

Impacto del cambio climático en la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes en la región Puno, 2011-2020

Impact of Climate Change on Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Production in Floating Cages in the Puno Region, 2011-2020

 Eusebio Benique Olivera^{1*},  Omar Moises Rodriguez Limachi¹ y  Alfonso Ojeda Tito²

Resumen

El estudio se realizó en el lago Titicaca-Perú, ubicado a 3810 msnm, lago de alta montaña donde el aire es enrarecido y el cambio climático está generando alteraciones sustanciales en la acuicultura de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). El objetivo fue evaluar el impacto de las variables climáticas del lago en la producción de trucha arcoíris en jaulas flotantes, periodo 2011-2020. La base de datos de las variables climáticas del lago (temperatura, precipitación y humedad relativa) fue facilitada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Puno, y los volúmenes de producción de trucha arcoíris fueron proporcionados por el Ministerio de la Producción-Puno. Los datos fueron sometidos al análisis econométrico de los mínimos cuadrados ordinarios, utilizando el software Stata versión 16. Los resultados revelan que un incremento de 1°C dentro de los umbrales de crecimiento de la trucha (9 a 14°C) significó un aumento de 18 400 t/año en la producción. La variable precipitación pluvial tuvo un impacto negativo en la producción: por cada 1 mm menos de precipitación, la producción disminuyó 11 130 t/año; el déficit de lluvias por debajo del promedio afecta la producción. Paralelamente, la humedad relativa (50 a 60%) también impactó negativamente la producción y el crecimiento de la trucha arcoíris en menos 1254 t/año. Una de las fortalezas de la región Puno es la actividad de la acuicultura, primer productor de trucha arcoíris del Perú; su interés es continuar potenciando la truchicultura, que genera empleo e ingresos a la población asentada en el entorno del lago Titicaca.

Palabras clave: cambio climático, acuicultura, trucha, Titicaca, impacto.

Abstract

This study was conducted at Lake Titicaca, Peru, located at 3,810 meters above sea level. This high-altitude lake, where the air is thin, is experiencing substantial alterations in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) aquaculture as a result of climate change. The objective was to evaluate the impact of the lake's climatic variables on rainbow trout production in floating cages during the period 2011–2020. The database of the lake's climatic variables (temperature, precipitation, and relative humidity) was provided by the National Meteorology and Hydrology Service of Puno, and the rainbow trout production volumes were provided by the Ministry of Production of Puno. The data were subjected to ordinary least squares econometric analysis using Stata version 16 software. The results reveal that a 1°C increase within the trout growth thresholds (9 to 14°C) resulted in an increase of 18,400 metric tons per year in production. Rainfall had a negative impact on production; for every 1 mm less precipitation, production decreased by 11,130 metric tons per year. Below-average rainfall deficits affected production. In parallel, relative humidity (50 to 60%) also negatively impacted rainbow trout production and growth, reducing it by 1,254 metric tons per year. One of the strengths of the Puno region is its aquaculture industry, as it is the leading producer of rainbow trout in Peru. The region aims to further develop trout farming, which generates employment and income for the population concentrated around Lake Titicaca.

Keywords: climate change, aquaculture, trout, Lake Titicaca, impact.

Recibido: 25/11/2025

Aceptado: 02/04/2026

Publicado: 06/04/2026

Sección: Artículo Original

***Autor correspondiente:** ebenique17@gmail.com

Introducción

El cambio climático es un fenómeno global que está alterando la temperatura del agua, menos oxígeno, escasas de lluvias, humedad relativa inestable en los grandes océanos, ríos, lagos, lagunas y, en otros cuerpos de agua. El impacto se traduce en la disminución en la captura de peces y, menos producción. Según Lotze, H.K. et al., (2019). Un grupo internacional de 35 investigadores de 12 países, con participación del Consejo Superior de Investigadores Científicos (CSIC), ha presentado una evaluación de los efectos del cambio climático a escala global en el océano, utilizando una combinación de múltiples modelos y de ecosistemas. El estudio reveló

que la biomasa animal marina como peces, invertebrados y mamíferos marinos en el océano, disminuirá en todos los escenarios de emisión a consecuencia en gran

¹ Facultad de Ingeniería Económica, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

² Escuela de Posgrado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Como citar: Benique Olivera, E., Rodriguez Limachi, O. M., & Ojeda Tito, A. (2026). Impacto del cambio climático en la producción de trucha (*Oncorhynchus Mykiss*) arcoíris en jaulas flotantes en la región Puno, 2011-2020. *Revista de Investigaciones Altoandinas-Journal of High Andean Research*, 28, e28792. <https://doi.org/10.18271/ria.2026.792>



Attribution 4.0 Internacional (CC BY 4.0) Share-Adapt

medida del aumento de la temperatura y la disminución de la producción primaria. El alcance de las pérdidas proyectadas puede verse limitado si se reducen las emisiones: la disminución de la biomasa sería de un 5% en un escenario de mitigación fuerte, pero podría llegar a un 17% si el ritmo de emisiones no baja para finales del siglo XXI.

El cambio climático es, probablemente, el mayor reto de nuestro tiempo. Desde hace varios años, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) analiza sus impactos en la región y ha constatado que el costo de la inacción es más elevado que el costo de la acción, que los impactos no son lineales y aumentan de manera más que proporcional con el aumento de temperatura y, que el calentamiento global exacerbará los impactos negativos de los fenómenos meteorológicos extremos (CEPAL, 2023). El Centro Tyndall de Gran Bretaña (2003) ubica al Perú como el tercer país más vulnerable a los riesgos climáticos del mundo, solo superado por Honduras y Bangladesh (IGP, 2005a). En 2004, el mismo Centro Tyndall incluyó al país entre los diez países más vulnerables del mundo al cambio climático.

El cambio climático se convertiría en una amenaza por producir el calentamiento de las aguas, el cual afectaría la acuicultura en zonas de aguas frías y templadas, y en especial en zonas marinas debido a que al aumentar la temperatura del agua podría existir una proliferación de algas que no permitirían que sobrevivan los peces por la competencia en la demanda de oxígeno. De igual modo, por el incremento de la temperatura, existiría la aparición de nuevos patógenos que podrían causar algún efecto negativo sobre peces y moluscos (FAO, 2011).

En el sector acuicultura, las repercusiones del cambio climático resultantes del recalentamiento mundial serán probablemente leves en las actividades que se desarrollan en dichos sistemas y, si fuesen positivas, derivarían del aumento de las tasas de crecimiento de las poblaciones en cultivo. Asimismo, el cambio climático repercutirá en la disponibilidad hídrica y en los patrones climáticos, por ejemplo, los acontecimientos de pluviosidad extrema y, exacerbará los procesos de eutrofización y estratificación en las aguas estáticas ((De Silva & Soto, 2009).

En los cultivos continentales en acuicultura en jaulas el incremento de la temperatura global podría exacerbar la eutrofización (aporte masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático) el aumento de la eutrofización podría resultar en el agotamiento del oxígeno en las horas de madrugada, los cambios repentinos en los patrones del viento y la lluvia podría dar lugar al afloramiento de las aguas profundas sin oxígeno hacia la superficie, con efectos adversos sobre la población de peces de cultivo y silvestres que habitan en el cuerpo de agua (De Silva & Soto, 2009).

Según SINANPE (2014) el Análisis de Vulnerabilidad de Áreas Naturales Protegidas frente al Cambio Climático, el Lago Titicaca, sería una de las Áreas Naturales Protegidas más vulnerables frente al cambio climático al 2030. Asimismo, el estudio señala que los principales problemas derivados del cambio climático serán los eventos extremos y la alteración de la estacionalidad del clima lo cual tendrá consecuencias para el aprovisionamiento de agua, la producción, entre otras actividades. Las sequías, tanto en duración como en frecuencia y estacionalidad, tendrán un mayor impacto en los medios de vida y la seguridad alimentaria. Los efectos del cambio climático se expresan en términos de alteraciones en el balance hídrico, alteraciones del ciclo de vida de las especies, transformaciones en las redes tróficas y, como consecuencia, alteraciones en el funcionamiento del ecosistema y en la provisión de los servicios ecosistémicos lo que conduce a la extinción de especies. Según ALT, encuesta-diagnostico pesquero y acuícola ATPS (2019) el cultivo de la trucha arcoiris en jaulas flotantes en el lago Titicaca es el 91.86%.

Para el caso de las precipitaciones en las zonas adyacentes al Lago Titicaca se identificaron tendencias para la precipitación acumulada anual, la cual presenta una intensidad positiva y significativa, lo que indica que las lluvias con menores cantidades al año tienen eventos más intensos. Asimismo, se observa una mayor intensidad y mayor frecuencia de días extremadamente húmedos. Sin embargo, la tendencia del número de días secos consecutivos va en aumento, lo que se entendería como lluvias más intensas y frecuentes presentadas en periodos lluviosos más cortos (SENAMHI, 2013).

En la proyección anual para la región, se observa valores menores al 9% para el aumento de lluvias hacia el 2030, y ligera disminución hacia el extremo norte oriental. Se observa un patrón definido de incremento para la precipitación entre verano y otoño principalmente en las proximidades del lago de hasta 12% en verano, así como disminuciones ligeras hacia la región amazónica menores de -3%. En cambio, hacia el invierno y primavera se evidencia una disminución de lluvias hasta -15% principalmente hacia el extremo sur de la región (SENAMHI, 2013).

La crianza de trucha arcoiris, es propia de ríos, lagos, lagunas con aguas frías, limpias y cristalinas, prefiere las corrientes moderadas y generalmente está en tramos medios de fondo pedregosos, de moderada vegetación. La temperatura que soporta esta entre 25°C y cercanos a la congelación (INCAGRO, 2008). Sin embargo, la temperatura óptima para la etapa de crecimiento está entre 10 y 17°C (NTP 320.004, 2014), FONDEPEZ (2013) menciona que se obtiene mejores resultados en rangos de 15 a 16°C, indicando que valores inferiores suelen disminuir el crecimiento y valores superiores incrementan el riesgo de propagación de enfermedades.

La trucha arcoíris según Woynarovich et al., (2011) es una especie de aguas frías, con un rango óptimo de temperatura entre 9°C y 14°C. Cuando las temperaturas superan los 15°C, los peces comienzan experimentar estrés térmico, lo que afecta su crecimiento, inmunidad y reproducción. Estudios han demostrado que temperaturas elevadas pueden dañar la estructura intestinal de la trucha, aumentando su susceptibilidad a enfermedades como las causadas por *Aeromonas salmonicida*, que pueden provocar altas tasas de mortalidad. Es necesario mencionar que el requerimiento de oxígeno para etapas de incubación esta entre 5.0 a 6.0 mg/L, además se debe mencionar que la concentración de oxígeno en el agua es inversamente proporcional a la temperatura (Ministerio de la producción, 2016).

Pero en épocas de desove y de crecimiento se ubican en una gama más reducida de 9 a 14°C. La temperatura del agua óptimo para cultivo de la trucha arcoíris está por debajo de 21°C. Como resultado, la temperatura y la disponibilidad de alimentos influyen en el crecimiento y desarrollo, haciendo que el tiempo para alcanzar varié, aunque normalmente es de 3-4 años (FAO, 2019).

En la región Puno desde hace varias décadas y hasta la actualidad se viene desarrollando casi exclusivamente la acuicultura de trucha de arco iris y en los últimos años ha presentado un crecimiento vertiginoso, constituyendo más del 60% de la producción nacional, posicionándose como el primer productor del Perú, seguido por Junín cuya producción está cerca del 20% nacional. Aunque los tipos de acuicultura en ambas regiones presentan una gran diferencia en lo relacionado al sistema de crianza: En Puno el 97% de los centros de producción truchicola utilizan jaulas flotantes mientras en Junín el 90% de los centros de producción utilizan estanques de concreto (Ministerio de la Producción-Produce, 2015).

El cambio climático está teniendo un impacto significativo en la producción de trucha en jaulas flotantes en el Lago Titicaca, Perú. Diversos estudios y reportes han documentado como las alteraciones en las condiciones climáticas y ambientales del Lago, están afectando tanto la productividad como la sostenibilidad de esta actividad acuícola (Salas Piludo, 2020).

Los antecedentes confirman que el problema climatológico es latente en Perú y, está generando efectos en la actividad de la pesca, en particular en la actividad de la acuicultura de la trucha arcoíris. El objetivo principal de la investigación fue estimar el impacto de las variables hidro climáticas en la producción de la trucha arcoíris en la Región Puno.

Materiales

En la región Puno-Perú, se encuentra el Lago Titicaca, situado entre los 15°13' y 16°35' de latitud sur y entre los 68° 33'y 70°02'de longitud oeste. Una superficie de 3300 km² constituye el lago de agua dulce más grande

de América del Sur y el más alto de los lagos del mundo; ubicado a 3810 msnm.

La temperatura promedio del agua del lago Titicaca es de 13°C, variando 11°C en invierno y, de 15°C en verano. Las temperaturas más bajas ocurren en julio; mientras que las temperaturas más altas ocurren entre diciembre y marzo (Ponce, 1990). La humedad relativa media anual en el entorno del lago varía de 50 a 65% para temperaturas de 8 a 10°C. Precipitaciones superiores a 800 mm, pudiendo alcanzar 1.000 mm en el centro del Lago (Roche, et al., 1965).

El rol de la precipitación en el Lago Titicaca es fundamental por la topografía y las variaciones en la reflectividad de la superficie del lago (Garreaud & Aceituno, 2001). La precipitación provee el 55% del agua hacia el lago (Paredes & Gonfiantini, 1999). Las fluctuaciones interanuales de la precipitación sobre el altiplano, se extienden a lo largo de los andes Central y Ecuatorial, y las anomalías de viento de la zona bajan sobre el margen occidental de Sudamérica tropical y Pacífico Oriental, donde muestra una relación con la zona Este/húmedo y Oeste/seco (Chura, R., et al, 2013). La humedad relativa del lago Titicaca, fluctúa entre 50% promedio anual en época seco y 65% en verano lluvioso.

La trucha se cultiva mayormente en jaulas cuadrangulares “artesanales” con estructura de troncos de eucalipto, de 5 m de largo, 5 de ancho y 3 m de profundidad; además ya se utilizan jaulas “semi-artesanales” de estructuras metálicas de 6 m de largo por 6 m de ancho, en algunos casos se utilizan jaulas metálicas “industriales” de 10 X 10 m. La capacidad y densidad de producción de truchas arcoíris en jaulas artesanales es de 800 kg y una densidad de 10 kg/m³, las semi-artesanales de 2 t y 50 kg/m³ y, en las industriales se puede llegar a producir hasta 6 t y una densidad de carga de 10kg/m³ (Klauer & Zevillanos, 2004). La producción semi intensiva se caracteriza por el uso de “jaulas flotantes”, siendo estas generalmente baratas y de fácil transporte. Las densidades que se manejan en estas jaulas son entre 5 a 15 kg/m³, dependiendo siempre de la calidad de agua (FAO, 2017).

Tabla 1
Material de las jaulas flotantes

Tipo de infraestructura productiva en el Lago Titicaca	Porcentaje
Jaulas cuadradas de palo de eucalipto	37,06
Jaulas cuadradas de tubo metálico	21,83
Jaulas de acero galvanizado pasarela	8,82
Jaulas hexagonales de palo de eucalipto	17,34
Jaulas hexagonales de tubo de acero	6,47
Jaulas hexagonales con pasarela	5,26
Jaulas octogonales de eucalipto	1,89
Jaulas octogonales de tubo metálico	1,27
Jaulas octogonales con pasarela	0,06

Fuente: ALT, encuesta-diagnostico pesquero acuicola ATSP, 2019

El cultivo de trucha en jaulas flotantes comprende desde la siembra hasta la cosecha y las etapas que lo comprenden son: alevinaje, juvenil y, engorde. La etapa de alevinaje dura aproximadamente, tres meses y se considera desde que la trucha llega al centro de cultivo con aproximadamente 5cm hasta alcanzar los 10 cm y peso promedio de 12 gr. Luego viene la etapa juvenil y se da a partir de los 10 cm hasta los 17 cm, en esta etapa llegan a alcanzar un peso promedio de 68 gr. Por último, la fase final del cultivo la etapa de engorde que dura aproximadamente, tres meses y se da desde los 17 cm a los 26 cm de longitud del pez, donde llega a alcanzar un peso de 250 gr. Luego del cual se produce con la cosecha (FONDEPEZ, 2014).

Tabla 2

Producción de trucha arcoíris en el Lago Titicaca, periodo 2011-2020 (en toneladas)

Años	En toneladas
2011	15560
2012	18471
2013	29070
2014	27588
2015	20288
2016	40403
2017	31038
2018	50914
2019	29283
2020	34127

Fuente: Dirección Regional de la Producción-Puno

Figura 1

Lago Titicaca



Fuente: Víctor M. Ponce. Datos del Lago Titicaca, Perú y Bolivia 1989

Métodos

El método utilizado es descriptivo, analítico, no experimental con enfoque mixto. Para la medición de las variables causales sobre el efecto, se ha empleado

la econométrico de los Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). El modelo de regresión lineal múltiple es el siguiente:

$$Y_t = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + e_i$$

Donde:

Y_t = representa la producción de trucha arcoíris en toneladas.

B_0 = representa la producción de trucha sin la influencia de otros factores

X_1 = representa la temperatura media (medido en grados Celsius °C).

X_2 = representa las precipitaciones pluviales media (mm)

X_3 = representa la humedad relativa media %

B_1, B_2, B_3 = Coeficientes de las variables climáticas

e_i = perturbación aleatoria

Resultados

En la tabla 3, se observa la producción de trucha arcoíris, y, las variables climáticas del lago: precipitación media, temperatura media y, humedad relativa, periodo 2011-2020. La producción entre 2011 a 2013 se incrementó en un 57%, esto se explica a la variación de la temperatura media (10.14 a 10.22) dentro del rango óptimo de la trucha. Pero la producción entre 2013 a 2015 bajo en -31%, lo cual se debe a factores ambientales como el aumento de la precipitación (1.74 a 1.96 mm) que implicó lluvias intensas y repentinas que provocaron afloramientos de aguas profundas con bajo oxígeno hacia la superficie afectando el crecimiento y desarrollo de la trucha arcoíris. Según (DIREPRO, 2015), en efecto, se presentaron eventos adversos que suelen mermar la producción ocasionando frecuentes mortandades durante el paso de la fase de alevinos a juveniles, debido al inadecuado manejo durante la incubación y a las enfermedades en las primeras etapas de crianza o al shock ambiental al que son sometidos durante la introducción de las ovas importadas. Según registros históricos, la producción llegó a su pico más alto con 50914 t en 2018 y descendió hasta 29283 t en 2019 por efectos climático.

El incremento de la humedad relativa de 54.97 a 58.73%, influyó en la calidad de agua del lago, con menos oxígeno, afectando el crecimiento y la reproducción de la trucha, pues los cambios repentinos provocan estrés y por consiguiente, mortandad de las truchas. A partir del 2018 a 2020, se registró una baja importante en la producción que llegó al 42% en la etapa de alevinaje en jaulas y, en la fase de alevinos a juveniles (DIREPRO, 2015).

Tabla 3*Producción de trucha arcoíris en el Lago Titicaca (2011 – 2020)*

Año	Producción anual (toneladas)	Precipitación media (mm)	Temperatura media (°C)	Humedad relativa (%)	Var. (%)
2011	15560	2.65	10.14	56.23	—
2012	18471	2.65	10.14	50.02	19%
2013	29070	1.97	10.22	55.69	57%
2014	27588	1.74	10.53	54.97	-5%
2015	20288	1.96	10.22	58.73	-26%
2016	40403	1.48	10.85	60.00	99%
2017	31038	2.43	10.50	59.00	-23%
2018	50914	1.91	10.38	52.00	64%
2019	29283	1.63	10.63	57.00	-42%
2020	34127	3.78	11.89	58.00	17%

Fuente: Ministerio de la producción -ALT- Región Puno.

Tabla 4*Estimación del modelo Mínimos Cuadrados Ordinarios en la producción de la trucha arcoíris*

regres	prod	hume	tem	prec
Source	SS	df	MS	Number of obs = 10
Model	496604123	3	165534708	F(3,6) = 1.95
Residual	509012917	6	84835486.2	Prob > F = 0.2228
Total	1005617040	9	111735227	R-squared = 0.4938
				Adj R-squared = 0.2407
				Root MSE = 9210.6

prod	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
hume	-1254.094	1132.013	-1.11	0.310	-4024.029 1515.841
temp	18400.11	8012.054	2.30	0.061	-1204.676 38004.9
prec	-11130.71	5627.718	-1.98	0.095	-24901.24 2639.817
_cons	-69322.92	71596.63	-0.97	0.370	-244513.6 105867.7

Fuente: Elaborado con información de (DIREPRO) Región Puno

La tabla 4, muestra los resultados del modelo que indican que la variable más significativa fue la temperatura, gracias a las condiciones naturales favorables, de las aguas del Lago Titicaca en condiciones óptimas con una temperatura promedio de 10°C, mantuvo una producción promedio de 18,400.11 toneladas/año en el ámbito del lago. Sin embargo, con la variable humedad relativa, un aumento del 1% implica que la producción de la trucha disminuye en -1,254 toneladas, puesto que la humedad se relaciona con la evaporación y el microclima del lago que provoca escases de oxígeno y, mala calidad de agua cuyo efecto directo es en el metabolismo y crecimiento de la trucha y la eficiencia de los sistemas de cultivo en jaulas.

Por otro lado, un aumento de un milímetro de precipitación, afecta negativamente la producción de trucha en -11,130 toneladas, puesto que la precipitación repentina e intensa afecta la recarga hídrica y la estabilidad del ecosistema acuático, las lluvias intensas provocan afloramiento de las aguas profundas, aguas turbias de color verde marrón, menos transparente con bajo oxígeno, esto es perjudicial para la salud de las truchas enjauladas, generando alta mortandad.

Tabla 5*Nivel de significancia de las variables explicativas en la producción de trucha arcoíris*

Variables	Producción (t)
hume	-1,254 (1,132)
temp	18,400* (8,012)
prec	-11,131* (5,628)
Constant	-69,323 (71,597)
Observations	10
R-squared	0.4938

Standard errors in parentheses *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

La tabla 5, sintetiza la información estadística más relevante sobre la estrecha relación entre los factores climáticos y la producción de la trucha. Los resultados muestran el nivel de significancia, donde la temperatura promedio en 10°C tuvo un impacto positivo en la producción de la trucha arcoíris. En cambio, la precipitación pluvial en milímetros y, la humedad relativa en porcentaje son las que impactan negativamente en la

producción de la trucha arcoíris. La temperatura con un p-valor 0.061 y 0.095 respectivamente, con un intervalo de 99% de confianza.

Un R-squared = 0.4938 significa que los factores: temperatura, precipitación y humedad relativa del lago Titicaca explican en un 49.38% la tendencia de la producción de trucha arcoíris en la región de Puno en el periodo 2011-2020. El porcentaje restante que viene a ser el 50.62% se refiere a otras variables de control siendo la más resaltante. Según ALT, diagnostico pesquero acuícola A.T.S.P. (2019) la contaminación del lago se genera por la alimentación y, la respectiva defecación de las truchas; sumado a ello los residuos de alimentos que quedan bajo las jaulas formando capas de lodos orgánico y, todo va al fondo del lago estimulando el crecimiento de plantas acuáticas que afecta la calidad de agua y déficit de oxígeno disuelto. Mas la contaminación antrópica que vierten las aguas servidas hacia el lago.

Discusión

El Ministerio de la producción (2016) señala que la trucha arcoíris es una especie de aguas frías con un rango óptimo de temperatura entre 9°C y 14°C. Cuando las temperaturas superan los 15°C, los peces comienzan experimentar estrés térmico, lo que afecta su crecimiento, inmunidad y reproducción. Esta afirmación del Ministerio de la producción confirma que el problema de la mortandad de la trucha arcoíris en el lago Titicaca es por el cambio climático y, la variable que afecta más es la temperatura del agua que genera escases de oxígeno.

Las lluvias intensas y repentinas han provocado afloramientos de aguas profundas con bajo oxígeno disuelto en la superficie, lo que resulto perjudicial para crecimiento y desarrollo de la trucha (De Silva & Soto, 2009). Efectivamente, escases de lluvias o repentinas han provocado afloramiento de aguas turbias de mala calidad generando mortandad por escases de oxígeno. La variación en la humedad relativa fue influyente en la calidad de agua y en la salud de los peces (VRIUNAP., 2022). Esta afirmación coincide con los resultados erráticos de la producción de trucha arcoíris entre 2011-2020.

A medida que el cambio climático avanza, peces como la trucha arcoíris se enfrenta al estrés térmico debido al aumento de las temperaturas. Este nuevo escenario tendrá un impacto significativo en la salud intestinal, incluyendo cambios en la morfología, el crecimiento, la susceptibilidad a infecciones, la respuesta inmunitaria y la expresión de genes relacionados con el estrés térmico (Salmonexpert, 2024).

El cambio climático (temperatura) es uno de los factores que impacta en el cultivo de la trucha arcoíris en el lago. Montesinos, L.J., (2018) afirma que: Mientras que la mortalidad estuvo afectada por la dependencia y monitoreo de la temperatura de agua. Se concluye que muchas de las actividades no son llevadas de

manera técnica, lo cual podría estar influenciando la productividad y la mortalidad.

Según, ALT diagnostico pesquero acuícola T.D.S.P. (2019) afirma: las causas de la mortalidad de la trucha arcoíris son por la contaminación (23%), bacterias (10%), hongos (13%) y, alimento balanceado (3%). Según esta afirmación el 49% de la mortandad de la trucha arcoíris se debe a estos factores y, el 49.38% se debe al fenómeno del cambio climático (temperatura, precipitación pluvial y humedad relativa del lago). Los factores causales que menciona ALT (2019) es consecuencias del cambio climático.

El cambio climático también ha exacerbado problemas como la eutrofización del lago debido a la acumulación de nutrientes y residuos orgánicos, lo que reduce los niveles de oxígeno y afecta la calidad de agua. Estos factores junto con la aparición de nuevos patógenos, representan amenazas adicionales, para la trucha arcoíris en el Lago Titicaca (VRIUNAP., 2022).

Conclusiones

Los resultados revelan que en el periodo 2011-2020, la temperatura media se estabilizó en promedio en 10.22°C, esta condición natural ha sido favorable para la producción de la trucha arcoíris en la región Puno, un incremento de 1°C dentro del rango (9 a 14°C) de crecimiento y desarrollo de la trucha arcoíris ha significado un aumento de 18400.11 t/año.

Una de las causas de la mortandad de la trucha arcoíris en la región Puno, periodo 2011-2020 fue los escases de lluvias o las lluvias intensas y repentinas que han implicado afloramiento de las aguas profundas con bajo oxígeno hacia la superficie, lo que resulto perjudicial para las truchas del lago. Por cada 1 mm menos de precipitación pluvial la producción decreció en -11130. t/año.

La humedad relativa, es otra de las variables que afecto la producción, generando más mortandad de la trucha arcoíris en la región Puno, en el periodo 2011-2020; un incremento de 1% de humedad relativa implico más evaporación y microclima de agua del Titicaca, generando menos oxígeno disuelto en las aguas y, esto afecto el crecimiento y desarrollo de la trucha arcoíris que disminuyo en -1254 t/año. La humedad relativa en el lago fluctúa entre 50% en época seco y 65% en verano lluvioso. La biomasa por jaula flotante es de 1.67 tonelada de trucha aproximadamente y, esto genera estrés térmico por escases de oxígeno disuelto en el lago.

Los resultados de la investigación son muy relevantes para las unidades productivas de trucha arcoíris del entorno del lago, les permitirá mitigar los efectos climáticos y evitar la mortandad de la trucha, en la etapa de alevinaje a juveniles y preveer la inversión. La actividad de la acuicultura en la región es muy importante, genera empleo, ingresos y, mueve economía

en la región. La población del entorno del lago, combina actividades agropecuarias, acuicultura y, comercio aprovechando las bondades naturales del lago Titicaca.

Referencia

- Heike K. Lotze, Derek P. Tittensor, Andrea Bryndum y Boris Worm (2019). Global ensemble projections reveal tropic amplification of ocean biomass with declines climate change. <https://doi.org/10.1073/pnas.1900194116>
- De Silva & D. Soto (2009). El cambio climático y la acuicultura: repercusiones potenciales, mitigación y adaptación. FAO documento técnico de pesca y acuicultura N°530.
- Tyndall Centre for Climate Change Research de Gran Bretaña (2003). <https://tyndall.ac.uk>
- FAO (2011). Desarrollo de la acuicultura. 4.enfoque ecosistémico a la acuicultura. FAO www.fao.org/docrep/014/i1750si1750s.pdf
- FAO (2009). Climate change implications for fisheries and aquaculture. Overview of current scientific knowledge. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/i0994e/i0994e00.pdf>
- FAO (2017). Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. National Aquaculture sector overview Perú. Fish and Aquaculture Department. https://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_peru/en
- Produce (2014). Plan regional de acuicultura-Puno 2015-2030: produciendo en armonía con la naturaleza. Red Nacional de Información Acuicultura/RNIA.
- Ministerio de Producción (2016): Diagnostico de vulnerabilidad actual del sector pesquero y acuícola frente al cambio climático. Edición Autoridad del Lago Titicaca (ALT).
- CEPAL (2023). La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe, 2023. Naciones Unidas.
- DIREPRO (2020). Plan Operativo Institucional 2019
- FONDOPES (2014). Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales. www.fondopes.gob.pe/src/manuales/Manual_Trucha.pdf
- Ponce, V. (1989). Hidrología de ingeniería: principios y prácticas. Editorial Printice Hall College Div.
- Chura-Cruz, R., Cubillos, L., Tam, J., Segura, M. & Villanueva, C. (2013). Relacion entre el nivel del lago y la precipitación sobre los desembarques del pejerrey *Odentesthes bonariensis* (Valenciennes, 1985) en el sector peruano del lago Titicaca entre 1981y 2010. Revista Scielo. rchurac@hotmail.com
- Roche, M., Bourges, J., Cortes, J., Mattos, R. (1965). Climatología e hidrología de la cuenca del Titicaca. <https://app.ingemmet.gob.pe>
- Autoridad Binacional Autónoma del Lago Titicaca (2020). Diagnostico Binacional Pesquero Acuicola en el Ámbito del Sistema Hídrico Lago Titicaca, Rio Desaguadero, Lago Poopo y Salar COIPASA-TDPS Volumen II. ALT
- Salas Piludo (2020): La truchicultura en el Lago Titicaca. <https://ojs.umsa.bo/ojs/index.php/revigeo/article/view/476>
- SALMONEXPERT (2023). Cambio climático: una salmonicultura con enfoque sostenible. Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo.
- Montesinos, L. J. (2018). Diagnostico situacional de la crianza de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mikiss*) en centros de cultivo en el Lago Titicaca. Tesis de Maestro en Sanidad Acuicola. Universidad Peruana Cayetano Heredia-Escuela de Posgrado.
- SENAMHI (2013). <https://www.senamhi.gob.pe>
- SINANPE (2014). Plan Maestro de Reserva Nacional del Titicaca para el periodo 2014-2019. Resolución Presidencial 249.
- Flores, D., (2015). Rentabilidad económica de la producción de trucha en jaulas flotantes del Distrito de Chucuito-Puno, 2011-2012 Tesis título. FIE-UNA-Puno.
- Garreaud R. & Aceituno P. (2001). Interannual Rainfall Variability over the South American Altiplano. *Journal of Climate*. 14:2279-2789.
- Paredes M. & Gonfiantini G. (1999). Lake Titicaca: historian and current studies. *Water and Environment News*. International Atomic Energy Agency. Quaterly N° 8/9, December 1999.
- INCAGRO (2008). Promoviendo mercado de servicios de extensión agraria en el Perú. Informe de Resultados. <https://repositorio.inia.gob.pe>
- VRIUNAP (2022). Características de la producción de trucha (*Oncorhynchus Mikiss*) arcoiris. Informe FEDU.
- Klawer & Zevillanos (2014). Costos de producción y rentabilidad del criadero de truchas en jaulas flotantes en la parcialidad de Litoral Quellojani, Moho-Peru. Universidad Peruana Unión.
- Woyanovich, A. Hoitsy, G; Moth-Pulsen, T. Small-Scale (2011), rainbow Trout farming. FAO Fisheries and aquaculture Thecnical Paper.561 <https://www.fao.org>