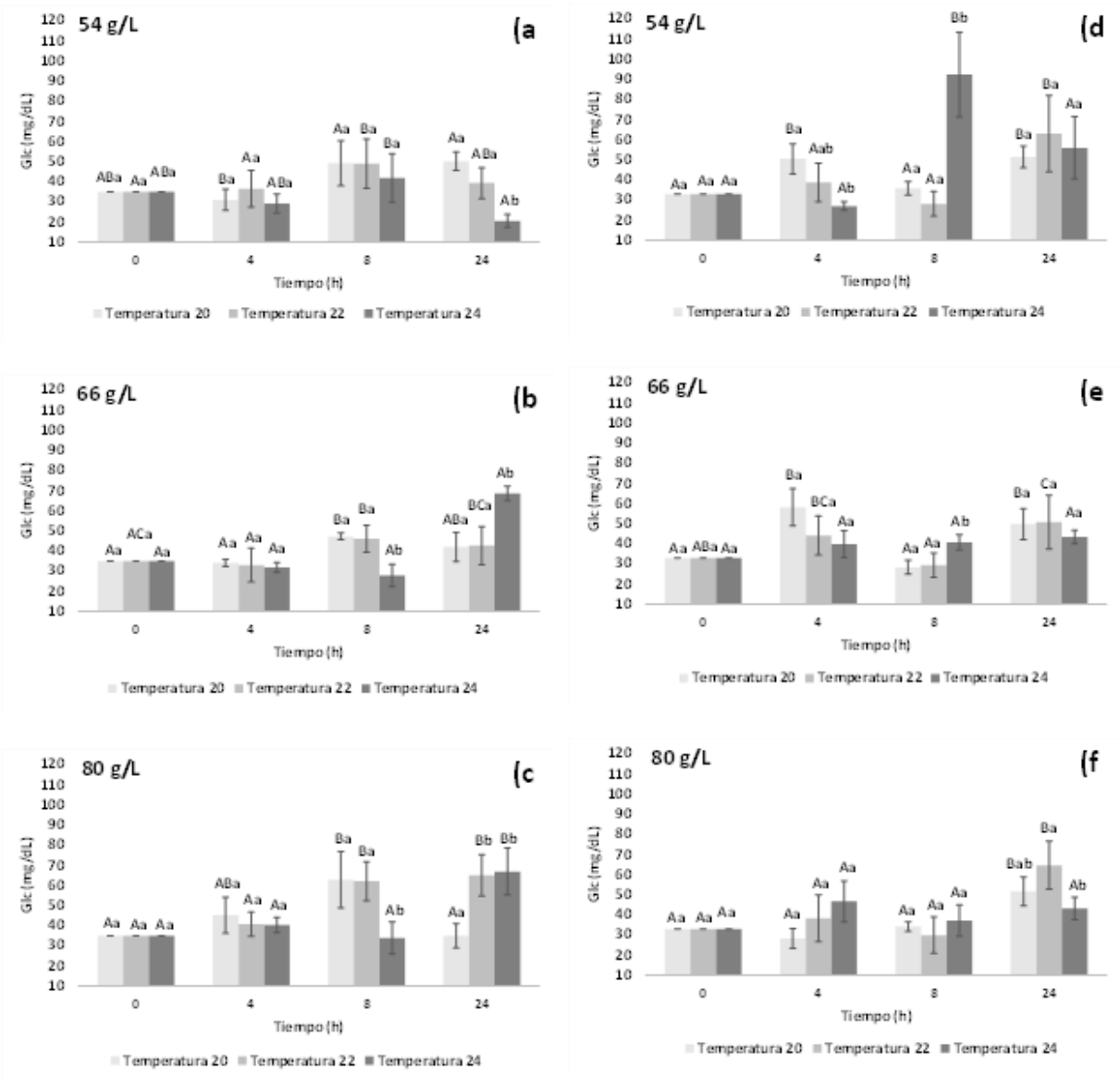


Figura 3. Concentraciones de glucosa en sangre de crías de tilapia Oreochromis niloticus transportadas a tres temperaturas (20, 22 y 24 °C) y a diferentes densidades (54, 66 y 80 g/L), g/L), durante 0, 4, 8 y 24 h, a 3 ups y 20 mg/L de OD. Los paneles a), b) y c) corresponden a crías de 1.2 ± 0.3 g, y los paneles d), e) y f) a crías de 2.4 ± 0.3 g. Las barras representan los valores promedio y las líneas verticales en cada uno la DE. n = 3. Letras mayúsculas indican diferencias significativas (P<0.05) entre tiempos de transporte. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (P<0.05) entre temperaturas por tiempo de transporte.

1.2 ± 0.3 g 2.4 ± 0.3 g

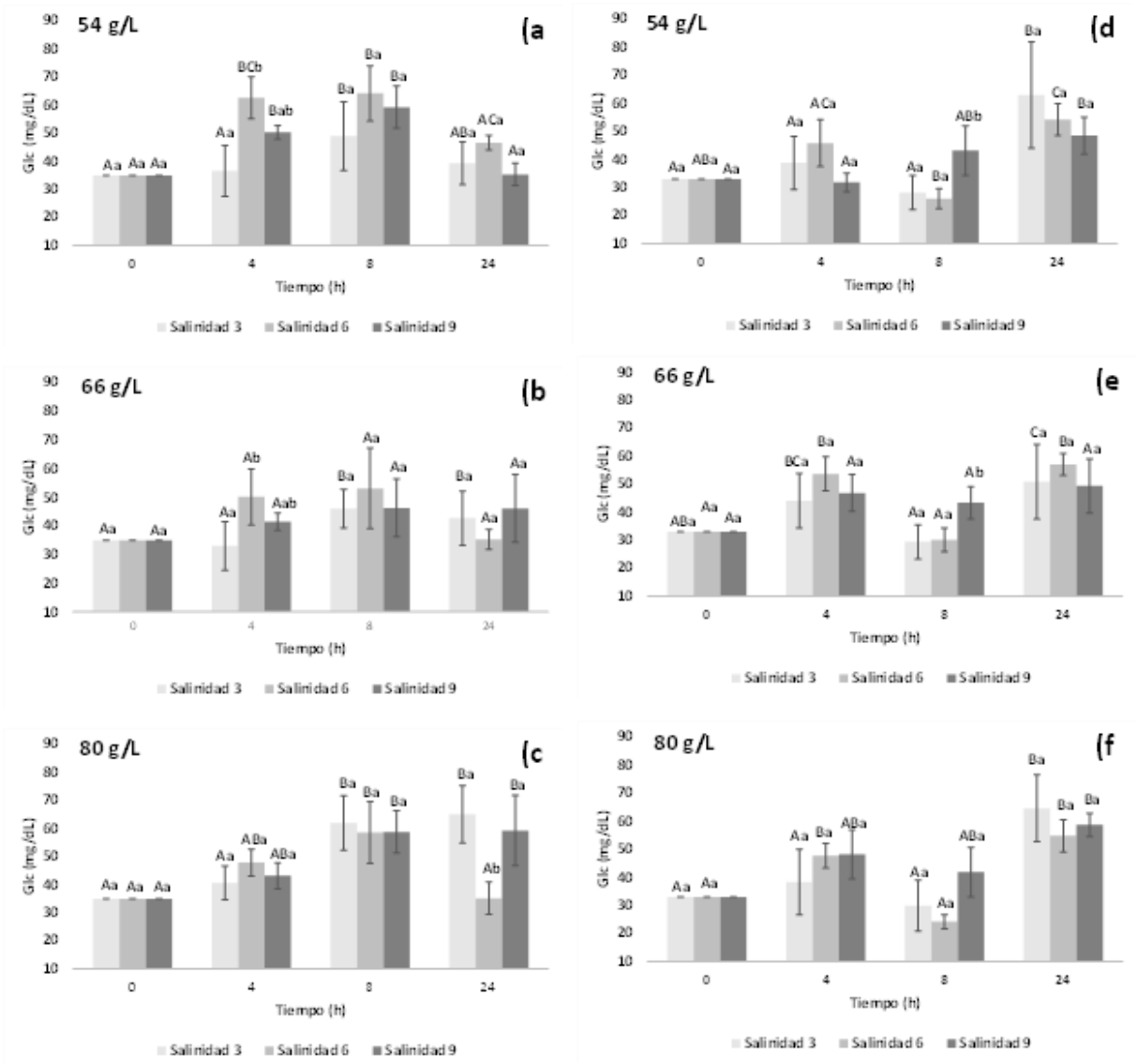


Figura 4. Concentraciones de glucosa en sangre de crías de tilapia *Oreochromis niloticus* transportadas a tres salinidades (3, 6 y 9 ups) y a diferentes densidades (54, 66 y 80 g/L), durante 0, 4, 8 y 24 h, a 22°C y 20 mg/L de OD. Los paneles a), b) y c) corresponden a crías de 1.2 ± 0.3 g, y los paneles d), e) y f) a crías de 2.4 ± 0.3 g. Las barras representan los valores promedio y las líneas verticales en cada uno la DE. n = 3. Letras mayúsculas indican diferencias significativas (P<0.05) entre tiempos de transporte. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (P<0.05) entre temperaturas por tiempo de transporte.

1.2 ± 0.3 g 2.4 ± 0.3 g

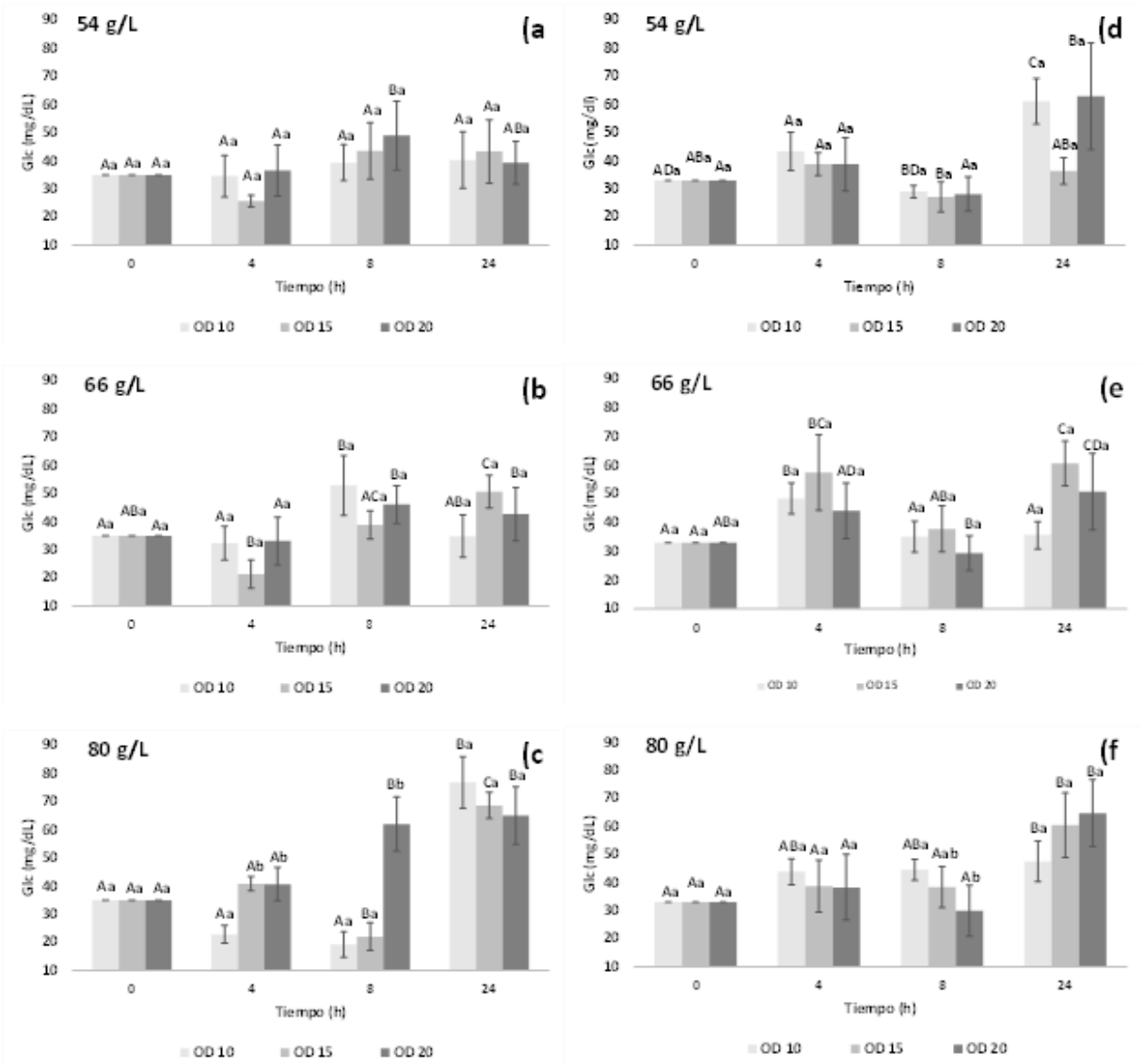


Figura 5. Concentraciones de glucosa en sangre de crías de tilapia Oreochromis niloticus transportadas a tres concentraciones de oxígeno disuelto (10, 15 y 20 mg/L) y a diferentes densidades (54, 66 y 80 g/L), durante 0, 4, 8 y 24 h, a 22°C y 3 ups. Los paneles a), b) y c) corresponden a crías de 1.2 ± 0.3 g, y los paneles d), e) y f) a crías de 2.4 ± 0.3 g. Las barras representan los valores promedio y las líneas verticales en cada uno la DE. n = 3. Letras mayúsculas indican diferencias significativas (P<0.05) entre tiempos de transporte. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (P<0.05) entre temperaturas por tiempo de transporte.

7.3 Concentración de amonio (NH_4^+) y amoniaco (NH_3) en el agua de transporte

La concentración de amonio en el agua al inicio y al finalizar los experimentos de transporte a diferente peso de las crías, tiempos y densidades, y a las diferentes temperaturas, salinidades y concentraciones de OD probadas, se presentan en las Figuras 6, 7 y 8 respectivamente. En estas figuras, se observa que el amonio se fue acumulando gradualmente conforme se incrementó el tiempo de transporte en todos los tratamientos probados. En general, la acumulación de amonio fue significativamente ($P<0.05$) mayor en la temperatura más alta (24 °C; 7-8 mg/L) (Figs. 6a, 6b, 6c y 6f) a excepción de los tratamientos de 54 y 66 g/L en crías de 2.4± 0.3 g (Figs. 6d, 6e). La concentración de amonio al inicio de los experimentos fue indetectable y alcanzó su máximo valor de 10.5 ± 2.0 mg/L en el tratamiento 66 g/L, 24 h, 20 °C (Fig. 6e).

Con respecto a la salinidad, la tendencia general fue al incremento conforme aumentó el tiempo de transporte (Fig. 7). En esta variable, aunque la acumulación de NH_4^+no fue estadísticamente significativa ($P>0.05$), se observa una mayor producción de amonio en las salinidades más bajas (3 ups) a las 24 h de transporte (Figs. 7a, 7b, 7c y 7 f). El valor de amonio más elevado se obtuvo en el tratamiento 66 g/L, 9 ups y 2.4 ± 0.3 g con un valor de 10.5 ± 1.0 mg/L (Fig. 7e).

Con respecto al OD, no se encontró un efecto de esta variable sobre la producción de NH_4^+ en crías de 1.2 ± 0.3 g (Figs. 8a-c). Sin embargo, la producción de amonio fue significativamente mayor ($P<0.05$) en las crías de 2.4 ± 0.3g a un OD de 15 mg/L en las densidades de 54 y 80 g/L (Figs. 8d y 8f respectivamente). Para calcular la proporción de amonio no ionizado o amoniaco (NH_3) se registró el pH del agua inicio y al finalizar de los tratamientos únicamente en los tratamientos con crías de 1.2 ± 0.3 g (Fig. 9). Por fallas en el equipo no se midió el pH en los tratamientos con crías de 2.4 ± 0.3 g. Por lo tanto, los cálculos de amoniaco en estos últimos tratamientos se realizaron infiriendo que el pH sería similar que en los tratamientos de 1.2 ± 0.3 g. En la Figura 9, se puede observar que el pH descendió abruptamente de 8.43 al inicio de los experimentos, a un promedio de 7.0, 6.8 y 6.7 a las 4, 8 y 24 h respectivamente.

1.2 ± 0.3 g 2.4 ± 0.3 g

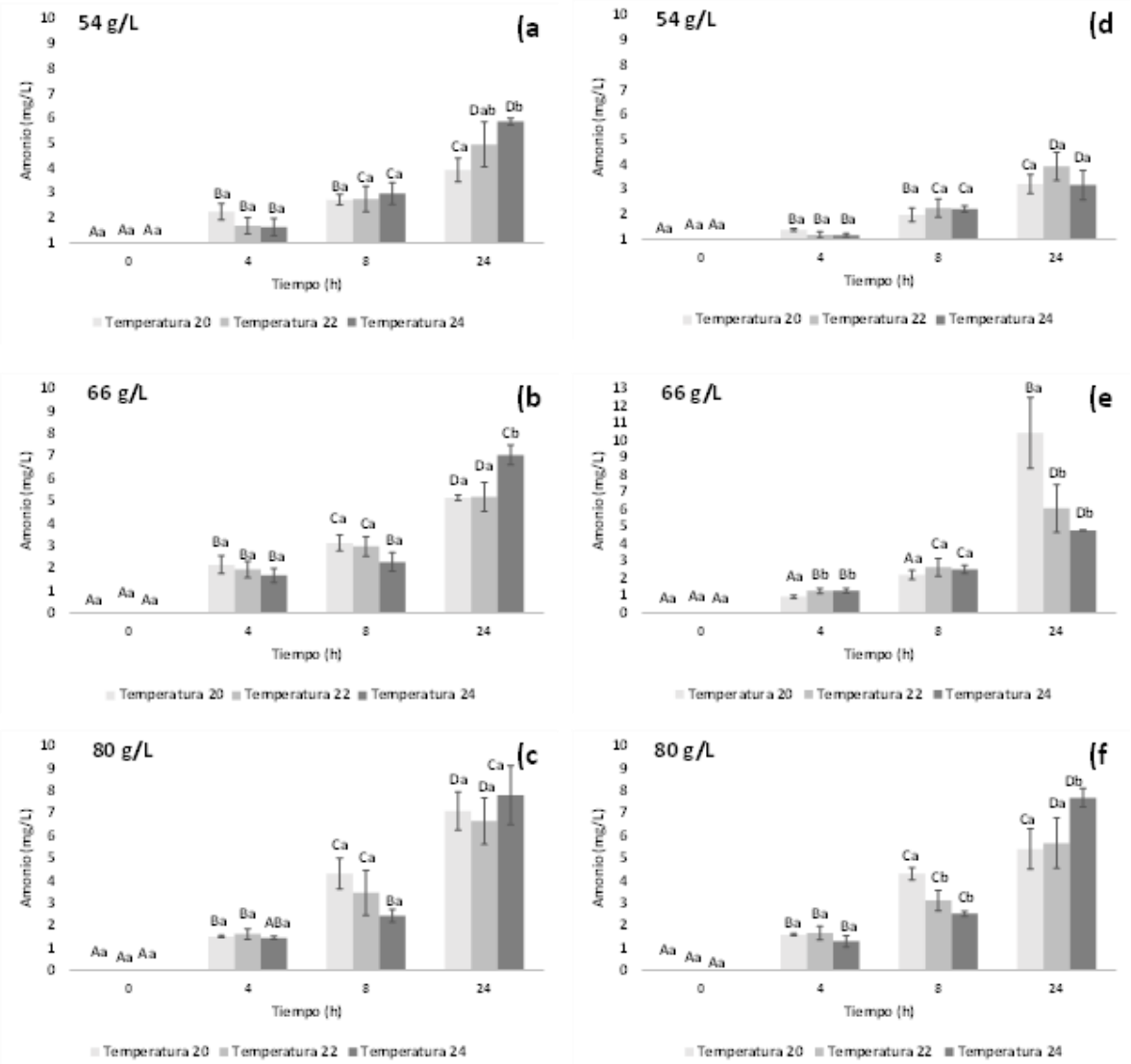


Figura 6. Concentraciones de amonio en el agua de transporte de crías de tilapia Oreochromis niloticus transportadas a tres temperaturas (20, 22 y 24 °C) y a diferentes densidades (54, 66 y 80 g/L), durante 0, 4, 8 y 24 h, a 20 mg/L de OD y 3 ups. Los paneles a), b) y c) corresponden a crías de 1.2 ± 0.3 g, y los paneles d), e) y f) a crías de 2.4 ± 0.3 g. Las barras representan los valores promedio y las líneas verticales en cada uno la DE. n = 3. Letras mayúsculas indican diferencias significativas (P<0.05) entre tiempos de transporte. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (P<0.05) entre temperaturas por tiempo de transporte.

1.2 ± 0.3 g 2.4 ± 0.3 g

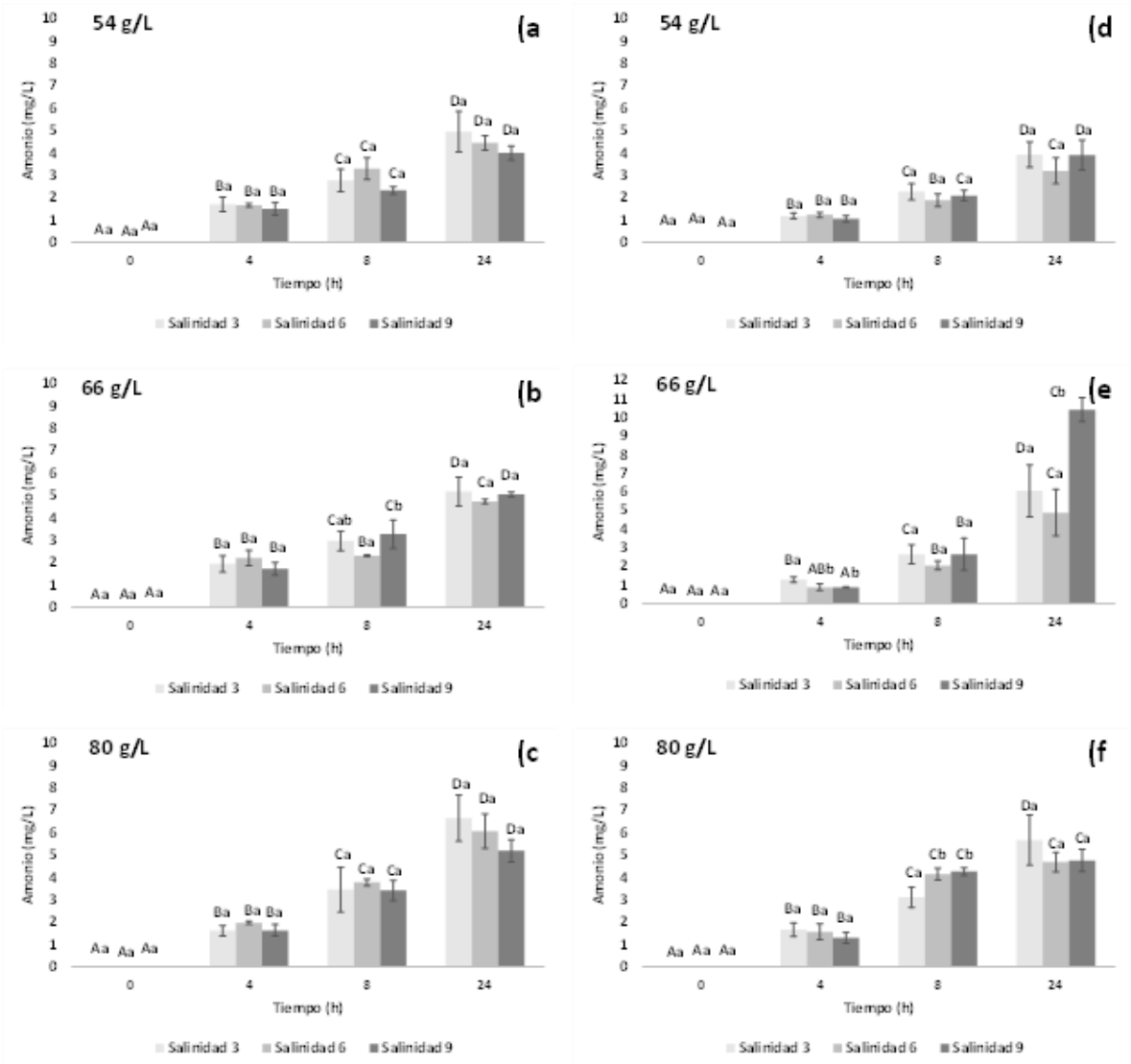


Figura 7. Concentraciones de amonio en el agua de transporte de crías de tilapia Oreochromis niloticus transportadas a tres salinidades (3, 6 y 9 ups) y a diferentes densidades (54, 66 y 80 g/L), durante 0, 4, 8 y 24 h, a 20 mg/L de OD y a 22 °C. Los paneles a), b) y c) corresponden a crías de 1.2 ± 0.3 g, y los paneles d), e) y f) a crías de 2.4 ± 0.3 g. Las barras representan los valores promedio y las líneas verticales en cada uno la DE. n = 3. Letras mayúsculas indican diferencias significativas (P<0.05) entre tiempos de transporte. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (P<0.05) entre salinidades por tiempo de transporte.

1.2 ± 0.3 g 2.4 ± 0.3 g

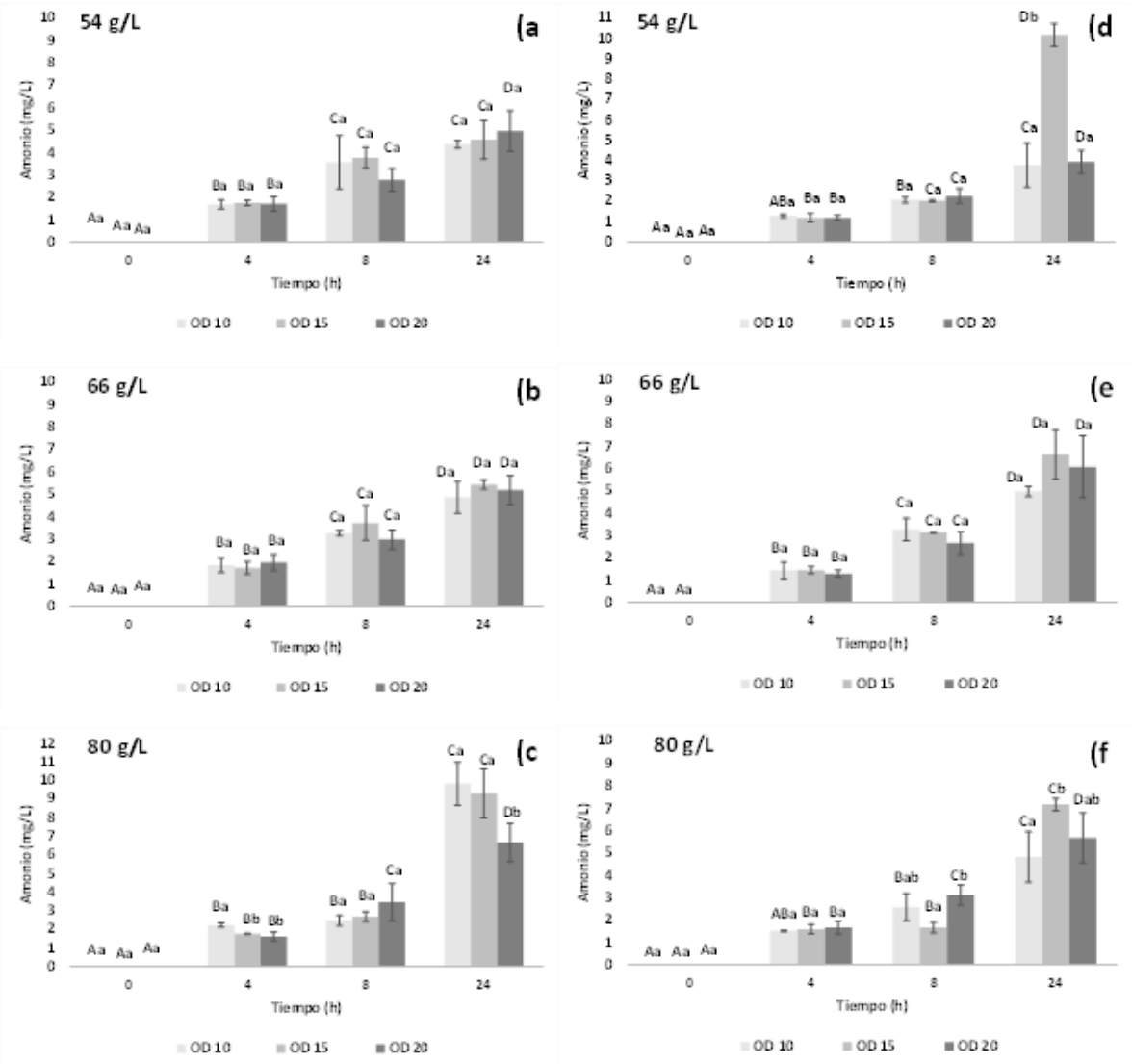


Figura 8. Concentraciones de amonio en el agua de transporte de crías de tilapia Oreochromis niloticus transportadas a tres concentraciones de oxígeno disuelto (10, 15 y 20 mg/L) y a diferentes densidades (54, 66 y 80 g/L), durante 0, 4, 8 y 24 h, a 22 °C y 3 ups. Los paneles a), b) y c) corresponden a crías de 1.2 ± 0.3 g, y los paneles d), e) y f) a crías de 2.4 ± 0.3 g. Las barras representan los valores promedio y las líneas verticales en cada uno la DE. n = 3. Letras mayúsculas indican diferencias significativas (P<0.05) entre tiempos de transporte. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (P<0.05) entre concentraciones de oxígeno disuelto por tiempo de transporte.

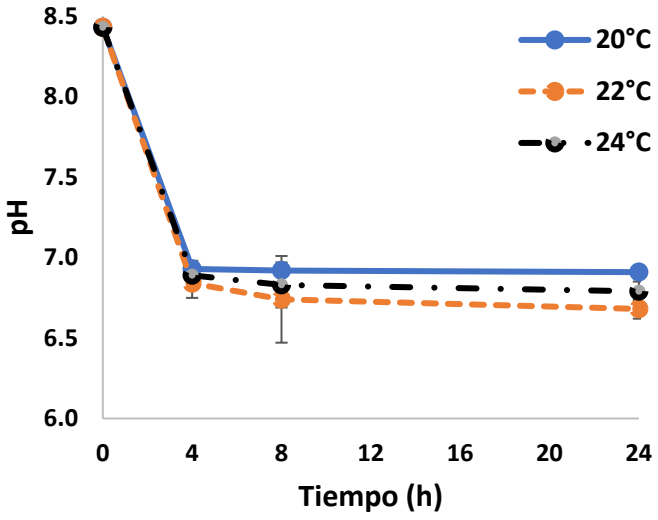


Figura 9. Variación del pH del agua, al finalizar los tratamientos de transporte de crías de tilapia de 1.2 ± 0.3 g (Oreochromis niloticus) a diferentes temperaturas. Los valores son la media ± DE. n a 20°C = 9; n a 22°C = 45; n a 24°C = 9.

No existieron diferencias significativas (*P*>0.05) entre los valores de pH a un mismo tiempo y diferentes temperaturas. Con los valores promedio de pH, los porcentajes de amoniaco (NH_3) calculados (Emerson *et al*., 1975) fueron despreciables (0.125, 0.145 y 0.167 %) a las temperaturas de 20, 22 y 24 °C respectivamente.

7.4 Efecto combinado de las variables ambientales sobre la supervivencia pos-transporte 8D

Para conocer el efecto de las variables zootécnicas y fisicoquímicas probadas se elaboraron los gráficos de superficies de respuesta de las Figuras 10, 11 y 12. En la Figura 10 se muestra la supervivencia pos-transporte 8D en función de la densidad (54, 66 y 80 g/L) y el peso de las crías (1.2 ± 0.3 g y 2.4 ± 0.3 g) a diferentes tiempos de transporte (4, 8 y 24 h), a una temperatura de 22 °C y a 3 ups de salinidad. Aquí se confirma que la supervivencia pos-transporte 8D es más alta en las crías más grandes sin existir un efecto claro de la densidad de transporte. La supervivencia pos-transporte 8D fue menor entre menor sea el peso de las crías y conforme aumenta la densidad.

En la Figura 11 se muestra la supervivencia pos-transporte 8D en función del tiempo de transporte y del peso de las crías, a las tres densidades probadas. Se observa que la supervivencia pos–transporte 8D disminuye conforme aumenta el tiempo de transporte y disminuye el peso de los organismos. En la Figura 12 se muestra la supervivencia pos-transporte 8D en función del tiempo y de la densidad, a los dos tamaños de crías probados, donde supervivencia pos-transporte 8D es más alta a menores tiempos y densidades de transporte.

En resumen, en las Tablas 9, 10 y 11 se presentan los resultados comparativos de supervivencia, supervivencia pos-transporte 8D, glucosa en sangre, las concentraciones de OD en términos absolutos y en porcentaje de saturación, amonio y amoniaco al finalizar los ensayos de transporte, en las crías de los dos tamaños y a las tres densidades probadas respectivamente, a 22 °C y 3 ups. Aquí se confirma que al final del transporte, no hubo diferencia significativa en la supervivencia de las crías de ambas tallas y a los diferentes tiempos de transporte.

Se observa que la supervivencia pos-transporte 8D es significativamente mayor en las crías de mayor peso en los 3 tiempos de transporte probados. No se observa un patrón claro de variación en las concentraciones de glucosa entre las crías de dos tamaños y a diferentes tiempos de transporte. El OD al final del transporte estuvo a niveles de sobre saturación y el amonio se observa un incremento con el tiempo de transporte.

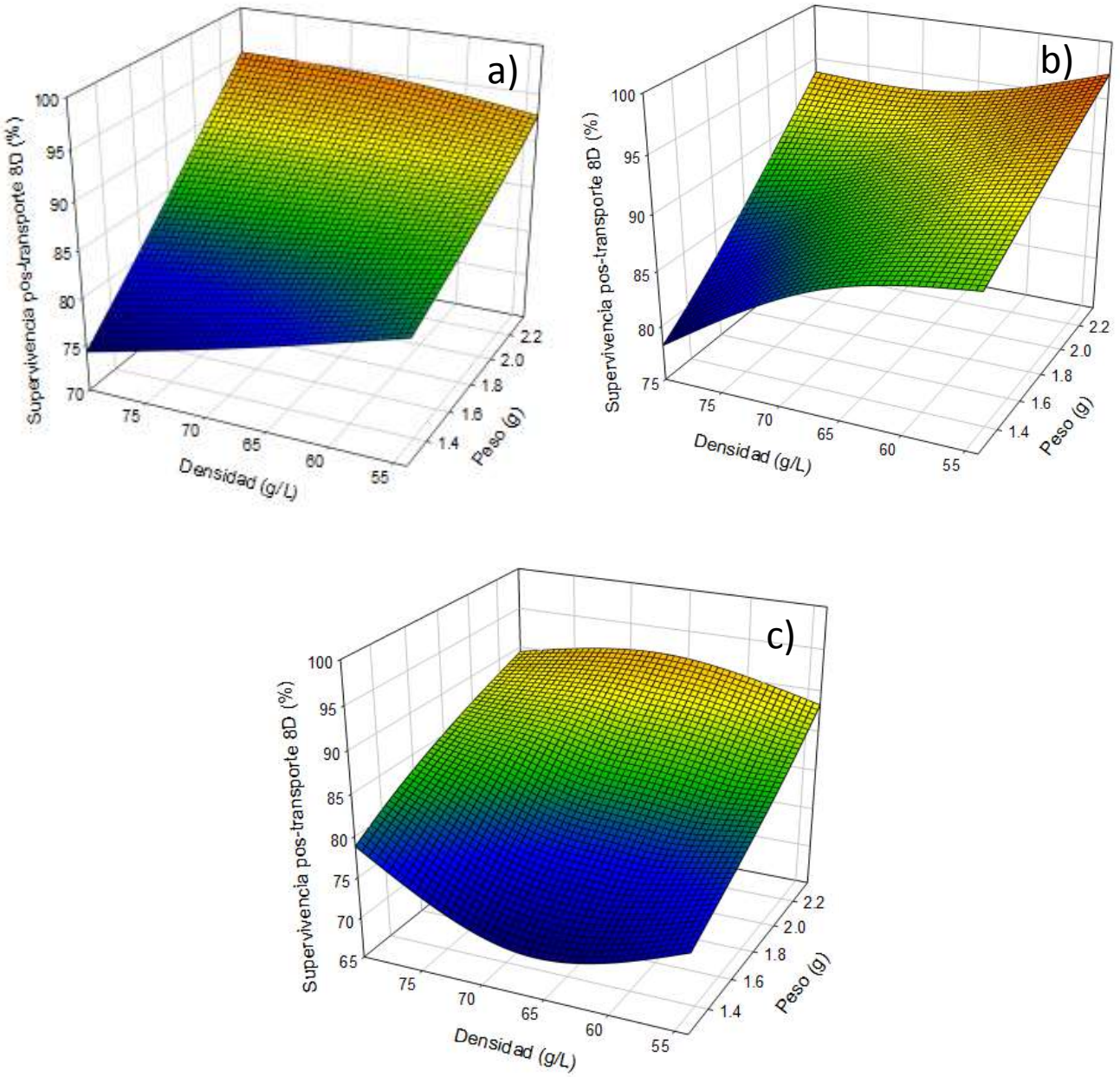


Figura 100. Supervivencia pos-transporte 8D promedio de crías de tilapia Oreochromis niloticus en función de la densidad y el peso de las crías durante a) 4 h, b) 8h y c) 24 h de transporte, a 22 °C y 3 ups.

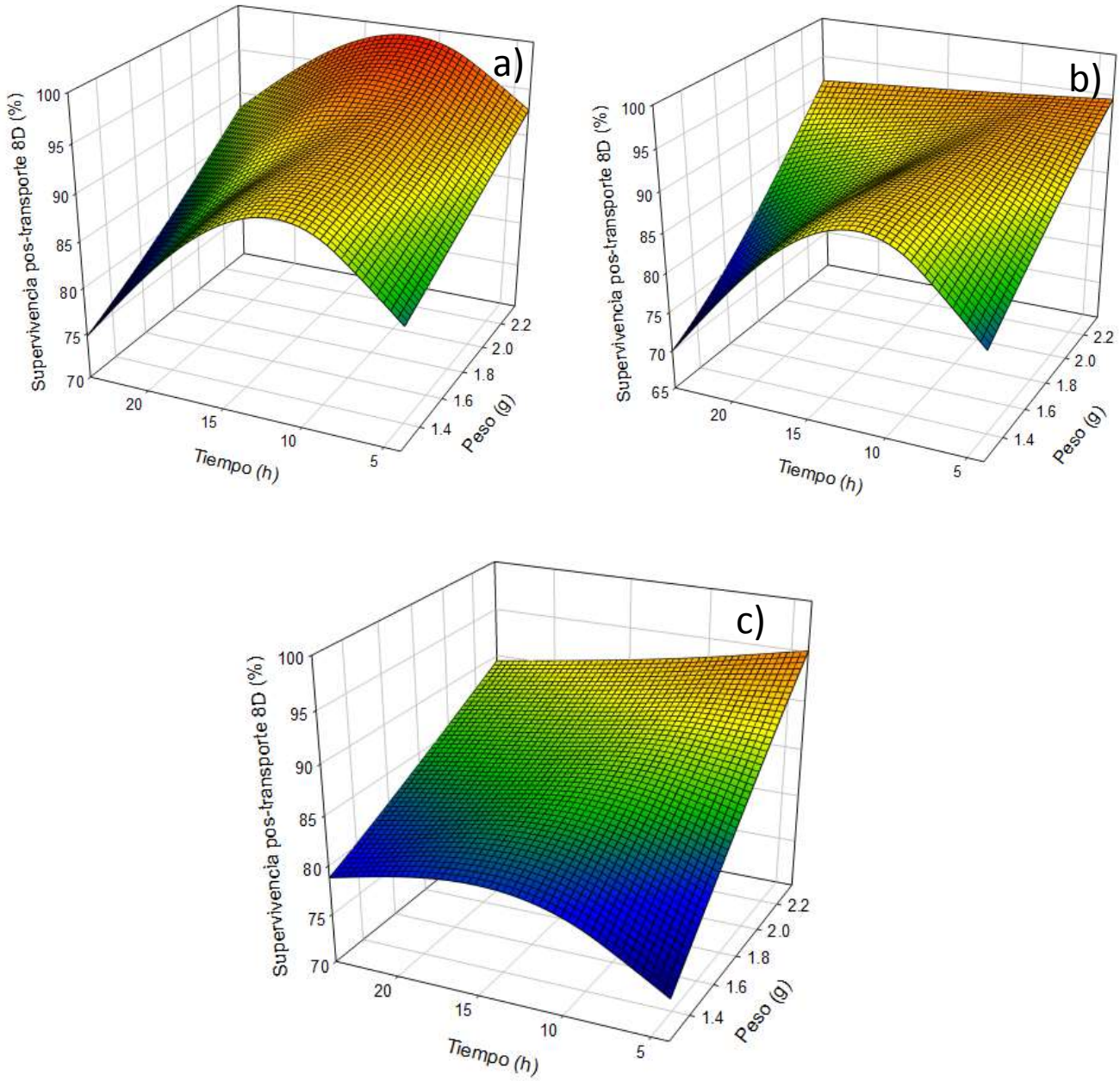


Figura 111. Supervivencia pos-transporte 8D promedio de crías de tilapia Oreochromis niloticus en función del tiempo de transporte y del peso de las crías a las densidades de a) 54 g/L, b) 66 g/L y c) 80 g/L, a 22 °C y 3 ups.

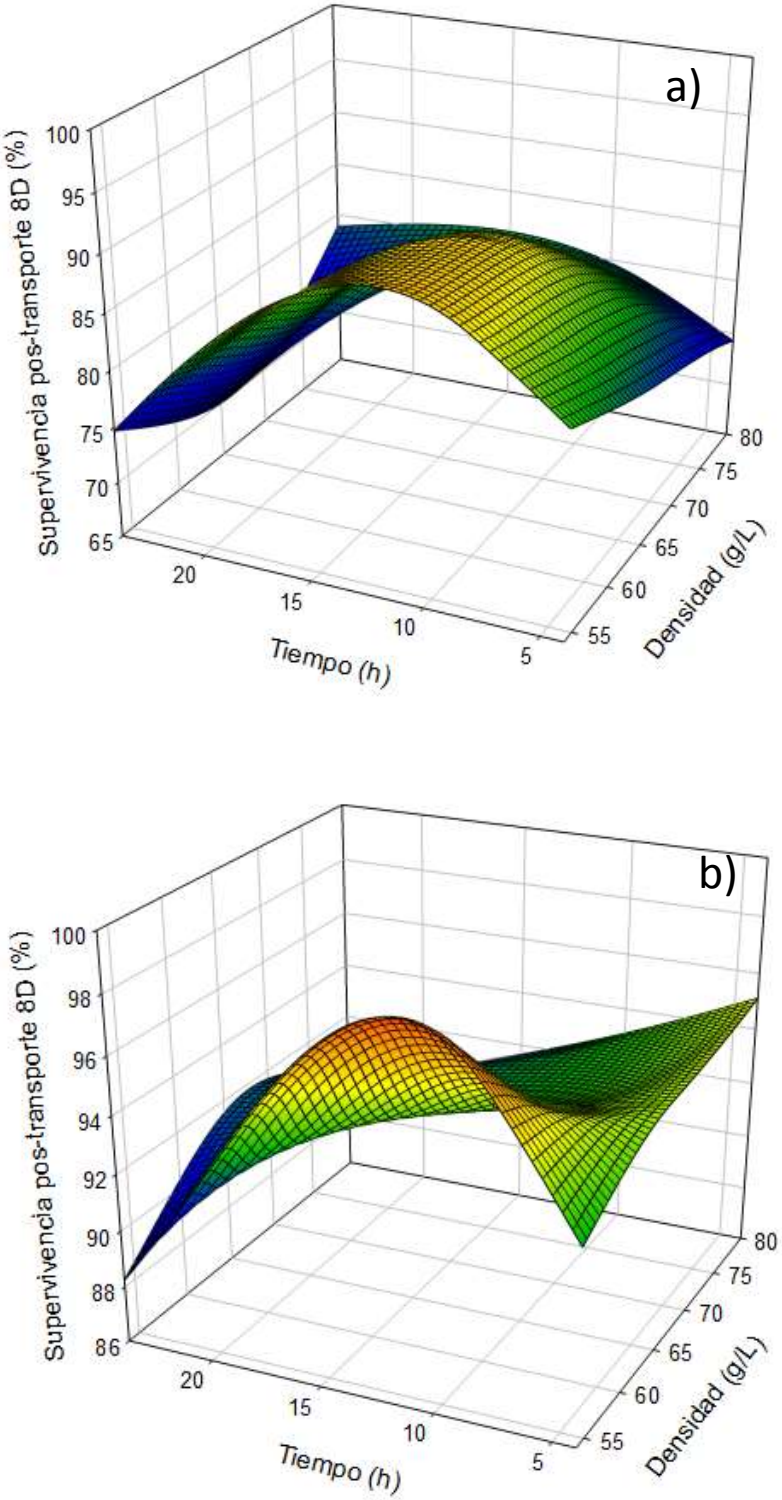


Figura 122. Supervivencia pos-transporte 8D promedio de crías de tilapia *Oreochromis niloticus* de a) 1.2 ±0.3 g y b) 2.4 ± 0.3 g en función del tiempo y de la densidad de transporte, a 22 °C y 3 ups.

Tabla 9. Comparación entre supervivencia, supervivencia pos-transporte 8D y glucosa en sangre de crías de tilapia (*Oreochromis niloticus*) de dos tamaños, transportados durante 4, 8 y 24 h a 22 °C, 3 ups de salinidad y a una densidad de 54 g/L. Se muestran además las concentraciones promedio finales de oxígeno disuelto, amonio y amoniaco en el agua.

Tiempo	Peso de las crías	Supervivencia	Supervivencia Pos-transporte 8D	Glucosa	Oxígeno disuelto		Amonio (NH_4^+)	Amoniaco (NH_3)
	(g)	(%)	(%)	mg/dL	mg/L	%sat	mg/L	mg/L
4	1.2 ± 0.3	100 ± 0.0 [a]	82.5 ± 9.0 [bc]	34.0 ± 8.6 [b]	14.9 ± 1.5 [c]	189	1.7 ± 0.3 [c]	0.0025
	2.4 ± 0.3	100 ± 0.0 [a]	89.2 ± 12.6 [ab]	39.7 ± 8.0 [b]	23.5 ± 2.3 [a]	297	1.2 ± 0.1 [c]	0.0017*
8	1.2 ± 0.3	100 ± 0.0 [a]	89.5 ± 12.6 [ab]	45.9 ± 11.1 [ac]	14.6 ± 1.0 [c]	185	3.1 ± 0.8 [b]	0.0045
	2.4 ± 0.3	100 ± 0.0 [a]	96.3 ± 4.1 [a]	28.1 ± 5.1 [d]	21.5 ± 3.4 [a]	272	2.2 ± 0.3 [bc]	0.0032*
24	1.2 ± 0.3	100 ± 0.0 [a]	77.2 ± 11.0 [c]	40.3 ± 8.3 [bc]	11.6 ± 0.5 [d]	147	4.8 ± 0.8 [a]	0.0070
	2.4 ± 0.3	99.4 ± 2.3 [a]	88.8 ± 14.6 [ab]	57.3 ± 18.3 [a]	17.8 ± 2.9 [b]	225	5.2 ± 2.7 [a]	0.0075*

Los datos son la media ± *DE*. *n* = 3. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre peces de diferente peso promedio y entre horas de transporte $P<0.05$. *Valores calculados infiriendo los valores de pH de los tratamientos con crías de 1.2 ± 0.3 g.

Tabla 10. Comparación entre supervivencia, supervivencia pos-transporte 8D y glucosa en sangre de crías de tilapia (Oreochromis niloticus) de dos tamaños, transportados durante 4, 8 y 24 h a 22 °C, 3 ups de salinidad y a una densidad de 66 g/L. Se muestran además las concentraciones promedio finales de oxígeno disuelto, amonio y amoniaco en el agua.

Tiempo	Peso	Supervivencia	Supervivencia Pos-transporte 8D	Glucosa	Oxígeno disuelto		Amonio (NH_4^+)	Amoniaco (NH_3)
	(g)	(%)	(%)	mg/dL	mg/L	%sat	mg/L	mg/L
4	1.2 ± 0.3	99.8 ± 0.7 [a]	80.3 ± 6.6[bc]	30.6 ± 8.5 [b]	14.3 ± 1.4 [b]	181	1.9 ± 0.3 [c]	0.0028
	2.4 ± 0.3	100 ± 0.0 [a]	92.5 ± 7.2 [a]	47.7 ± 10.6 [a]	21.9 ± 2.4 [a]	277	1.3 ± 0.2 [d]	0.0019*
8	1.2 ± 0.3	99.8 ± 0.9 [a]	84.2 ± 12.9 [ab]	46.0 ± 8.2 [a]	14.1 ± 1.1 [b]	178	3.2 ± 0.5 [b]	0.0046
	2.4 ± 0.3	100 ± 0.0 [a]	93.4 ± 5.3 [a]	32.2 ± 7.0 [b]	22.2 ± 2.0 [a]	281	2.9 ± 0.5 [b]	0.0042*
24	1.2 ± 0.3	99.2 ± 2.1 [a]	70.1 ± 15.2 [c]	42.7 ± 9.5 [a]	11.3 ± 0.3 [c]	143	5.2 ± 0.6 [a]	0.0075
	2.4 ± 0.3	98.6 ± 3.9 [a]	91.0 ± 11.4 [a]	49.8 ± 13.5 [a]	15.4 ± 2.6 [b]	195	6.0 ± 1.3 [a]	0.0087*

Los datos son la media ± *SD*. *n* = 3. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre peces de diferente peso promedio y entre horas de transporte $P<0.05$. *Valores calculados infiriendo los valores de pH de los tratamientos con crías de 1.2 ± 0.3 g.

Tabla 11. Comparación entre supervivencia, supervivencia pos-transporte 8D y glucosa en sangre de crías de tilapia (Oreochromis niloticus) de dos tamaños, transportados durante 4, 8 y 24 h a 22 °C, 3 ups de salinidad y a una densidad de 80 g/L. Se muestran además las concentraciones promedio finales de oxígeno disuelto, amonio y amoniaco en el agua.

Tiempo	Peso	Supervivencia	Supervivencia Pos-transporte 8D	Glucosa	Oxígeno disuelto		Amonio (NH_4^+)	Amoniaco (NH_3)
	(g)	(%)	(%)	mg/dL	mg/L	%sat	mg/L	mg/L
4	1.2 ± 0.3	99.4 ± 1.8 [a]	78.0 ± 7.1 [b]	37.1 ± 8.8 [b]	13.0 ± 1.4 [b]	165	1.8 ± 0.3 [d]	0.0026
	2.4 ± 0.3	100 ± 0.0 [a]	92.7 ± 8.9 [a]	39.5 ± 9.9 [b]	21.0 ± 1.7 [a]	266	1.6 ± 0.2 [d]	0.0023*
8	1.2 ± 0.3	99.2 ± 1.4 [a]	78.9 ± 9.7 [b]	45.5 ± 22.4 [b]	14.2 ± 1.3 [b]	180	3.1 ± 0.9 [c]	0.0045
	2.4 ± 0.3	99.3 ± 1.9 [a]	90.7 ± 8.0 [a]	34.5 ± 9.7 [b]	20.3 ± 2.2 [a]	257	2.7 ± 0.7 [cd]	0.0039*
24	1.2 ± 0.3	96.3 ± 6.1 [a]	79.1 ± 13.2 [b]	68.1 ± 9.9 [a]	11.2 ± 0.8 [c]	142	7.8 ± 1.8 [a]	0.0113
	2.4 ± 0.3	99.2 ± 2.0 [a]	89.7 ± 10.0 [a]	60.4 ± 12.5 [a]	15.2 ± 1.8 [b]	192	5.8 ± 1.2 [b]	0.0084*

Los datos son la media ± *SD*. *n* = 3. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre peces de diferente peso promedio y entre horas de transporte $P<0.05$. *Valores calculados infiriendo los valores de pH de los tratamientos con crías de 1.2 ± 0.3 g.

8. DISCUSIÓN

Existen manuales (Swann, 1993; FAO, 2009) y publicaciones científicas sobre el transporte de peces (Berka, 1986; Johnson, 1988; Adamante *et al.,* 2008; Bittencourt *et al.*, 2018; Montañez *et al.,* 2020) que pudiesen servir de base para los productores. Particularmente el trabajo de Swann (1993) está enfocado al transporte de peces en bolsas como las que aquí se emplearon y describe el método correcto para realizarlo. Sin embargo, ese trabajo es aplicable a diversas especies templadas y es necesario definir las condiciones específicas para cada especie, tamaño y las condiciones de manejo y ambientales particulares.

En el presente trabajo se determinó el efecto de los factores fisicoquímicos y zootécnicos de transporte simulado de crías de tilapia *O. niloticus* sobre la supervivencia, la supervivencia pos-transporte 8D y los niveles de glucosa sanguínea, empleando crías tilapia del Nilo (*O. niloticus*) de peso individual de 1.2± 0.3 g y 2.4± 0.3 g. Para los experimentos de transporte simulado se emplearon las bolsas de polietileno conteniendo 1/3 de agua dulce y 2/3 de oxígeno variando temperatura, salinidad y el OD inicial a diferentes niveles de saturación. Se consideraron como condición basal 22°C de temperatura, 3 ups de salinidad y 20 mg/L de OD inicial, forma común como se transportan los peces vivos para diferentes fines (Belema *et al*., 2017; Bittencourt *et al*., 2018; Montañez *et al*., 2020; Shah, 2021).

Se emplearon 10,459 peces de los cuales 6,890 fueron de 1.2 ± 0.3 g, y 3,519 de 2.4 ± 0.3 g. Se probaron 126 tratamientos combinando tres tiempos de transporte (4, 8 y 24 h), tres densidades (54, 66 y 80 g/L), a tres temperaturas (20, 22 y 24 °C), tres salinidades (3, 6 y 9 ups) y tres concentraciones de oxígeno disuelto (10, 15 y 20 mg/L). El tamaño de las crías empleadas en este estudio es el que actualmente demandan los productores (A. N. Maeda-Martínez com. pers.), a pesar de que las crías pueden ser comercializadas a partir de los 0.2g que es cuando terminan el proceso de reversión sexual (FAO, 2009). A pesar de que el costo de las crías es más elevado que las de 0.2g, los productores prefieren crías más grandes por las ventajas que poseen incluyendo: a) mayor supervivencia, b) no necesidad de hacer transferencias de peces una vez sembrados, c) uso de alimentos balanceados con menor contenido de proteína y, por consiguiente, menor costo, y d) menor tiempo de cultivo. A la fecha no existe información precisa sobre su transporte, ni sobre la supervivencia pos-transporte.

En términos generales, en el presente estudio se encontró que las condiciones de temperatura, salinidad, OD y densidades probadas no produjeron mortalidad de las crías en ninguno de los tratamientos. Orina *et al.* (2014), realizaron un trabajo similar al presente donde determinaron las densidades óptimas de transporte de crías de 0.2, 0.5 y 5.0g durante un máximo de 24 h a 22.8-23.6 °C, 0 ups de salinidad y probaron 3 densidades 4, 8 y 12 peces por litro, equivalentes a 0.8, 1.6 y 16 g/L en crías de 0.2 g; 2.0, 4.0, y 6.0 g/L en crías de 0.5g, y 20, 40 y 60 g/L en crías de 5 g. Los autores registraron una mortalidad máxima de 11.3 % (88.7 % de supervivencia) en crías de 5g a la máxima densidad de 60 g/L. La mortalidad la atribuyeron a una limitación en el OD, cuya concentración cayó de 8.5 mg/L al inicio del experimento a 3.2 mg/L, lo cual difiere del presente estudio al ser 10 mg/L de OD el valor mínimo de sobresaturación empleado.

De igual manera Oliveira *et al.* (2009) en su estudio de transporte de tilapia de 9.74 y 29.6 g de peso promedio individual durante 5 h de transporte en bolsas plásticas, reporta una supervivencia de 97.26 % sin mostrar diferencias entre los pesos promedios de los organismos estudiados. Montañez *et al.*, 2020 reportan cero mortalidades durante el transporte de crías de tilapia de 6 a 15 g durante tres h de transporte. Sin embargo, existen estudios donde se obtuvieron mortalidades importantes como el de Blancas-Arrollo *et al.* (2014) con mortalidades de hasta el 88 % transportando peces del género *Chirostoma* sp. Por lo anterior, podemos determinar que los factores evaluados dentro del presente estudio están dentro del intervalo de aceptación y plasticidad biológica de la tilapia, para la obtención de una supervivencia conveniente al término de los tiempos de transporte evaluados.

Sin embargo, en el presente trabajo la supervivencia declinó gradualmente durante los primeros 4-5 días y posteriormente se estabilizó hasta los 8 días de experimentación. La supervivencia de las crías pequeñas fue significativamente más afectada llegando al 81 % comparado con las crías de mayor tamaño con 97.8 %. El estadio de vida de los organismos a transportar es un factor importante a considerar en la actividad acuícola, ya que entre mayor sea el peso de los organismos, se espera un mejor resultado en la supervivencia pos-transporte. Esto se podría atribuir a una mayor capacidad de adaptación y menor susceptibilidad de los organismos a mayores tallas.

Cierta proporción de la mortalidad pos-transporte 8D posiblemente pudiera deberse a la manipulación de las crías durante el empaque o en la transferencia a las jaulas de cultivo ya

que, a menor tamaño, mayor es la dificultad para contarlas y transferirlas con riesgo de daño físico. Obirikorang *et al.* (2022) probaron que los peces de talla menor (0.37g) son afectadas por la manipulación y el movimiento. Ellos compararon los niveles de estrés, el crecimiento y la supervivencia pos-transporte de crías de tilapia de 0.37g transportadas durante 6 h en camino asfaltado y en terracería. Los resultados indicaron que los peces transportados por terracería registraron mayor consumo de oxígeno, mayor excreción de amonio y una mortalidad pos-transporte del 12 % a los 7 días, comparado con el 2 % de mortalidad de los peces transportados en camino asfaltado. Mencionan que ese 12 % representa una pérdida económica muy importante sobre todo en aquellos casos donde se transportan crías de manera masiva. Para el presente trabajo la manipulación y factores físicos durante el transporte son mínimos en comparación a lo reportado por Obirikorang *et al.* (2022), así como las tallas evaluadas fueron superiores. Por otra parte, a altas densidades aumenta la posibilidad de provocar heridas en los organismos durante el proceso de transporte, lo cual compromete el bienestar de los organismos (Gomes *et al.,* 2003).

De igual manera, la densidad y la biomasa de peces a transportar se debe determinar previamente. Carneiro y Urbinati, (2002); Gomes *et al.* (2003); Urbinati, (2004); Blancas-Arroyo *et al.* (2014) y Bittencourt *et al.* (2018), recomiendan densidades de transporte (no específicos para tilapia) entre 150 y 300 g/L, ya que la densidad es un factor desencadenante de estrés en los organismos (Carneiro *et al.,* 2009). A mayor biomasa, mayor interacción de organismos y riesgo de contacto y daño físico entre los organismos o paredes de los contenedores de transporte. En la presente investigación las biomasas evaluadas hasta de 80 g/L no mostraron diferencias significativas en la supervivencia pos-transporte a los ocho días con un promedio de 89.6 %.

La tilapia es un organismo que tolera densidades altas de cultivo (Vega-Villasante *et al*., 2010), por lo cual el conocimiento de la capacidad máxima de carga del medio de transporte sirve para hacer eficiente económica y ambientalmente la actividad (Navarrete-Salgado y Morales-Ventura, 2000). A pesar de no mostrar diferencias estadísticas significativas en los resultados obtenidos, la biomasa de 80 g/L tuvo un 2 % menos de supervivencia en comparación con la biomasa de 57 g/L, lo cual podría generar pérdidas a nivel producción.

En el presente trabajo se ha descartado la influencia del OD como causante de las mortalidades pos-transporte 8D, ya que los niveles de OD siempre se mantuvieron a nivel de sobresaturación. Las concentraciones de OD promedio al finalizar los experimentos fueron de 14.26, 16.04 y 17.67 mg/L, en los tratamientos de 10, 15 y 20 mg/L. Esto se logró gracias a la sobresaturación de OD al burbujear con O_2 puro el agua antes de cerrar las bolsas y a la atmósfera saturada de oxígeno equivalente a 2/3 el volumen total de la bolsa que se dejó sobre el agua al inicio del transporte (Oliveira *et al.,* 2009; Das *et al.,* 2015; Espinoza-Ramos *et al.,* 2021).

La temperatura modifica la solubilidad del oxígeno en el agua, así como el metabolismo de los organismos (Valbuena-Villarreal y Cruz-Casallas, 2006). En transporte de peces vivos se recomienda la reducción de la temperatura del agua de transporte desde los 15° a 22°C según la tolerancia de la especie (Swann, 1993; Saini *et al.,* 2018). Los resultados de la supervivencia pos-transporte 8D no tuvo diferencias estadísticas significativas entre las tres temperaturas evaluadas. Sin embargo, la temperatura que mejor resultado arrojó fue de 24°C, lo cual representa una ventaja por el ahorro en compra de hielo para enfriamiento del agua y el tiempo de aclimatación de 15 min por cada grado centígrado de diferencia entre el agua de transporte y el agua de siembra (García-Pérez, 2021).

La alta densidad y biomasa transportada reduce de manera significativa la calidad del agua aumentando la concentración de glucosa en sangre de los organismos. Uno de los indicadores de estrés en peces más utilizados es la glucosa en sangre (Robertson *et al*., 1987; Barton, 2000; Carneiro y Urbinati, 2002; Sampaio y Freire, 2016), ya que se libera glucosa en la sangre como una respuesta secundaria del efecto del estrés por la liberación de catecolaminas y la hormona cortisol que forman parte de la respuesta primaria de los organismos ante un estímulo estresor (Herrera *et al*., 2019). Montañez-Calero *et al.* (2022) reportan niveles de glucosa basal de 80.7±17.0 y 84.45±12.4 mg/dl respectivamente, mientras Oliveira et al. (2009) reporta una concentración sanguínea de glucosa basal de 47.4mg/dL en alevines y 53.7 mg/dl para juveniles de tilapia. En el presente estudio se obtuvo un valor promedio general de 41.7 mg/dL coincidiendo con lo obtenido por Oliveira *et al*. (2009). Estas diferencias de glucosa se pueden deber al tamaño de los organismos, así como también al manejo previo que se les da a los organismos, antes de ser transportados (King, 2009).

Carneiro *et al*. (2009), mencionan que el aumento de la glucemia de los organismos después del transporte se debe al aumento de la densidad. Okomura *et al.* (2007) reportan concentraciones de glucosa en sangre máxima 103.8 mg/dL y mínima de 74.4 mg/dL después del transporte de 12 h. Ellos recomiendan agregar vitamina C en el alimento a razón de 1 g/Kg durante 14 días previos al transporte como profiláctico para reducir los niveles de estrés durante el transporte.

La concentración de amoniaco también se ha descartado como posible causante de mortalidad pos-transporte 8D. A pesar de que hubo una acumulación gradual de amoniaco en el agua de transporte, las concentraciones oscilaron en las milésimas de mg/L cuando los niveles letales de amoniaco en *O. niloticus* son a partir de 0.6 mg/L (El-Shafai *et al.,*2004). Los bajos niveles de amoniaco se deben posiblemente al periodo de inanición de 24h al que fueron sometidos las crías antes de iniciar el experimento (EmmanuelB y Fayinka, 2013).

En este trabajo las temperaturas se mantuvieron estables a 20, 22 y 24 °C, sin embargo, el pH cayó 1.73 unidades de 8.5 a 6.7 a 24 °C en 24h. La disminución en el pH del agua durante el transporte está documentado (Swann, 1993) y se debe probablemente a la producción de CO_2, como subproducto de la respiración de los peces. Al disminuir el pH, la proporción de amoniaco del total de amonio registrado disminuye. En contraste a estos resultados, en el estudio de Orina *et al*. (2014) el pH va en aumento conforme se incrementa el tiempo de transporte lo cual explican por la acumulación de metabolitos.

Finalmente, es importante señalar que a las condiciones de transporte aquí determinadas podría existir la posibilidad de incrementar más allá de 80 g/L la densidad de transporte mediante el uso de substancias sedantes que reducen el estrés de los organismos. Montañez-Calero *et al.* (2022) evaluaron el efecto sedante de la valeriana (*Valeriana officinalis*) (200 mg/L), benzocaína: (35 mg/L) y metanosulfonato de tricaína (MS-222) (75 mg/L) sobre el estrés por transporte de tilapia de 6 a 15 g de peso durante 3 horas de transporte. Las muestras de sangre para determinar la concentración de glucosa en plasma las tomaron al finalizar las 3 h de transporte. Los resultados indicaron niveles de glucosa de 84.4 ±12.4 mg/dL en el grupo control y valores similares en el tratamiento con MS-222 (85.5 ± 15.6 mg/dL). Sin embargo, los tratamientos de benzocaína y valeriana produjeron un aumento en la glucosa de 155.3 ± 24.9 mg/dL y 316.1 ± 117.4 mg/dL respectivamente, pero sin causar mortalidades en ninguno de los tratamientos.

Adicionalmente Oliveira *et al*. (2009) evaluaron el efecto de diferentes concentraciones de cloruro de sodio, benzocaína y aceite de clavo en el agua de transporte de alevines de 9.7 ± 0.1 g y juveniles de 29.6 ± 0.1 g durante 5 h de transporte, y utilizando bolsas de plástico de 5 L. Los resultados indicaron un 88.7 % de supervivencia en el tratamiento control sin sal, mientras que a las concentraciones de 4 y 8 g/L no registraron mortalidad. Los bioensayos con benzocaína fueron de 0, 20 y 40 mg/L donde la supervivencia en 0 y 20 mg/L fue del 100 % mientras que con 40 mg/L tuvo una supervivencia de 89.7 %. La concentración óptima de aceite de clavo fue de 2 mg/L con un 100 % de supervivencia, mientras que a las concentraciones de 0 y 5 mg/L 98.5 % de supervivencia. Los niveles medio de glucosa en sangre fueron 47.1, 59.5 y 45.1 mg/dL en los tratamientos de cloruro de sodio, benzocaína y aceite de clavo respectivamente. Estos autores concluyeron que las tres sustancias pueden ser utilizadas en el transporte de tilapia del Nilo durante cinco horas, sin embargo, es recomendable el uso de 6 a 8 g/L de cloruro de sodio por su bajo costo y fácil adquisición, además de tener efecto antiséptico y reducir el estrés en *O. niloticus.*

9. CONCLUSIONES

1.- Los factores evaluados en la presente investigación estuvieron dentro de los límites de plasticidad biológica, ya que los tratamientos muestran una supervivencia pos-transporte inmediata cercana al 100 %, la cual se ve afectada por la duración e intensidad de los factores evaluados en días posteriores.

2.- Existió un efecto negativo en supervivencia pos-transporte 8D (82 %) y glucosa sanguínea (51.0 mg/dL) en crías de tilapia principalmente por efecto de la temperatura, peso individual de los organismos, densidad y tiempos de transporte.

3.- Las mejores condiciones de transporte, a partir de los escenarios evaluados, se obtienen con crías de 2.4 ± 0.3g transportadas a una densidad de 80 g/L hasta por 24 h, a 24°C, 3 ups y OD inicial por encima de los 10 g/L.

4.- Dentro del efecto de las variables físico-químicas en el transporte de crías de tilapia la temperatura a pesar de no mostrar diferencias estadísticas significativas, 24 °C tuvo una supervivencia pos-transporte a los ocho días de 90.7 % comparada con la temperatura de 22°C arrojando una supervivencia de 87.8 %, donde el 3 % de diferencia a nivel producción se podría considerar importante.

5.- La causa más probable de las mortalidades pos-transporte puede ser la temperatura, sumada a la manipulación de las crías. Se recomienda evaluar los factores de manipulación física y verificar con los productores que adquieren las crías la supervivencia registrada al menos durante los 5 días posteriores al transporte, ya que es cuando ocurren las mortalidades.

6.- El uso del sistema de bolsas de plástico es una excelente alternativa para realizar el transporte de crías de tilapia, bajo las condiciones descritas en el presente trabajo.

7.- Se recomienda determinar las concentraciones óptimas de substancias relajantes como el eugenol (Cupp *et al.,* 2017) para poder incrementar la densidad de transporte a un máximo posible, así como realizar un estudio del efecto de la toxicidad del oxígeno sobre las crías de tilapia para determinar el valor máximo.

8.- Se recomienda estudiar el cortisol y el lactato para comparar su efectividad contra la glucosa como indicadores fisiológicos de estrés, con los cuales se podría estudiar el efecto de más variables sobre la fisiología de los organismos.

9.- Se recomienda realizar un estudio similar al presente, pero ampliando los intervalos de valores de las variables estudiadas.

10.- Se recomienda realizar un análisis bioeconómico del transporte de tilapia en bolsas plásticas y hacer la comparación con otros sistemas de transporte.

10. LITERATURA CITADA

Abreu, J.S., Brinn, R.P., Gomes L., McComb, D.M., Baldisserotto, B., Zaiden, S.F., Urbinati E. C. y Marcon J.L. (2014). Effect of beta 1,3 glucan in stress responses of the pencilfish (*Nannostomus trifasciatus*) during transport within the Río Negro basin. *Neotropical Ichthyology*, 12(3): 623–628.

Acerete, L., Balasch, J., Espinosa, E., Josa, A., y Tort, L. (2004). Physiological responses in Eurasian perch *(Perca fluviatilis, L.*) subjected to stress by transport and handling. *Aquaculture,* 237(1-4):167–178*.* doi: 10.1016/j.aquaculture.2004.03.018.

Adamante, W.B., Nuñez, A.P.O., Barcellos, L.J.G., Soso, A.B., y Finco, J.A. (2008). Stress in *Salminus brasiliensis* fingerlings due to different densities and times of transportation. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 60(3):755–761. doi:10.1590/s0102-09352008000300034.

Baird, R.B., Eaton, A.D. y Rice E.W. Eds. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23rd Ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC.

Barandica, C.L.M. y Tort, L.B. (2008). Neuroendocrinología e inmunología de la respuesta al estrés en peces. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* 32(123): 267–284.

Baras, E., Jacobs, B. y Mélard, C. (2001). Effect of water temperature on survival, growth and phenotypic sex of mixed (XX-XY) progenies of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture,* 192:187–199.

Barton, B.A. (2000). Salmonid fishes differ in their cortisol and glucose responses to handling and transport stress*. North American Journal of Aquaculture,* 62(1):12–18. doi:10.1577/1548-8454(2000)062<0012: sfditc>2.0.co;2.

Barton, B.A., Morgan, J.D. y Vijayan, M.M. (2002). Physiological and condition-related indicators of environmental stress in fish. In: Adams S. M., Ed. Biological indicators of aquatic ecosystem stress, American Fisheries Society Bethesda, 111-148.

Berka, R. (1986). The transport of live fish. A review. *European Inland Fisheries Advisory Commission Technical Paper*, (48):52. Food and Agriculture Organization Of The United Nations. Roma.

Bittencourt, F., Damasceno, D.Z., Lui, T.A., Signor, A., Sanches, E.A., y Neu, D.H. (2018). Water quality and survival rate of *Rhamdia quelen* fry subjected to simulated transportation at different stock densities and temperatures. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 40(1):37285. doi:10.4025/actascianimsci. v40i1.

Blancas-Arroyo, G.A., Frías-Sevilla, R., de la Rosa-Pimentel, E., Suárez-Navarro, V., Castro-Gómez, J.R. y Magaña-Morales, J. (2014). Efecto de la salinidad en la sobrevivencia de peces silvestres del género *Chirostoma* durante el transporte y mantenimiento en laboratorio. *Hidrbiológica,* 24(3):223–230.

Braun, N., y Nuñez, A.P. de O. (2014). Stress in *Pimelodus maculatus* (Siluriformes: Pimelodidae) at different densities and times in a simulated transport. *Zoologia (Curitiba)*, 31(1):101–104. doi:10.1590/s1984-46702014000100012.

Brinn, R.P., Marcon, J.L., McComb, D.M., Gomes, L.C., Abreu, J.S., y Baldisseroto, B. (2012). Stress responses of the endemic freshwater cururu stingray *(Potamotrygon* cf. *histrix*) during transportation in the Amazon region of the Rio Negro. *Comparative Biochemistry*

and Physiology Part A: Molecular Integrative Physiology, 162(2):139–145. doi: 10.1016/j.cbpa.2011.07.004.

Carneiro, P.C.F., y Urbinati, E.C. (2002). Transport stress in matrinxã, *Brycon cephalus* (Teleostei: Characidae), at different densities. *Aquaculture International,* 10:221–229.

Carneiro, P.C.F., Kaiseler, P.H. da S., Swarofsky, E. de A.C. y Baldisserotto, B. (2009). Transport of jundiá *Rhamdia quelen* juveniles at different loading densities: water quality and blood parameters. *Neotropical Ichthyology,* 7(2):283–288.

Chow, P.S., Chen, T.W., y Teo, L.H. (1994). Physiological responses of the common clownfish, *Amphipriono cellaris* (Cuvier), to factors related to packaging and long-distance transport by air. *Aquaculture,* 127(4):347–361. doi:10.1016/0044-8486(94)90237-2.

Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (2018). Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2018. Sinaloa, México.

CONABIO. (2014). Ponderación de invasividad de especies exóticas en México (SIEI), *Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758.

Corrales, L.C. y Muñoz, M.M. (2012). Estrés oxidativo: origen, evolución y consecuencias de la toxicidad del oxígeno. *NOVA - Publicación Científica en Ciencias Biomédicas,* 10(18):213–225.

Cupp, A.R., Schreier, T.M. y Schleis, S.M. (2017). Live transport of Yellow Perch and Nile Tilapia in AQUI-S 20E (10% Eugenol) at high loading densities. *North American Journal of Aquaculture,* 79(2):176–182. 10.1080/15222055.2017.1281853

Das, P.C., Bibhudatta, M., Pati, B.K. y Mishra, S.S. (2015). Critical water quality parameters affecting survival of *Labeo rohita* (Hamilton) fry during closed system transportation. *Indian Journal of Fisheries*. 62:39–42.

Delaney, M.A., Klesius, P.H., y Shelby, R.A. (2005). Cortisol response of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), to temperature changes. *Journal of Applied Aquaculture*, 16(3-4):95–104. doi: 10.1300/J028v16n03_06.

Dobšíková, R., Svobodová, Z., Blahová J., Modrá H. y Velíšek J. (2006). Stress response to long distance transportation of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Acta Veterinaria Brno.* 75: 437–448.

Eccles, D.H. (1992). FAO species identification sheets for fishery purposes. Field guide to the freshwater fishes of Tanzania. Prepared and published with the support of the United Nations Development Programme (project URT/87/016). FAO, Rome. 145 p.

El-Shafai, S.A., El-Gohary, F.A., Nasr, F.A., van der Steen, N.P. y Gijzen, H. J. (2004). Chronic ammonia toxicity to duckweed-fed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 232(1-4):117–127.

El-Sherif, M.S. y El-Feky, A.M. (2008). Effect of ammonia on Nile tilapia (*O. niloticus*) performance and some hematological and histological measures. 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Anim. Prod. Fish Res. Dept., Fac. Agric., Suez Canal Univ., Ismailia, Egypt. 513-530.

EmmanuelB E., Fayinka. (2013). Transportation and the effects of stocking density on the survival and growth of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus). *Environmental Science*. https://www.semanticscholar.org/paper/Transportation-and-the-effects-of-stocking-density-EmmanuelB.-Fayinka/557ff52cc24bbc1e639db925a266275318fbcc68?sort=relevance&pdf=true

Emerson, K., Russo, R.C., Lund, R.E. y Thurston, R.V. (1975). Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 32:2379–2383. doi:10.1139/f75-274

Espinosa-Chaurand, L.D., Vargas-Ceballos, M.A., Guzmán-Arroyo, M., Nolasco-Soria, H., Carrillo-Farnés, O., Chong-Carrillo, O. y Vega-Villasante, F. (2011). Biología y cultivo de *Macrobrachium tenellum*: estado del arte. *Hidrobiológica,* 21(2):99–117.

Espinoza-Ramos, L.A., Pepe-Victoriano, R., Huanacuni, J.I. y Nande, M. 2021. Effect of transportation time and stocking density on seawater quality and survival of *Anisotremus scapularis* (Perciformes: Haemulidae). *Journal of World Aquaculture Society,* 53(5):1042–1050.

FAO. (2009). *Oreochromis niloticus*. In Cultured aquatic species fact sheets. Text by Rakocy, J. E. Edited and compiled by Valerio Crespi and Michael New. Disponible en: https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_niletilapia.htm.

FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma. https://doi.org/10.4060/ca9229es.

Flores, C. (2002). Respuestas neuroendocrinas al estrés en peces teleósteos. *Revista Ictiológica* 10: 57–78.

Freckmann, G., Schmid, C., Baumstark, A., Pleus, S., Link, M. y Haug, C. (2012). System accuracy evaluation of 43 blood glucose monitoring systems for self-monitoring of blood glucose according to DIN EN ISO 15197. *Journal of Diabetes Science and Technology.* 1;6(5):1060–1075. doi: 10.1177/193229681200600510.

Fry, F.E.J. (1958). Temperature compensation. *Annual Review of Physiology,* 20(1):207–224. doi:10.1146/annurev.ph.20.030158.

Golombieski, J.I., Silva, L.V.F., Baldisserotto, B. y Da Silva J.H.S. (2003). Transport of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fingerlings at different times, load densities, and temperatures. *Aquaculture,* 216:95–102.

Gomes, L.C., Golombieski, J.I., Chippari-Gomes, A.R. y Baldisserotto, B. (1999). Effect of salt in the water for transport on survival and on Na + and K + body levels of silver catfish, *Rhamdia quelen*, fingerlings. *Journal of Applied Aquaculture.* 9(4):1–9.

Gomes, L., Araujo-Lima, C., Roubach, R., y Urbinati, E. (2003). Assessment on the effect of salt and density on tambaqui fish transportation. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:283–290.

Gomes, L.C., Chagas, E.C., Brinn, R.P., Roubach, R., Coppati, C.E., y Baldisserotto, B. (2006). Use of salt during transportation of air breathing pirarucu juveniles (*Arapaima gigas*) in plastic bags. *Aquaculture,* 256(1-4):521–528.

Gunal, A.C. y Köksal, G. (2005). The acute toxicity of ammonia on Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) larvae and fingerlings. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences,* 29:339–344.

Harmon, T.S. (2009). Methods for reducing stressors and maintaining water quality associated with live fish transport in tanks: a review of the basics. *Reviews in Aquaculture,* 1(1):58–66. doi:10.1111/j.1753-5131.2008.01003. x.

Hernández-López, J. y Vargas-Albores, F. (2003). A microplate technique to quantify nutrients (NO_2^-, NO_3^-, NH_4^+ and PO_4^{3-}) in seawater. *Aquaculture Research*, 34:1201–1204.

Herrera, M., Mancera, J.M. y Costas, B. (2019). The use of dietary additives in fish stress mitigation: comparative endocrine and physiological responses. *Frontiers in Endocrinology.* 10:447. doi: 10.3389/fendo.2019.00447

Hocutt, C.H. y Tilney, R.L. (1985). Changes in gill morphology of *Oreochromis mossambicus* subjected to heat stress. *Environmental Biology of Fishes,* 14(2-3):107–114. doi:10.1007/bf00000820.

Iwama, G.K., Takemura, A. y Takano, K. (1997). Oxygen consumption rates of tilapia in fresh water, sea water, and hypersaline sea water. *Journal of Fish Biology,* 51(5):886–894. doi:10.1111/j.1095-8649. 1997.tb01528. x.

Job, S.C. (1969). The respiratory metabolism of *Tilapia mossambica*. *Marine Biology,* 2:121–126.

Johnson, S.K. (1988). Transport of fish and crustaceans in sealed containers. In: *Inland Aquaculture Handbook*. Texas Aquaculture Association, College Station, Texas. A1504-A1509.

King, H.R. (2009). Fish transport in the aquaculture sector: An overview of the road transport of *Atlantic salmon* in Tasmania*. Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research,* 4(4):163–168. doi: 10.1016/j.jveb.2008.09.034.

McCormick, S.D., Farrell, A.P. y Brauner, C.J. (Eds.). (2013). Fish physiology: euryhaline fishes. Academic Press.

Montañez-Calero, T., Díaz-Coahila, D., Angulo-Herrera, P., Cerro-Temoche, L., Cruz-Castellón, C., Vásquez-Quispesivana, W. Lázaro de la Torre, C.A. (2022). Efecto sedante de un extracto alcohólico de *Valeriana* sp. en alevinos de tilapia (*Oreochromis niloticus*) para la reducción de estrés durante transporte simulado. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú,* 33(3): e21063 https://doi.org/10.15381/rivep.v33i3.21063

Morales, A. (2003). Biología, cultivo y comercialización de la tilapia. AGT Editor, S.A. México D. F.: ISBN: 978-968-463-117-5. pp. 1–30, 126–131.

Navarrete-Salgado, N. y Morales-Ventura, J. (2000). Transporte de *Chirostoma humboldtianum*en bolsas de plástico. *Revista de Zoología* 11:12–15.

Ndau, J.L. y Vilhelm, P.S. (2022). Capacity for thermal adaptation in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): effects on oxygen uptake and ventilation. *Journal of Thermal Biology*, 105:103–206. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103206.

Obirikorang, K.A., Yeboah, E.A., Gyampoh, B.A. y Amanie-Adjei, S.K. (2022). Effect of road conditions on physiological stress responses and post-transportation growth and survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Journal of Applied Aquaculture,* 34(1):180–196. doi: 10.1080/10454438.2020.1825269.

Okamura, D., Araújo, F.G., Logato, P.V.R., Murgas, L.D.S., Freitas, R.T.F. y Araújo, R.V. (2007). Efeito da vitamina C sobre o hematócrito e glicemia de alevinos de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) em transporte simulado. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 59(4):883-888.

Oliveira, J.R., Carmo, J.L. do Oliveira, K.K.C. y Soares, M. do C.F. (2009). Cloreto de sódio, benzocaína e óleo de cravo-da-índianaágua de transporte de tilápia-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia,* 38(7):1163–1169. doi:10.1590/s1516-35982009000700001.

Orina, P.S., Munguti, J.M., Opiyo, M.A. y Karisa, H.C. (2014). Optimization of seed and broodstock transport densities for improved survival of cultured Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L. 1758). *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies,* 1(5):157–161.

Oyoo-Okoth, E., Cherop, L., Ngugi, C.C., Chepkirui-Boit, V., Manguya-Lusega, D., Ani-Sabwa, J., y Charo-Karisa, H. (2011). Survival and physiological response of *Labeo victorianus (Pisces: Cyprinidae, Boulenger 1901*) juveniles to transport stress under a salinity gradient. *Aquaculture,* 319(1-2):226–231. doi: 10.1016/j.aquaculture.2011.06.052.

Paterson, B.D., Rimmer, M.A., Meikle, G.M. y Semmens, G.L. (2003). Physiological responses of the Asian sea bass, *Lates calcarifer* to water quality deterioration during simulated live transport: acidosis, red-cell swelling, and levels of ions and ammonia in the plasma. *Aquaculture,* 218(1-4):717–728. doi:10.1016/s0044-8486(02)00564-1.

Paugy, D., (2003). Centropomidae. p. 451-453. In D. Paugy, C. Lévêque and G.G Teugels (eds.) The fresh and brackish water fishes of West Africa Volume 2. Coll. faune et floretropicales 40. Institut de recherche de développement, Paris, France, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, France and Musée royal de l'Afrique Central, Tervuren, Belgium, 815p.

Pérez-Arvizu, M.L.P. (2009). Efecto de la densidad de siembra en juveniles de lenguado de California *Paralichthys californicus* evaluado mediante indicadores de estrés. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México, 68p.

Purbosari, N., Warsiki, E., Syamsu, K. y Santoso, J. (2019). Natural versus synthetic anesthetic for transport of live fish: a review. *Aquaculture and Fisheries,* 4:129–133. doi: 10.1016/j.aaf.2019.03.002.

Riche, M., y Garling, D. (2003). Feeding tilapia in intensive recirculating systems. NCRAC Extension Fact Sheets. 6.

Robertson, L., Thomas, P., Arnold, C.R. y Trant, J.M. (1987). Plasma cortisol and secondary stress responses of red drum to handling, transport, rearing density, and a disease outbreak. *The Progressive Fish-Culturist*, 49(1):1–12. doi:10.1577/1548-8640(1987)49<1: pcassr>2.0.co;2.

Ross, L.G. (2000). Environmental physiology and energetics. In: *Tilapias: Biology and Exploitation, Fish and Fisheries Series*. Eds. Beveridge, M.C.M. y McAndrew, B.J. Kluwer Academic Publishers. 89–128. doi:10.1007/978-94-011-4008-9_4.

Saavedra-Martínez, M. (2006). Manejo del cultivo de Tilapia. Managua, Nicaragua. USAID, University of Rhode Island, University of Hawaii and CIDEA, USA.

Saini, V.P., Alok, D.K., Ojha M.L., y Surnar S.R. (2018). Anesthetic efficacy of clove oil in the transportation of carp (*Cyprinus carpio*) seed. *Journal of Entomology and Zoology Studies,* 6(5):2397–2402.

Sampaio, F.D.F. y Freire, C.A. (2016). An overview of stress physiology of fish transport: changes in water quality as a function of transport duration. *Fish and Fisheries,* 17(4): 1055–1072. doi:10.1111/faf.12158.

Selye, H. (1950). Stress and the general adaptation syndrome. *British Medical Journal,* 1(4667):1383–1392. doi:10.1136/bmj.1.4667.1383.

Swann, L. (1993). Transportation of fish in bags. North Central Regional Aquaculture Center. Indiana.

Takahashi, L.S., Gonçalves, A.F.N., Urbinati, E.C., Biller, J.D., y Fernandes, J.B.K. (2010). Transporte de juvenis de curimbatá *Prochilodus lineatus* em diferentes densidades. *Acta Scientiarum Animal Sciences,* 32(2): doi:10.4025/actascianimsci. v32i2.841510.4025/actascianimsci. v32i2.8415.

Teo, L.H., Chen, T.W., y Lee, B.H. (1989). Packaging of the guppy *Poecilia reticulata,* for air transport in a closed system. *Aquaculture,* 78(3-4):321–332. doi:10.1016/0044-8486(89)90109-9.

Treasurer, J.W. (2010). Remediation of ammonia accumulation during live transport of juvenile cod, *Gadus morhua* L., and the effects of fast period on ammonia levels and water quality. *Aquaculture,* 308(3-4):190–195. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.08.013.

Tsadik, G. y Kutty, M. (1987). Influence of ambient temperature and dissolved oxygen on feeding and growth of the tilapia (*Oreochromis niloticus*). African Regional Aquaculture Centre, FAO, 87(10):4–25.

Urbinati, E.C., de Abreu, J.S., da Silva Camargo, A.C., y Landinez-Parra, M.A. (2004). Loading and transport stress of juvenile matrinxã (*Brycon cephalus*, Characidae) at various densities. *Aquaculture,* 229(1–4):389–400. doi:10.1016/s0044-8486(03)00350-8.

Valbuena-Villarreal, R. y Cruz-Casallas, P. (2006). Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (*Oreochromis sp*). *Orinoquia,* 10(1): 57–63.

Van Der Boon, J., Van Den Thillart, G.E.E.J.M. y Addink, A.D.F. (1991). The effects of cortisol administration on intermediary metabolism in teleost fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology,* 100(1):47–53.

Vanderzwalmen, M., McNeill, J., Delieuvin, D., Senes, S., Sanchez-Lacalle, D., Mullen, C. y Sloman, K. A. (2021). Monitoring water quality changes and ornamental fish behaviour during commercial transport. *Aquaculture,* 735860. doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.73.

Vega-Villasante, F., Ceballos, B.J., Cupul-Magaña, A.L., Galindo-López, J. y Cupul-Magaña, F.G. (2009). Acuicultura de tilapia a pequeña escala para auto consumo de familias rurales y periurbanas de la costa del Pacifico. Universidad de Guadalajara y Centro de Investigaciones Pesqueras de Cuba. Jalisco, México. 68p.

Vega-Villasante, F., Cortés-Lara, M. del C., Zúñiga-Medina, L. M., Jaime-Ceballos, B., Galindo-López, J., Basto-Rosales, M.E.R. y Nolasco-Soria, H. (2010). Cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) a pequeña escala ¿alternativa alimentaria para familias rurales y periurbanas de México? *Revista Electrónica de Veterinaria, REDVET,* 11(4).

Wedemeyer, G.A. (1996). Transportation and handling. In: *Physiology of fish in intensive culture systems*. National Biological Service. Seattle, Washington, USA. 727-758pp.

Yang, C., Lim, W., y Song, G. (2020). Review: Mediation of oxidative stress toxicity induced by pyrethroid pesticides in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology,* 108758. doi: 10.1016/j.cbpc.2020.108758.

Zar, J.H. (2010). Biostatistical analysis. 5ta ed. Pearson, Illinois.