

Revista Ciencias del Mar UAS

Abril - Junio 2024

Núm. 3 Vol.1



U N I V E R S I D A D A U T Ó N O M A D E S I N A L O A



E-ISSN (en trámite)



Artículo Científico

Estado trófico, balance de nutrimentos y capacidad de carga de la presa hidroeléctrica Lic. Gustavo Díaz Ordaz “Bacurato”, Sinaloa, México.

Trophic state, nutrient balance and carrying capacity of Lic. Gustavo Díaz Ordaz “Bacurato” hydroelectric reservoir, Sinaloa, México.



1. Emilio Romero-Beltrán

Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables, Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera-Mazatlán; Autor de correspondencia:

emilio.romero@imipas.gob.mx



5. Ahtziri Romero-Correa

Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables, Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera-Mazatlán;



2. Jesús Ramón Rendón-Martínez

Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables, Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera-Mazatlán;



6. Juan Antonio Mauricio-Payan

Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables, Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera-Mazatlán;



3. Ma. Teresa Gaspar-Dillanes

Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables, Dirección de Investigación Pesquera en el Pacífico. Av. México núm. 190, Col. Del Carmen, Coyoacán, 04100 Ciudad de México.



7. Luz María Torres-Rodríguez

Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables, Dirección de Investigación en Acuicultura. Ave. México núm. 190, Col. Del Carmen, Coyoacán, 04100 Ciudad de México.



4. Diego Armando Osuna-Bernal

Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables, Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera-Mazatlán;



CREATIVE COMMONS



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el origina



Estado trófico, balance de nutrimentos y capacidad de carga de la presa hidroeléctrica Lic. Gustavo Díaz Ordaz “Bacurato”, Sinaloa, México.

Trophic state, nutrient balance and carrying capacity of Lic. Gustavo Díaz Ordaz “Bacurato” hydroelectric reservoir, Sinaloa, México.

► RESUMEN

Una alternativa para incrementar la producción de peces en embalses de agua dulce es la acuicultura en jaulas, sin embargo, esto implica la introducción de cargas adicionales de nutrientes, tales como nitrógeno (N) y fósforo (P), por el alimento adicionado no consumido y las excretas. Por tal motivo, es necesario evaluar la capacidad de carga de estos sistemas a fin de ordenar las actividades acuícolas y evitar la alteración de las condiciones ambientales originales. Por lo que el objetivo de esta investigación es estimar el balance hidrológico, el estado trófico y la capacidad de carga de la presa Lic. Gustavo Díaz Ordaz “Bacurato”. Los resultados indican que este reservorio tiene las características de un sistema monomítico y los aportes principales provienen de los afluentes (río Sinaloa). Asimismo, se pudo comprobar que el fósforo es el nutriente limitante en el embalse, y que se clasifica como cuerpo de agua oligo-mesotrófico, de acuerdo con el índice de Carlson. Se estima que, con una producción acuícola de 3,080 t anuales, el reservorio pasaría de un estado oligo-mesotrófico a uno eutrófico.

Palabras clave: Acuicultura, jaulas flotantes, presas, estado trófico, capacidad de carga.



► ABSTRACT

Floating cages culture are a good alternative to increase fish production in reservoirs; however, this emerging activity involves the introduction of additional loads of nutrients, mainly nitrogen (N) and phosphorus (P), through excreta and unconsumed feed. For this reason, it is necessary to know the carrying capacity of the systems in order to protect the original environmental conditions. In that sense, the main objective of this study is to estimate hydrological and mass balance, trophic state and the carrying capacity of "Lic. Gustavo Díaz Ordaz (Bacurato)" reservoir. The main results indicate that the dam behaves, as a monomictic system; the main source of contributions to the dam are the tributaries (Sinaloa River). It was also possible to verify that the dam presents phosphorus as the limiting nutrient and, according to the Carlson index, could be classified as an oligo-mesotrophic system. The carrying capacity necessary to transform the oligo-mesotrophic to eutrophic conditions was 3,080 t of culture biomass.

Keywords: Aquaculture, floating cages, reservoir, trophic state and carrying capacity

► INTRODUCCIÓN

Los embalses de agua dulce contruidos por el hombre son considerados como lagos, pero presentan características hidrodinámicas, hidrológicas, biológicas y bioquímicas muy particulares que responden a las características de su construcción (Thornton, Kimmel, Payne, 1990; Nakashima, Yamada, Tada, 2007; Akin, Atici, Katircioglu, Keskin, 2011). La dinámica general de estos embalses no es controlada de manera natural, como en los lagos naturales, sin embargo, los procesos ecológicos son similares (Hwang, Kwun, Yoon, 2003; Hayes, Deemer, Corman, Razavi, Strock, 2017). Los usos del agua de estos embalses comprenden desde la producción de energía eléctrica, navegación, uso ecológico (*e.g.* refugio y hábitat de distintas especies de plantas y animales tanto acuáticos como terrestres), agricultura, urbanización, evacuación de residuos (industriales, aguas residuales municipales, residuos agro-industriales, etc.), pesca y la acuicultura en



jaulas flotantes (Kalff, 2002; SAGARPA-INAPESCA, 2002; Dejenie *et al.* 2008).

El cultivo de peces en jaulas flotantes en embalses de agua dulce representa una buena alternativa para aumentar la producción acuícola y está en pleno crecimiento en México. Las ventajas de esta actividad incluyen el uso de un cuerpo de agua ya existente, inversión de capital relativamente bajo, la construcción de las jaulas es más sencilla comparadas con las realizadas en tierra, tanto a nivel artesanal como a nivel industrial, el seguimiento y manejo es comparativamente más sencillo, dado que los organismos se encuentran en un medio natural la calidad, sabor y apariencia suelen ser de mejor calidad (Beveridge, 1984, 1996, 2004; Gopakumar, 2009; Masser, 2012). Sin embargo, la acuicultura genera residuos que aumentan la carga nutrimental de estos sistemas, principalmente nitrógeno (N) y fósforo (P), debido al alimento adicionado no consumido y a las excretas de los peces, ocasionando alteraciones en los procesos ecológicos tales como cambios en la química del agua, incremento de la eutrofización, cambios en la estructura del fitoplancton y zooplancton, efectos en las comunidades bacteriológicas, entre otras (Carroll, Cochrane, Fieler, Velvin, White, 2003; Guo, Li, Xie, Ni, 2009; Rendón-Martínez, *et al.*, 2014; Lopez *et al.*, 2006). Otras alteraciones incluyen disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto, florecimientos de algas nocivas y saturación de los sedimentos con materia orgánica y metales (Hamblin & Gale, 2002; Sowles, 2009; Xia *et al.*, 2016).

La construcción de la presa Lic. Gustavo Díaz Ordaz “Bacurato”, se realizó en los años ochenta en la cuenca del río Sinaloa, en el estado de Sinaloa, con el fin de captar agua para uso agrícola, generación de energía eléctrica y control de inundaciones en las zonas aledañas. Actualmente en la presa se desarrolla una actividad pesquera importante (400 y 1,200 t), además de actividades turísticas, y pesca deportiva (Gaspar-Dillanes, González-Gallardo, Romero-Beltrán, 2013).

La acuicultura es ahora una actividad incipiente en la presa, sin embargo, se espera que esta actividad crezca debido a la creciente demanda de alimentos provenientes de la pesca y a que, de acuerdo con las tendencias generales, la producción proveniente de la pesca está



siendo afectada por el incremento de la presión ejercida sobre los propios recursos pesqueros (Tacon, Halwath, 2007; Ross, Falconer, Campos-Mendoza, Martínez-Palacios, 2011).

Para una mejor planeación del desarrollo de la acuicultura en este embalse, es necesario conocer si tiene la capacidad suficiente para soportar el establecimiento de proyectos de producción de peces. Conocer la capacidad de carga de la presa es fundamental para planear un manejo sostenible de la actividad acuícola, dado que permite gestionar el límite superior de producción acuícola (para este específico caso, en la producción de peces) en el ecosistema en cuestión, minimizando las alteraciones del mismo (Ross *et al.*, 2013). Debido a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar el estado trófico, balance de nutrientes, nutrimento limitante y la capacidad de carga para la acuicultura de la presa Gustavo Díaz Ordaz “Bacurato”, en Sinaloa, México.

► MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio. La presa Lic. Gustavo Díaz Ordaz “Bacurato” se encuentra en las inmediaciones del poblado del mismo nombre, en el municipio Sinaloa de Leyva, en el estado de Sinaloa, entre las coordenadas extremas $25^{\circ} 49' 50'' - 25^{\circ} 59' 5''$ N y $107^{\circ} 44' 50'' - 107^{\circ} 54' 5''$ O (Figura 1) y se encuentra a una elevación de 296.6 m.s.n.m. La superficie máxima, cuando el embalse se encuentra a su máxima capacidad de almacenamiento, es de 14 164 ha y al nivel más bajo de 6 500 ha. Su capacidad total de almacenamiento de 2 900 millones de m^3 (Mm^3) de agua, que incluye 190 Mm^3 destinado al depósito de azolves. Para el riego agrícola y generación de energía eléctrica se destinan 1 610 Mm^3 de agua y para el control de avenidas se utilizan 1100 Mm^3 . Los beneficios que genera esta presa son el riego agrícola de 112 000 ha y 247 millones de kWh de energía eléctrica anualmente. La cortina del embalse es del tipo “materiales graduados”, la altura y longitud máximas son de 116 m y 860 m, respectivamente (CNA, 2003).

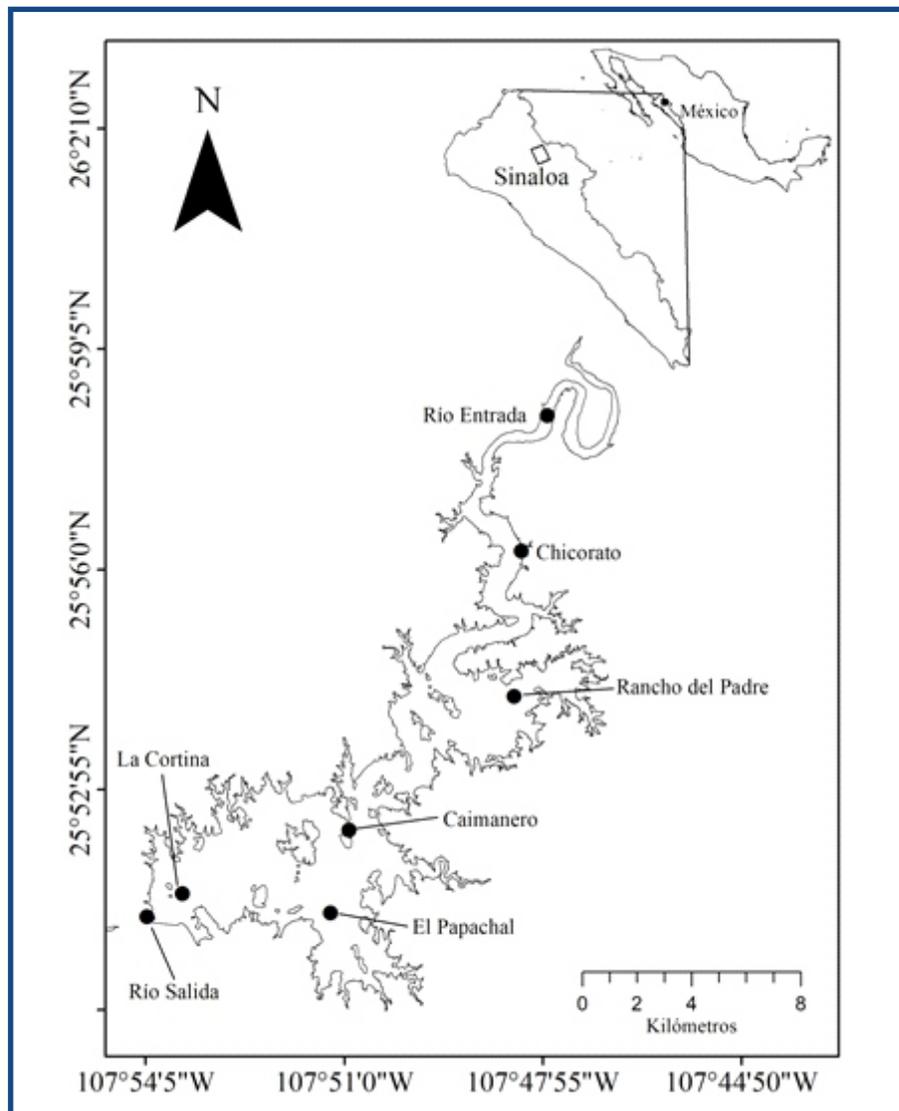


Figura 1. Presa Lic. Gustavo Díaz Ordaz “Bacurato”. Los círculos rellenos en color negro indican los sitios de muestreo. Fuente: elaboración propia.

Trabajo de campo. Para la caracterización de la presa Bacurato se establecieron siete sitios de muestreo (Figura 1) en los cuales se realizaron seis muestreos (febrero, abril, junio, julio, agosto y noviembre de 2018). En cada punto, se colectaron muestras de agua, las cuales se almacenaron en hielo para su traslado y posterior análisis de laboratorio; asimismo, registró la profundidad, temperatura del agua, transparencia, pH, conductividad y oxígeno disuelto, con un multiparámetro marca YSI modelo 2030.

Trabajo de laboratorio. Para estimar las concentraciones de nitrógeno total (NT), fósforo total (NT), nitritos (NO_2), nitratos (NO_3), amonio (NH_4), fosfatos (PO_4), dureza, sólidos suspendidos totales, materia orgánica y clorofila α (Chl α) se siguieron los procedimientos descritos en el Manual de Métodos Estándar (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

Trabajo de escritorio. La información sobre temperatura ambiental, evaporación, precipitación y tamaño de las cuencas, así como sobre el almacenamiento de las presas se obtuvo de las bases de datos en línea de la CONAGUA (CONAGUA, 2018a, 2018b). El balance hídrico y de nutrientes se desarrolló de acuerdo con Dillon, Rigler (1975) y Vollenweider (1975). El nutriente limitante en la presa se determinó con base en la definición de Redfield (1934) y el estado trófico del cuerpo de agua (TSI) de acuerdo con el método propuesto por Carlson (1977) modificado por Aizaki, Otsuki, Fukushima, Hosomi, and Muraoka (1981).

$$TSI = \frac{[30.6 + 9.81 * \ln(Cla)] + [60 - \ln(14.41 * Ds)] + [4.15 + 14.42 * \ln(Pt)]}{3}$$

Donde Cla se refiere a concentración de clorofila a ($\mu\text{g/l}$), Ds es la profundidad del disco de Secchi (m) y Pt es la concentración de fósforo total (mg/m^3).

Capacidad de carga. Para estimar la capacidad de carga de la presa para el cultivo de peces en jaulas se siguió la metodología de Beveridge (1984) que se basa en el modelo de Dillon, Rigler (1975). El procedimiento se desarrolla en cuatro fases como se describe a continuación:

Fase 1: Evaluar la concentración de fósforo **P** del embalse previo a la introducción de las jaulas. En esta fase se requiere obtener los valores de concentración de **P** en cada una de las estaciones de muestreo, excepto las asociadas con entradas y salidas de la presa.

Fase 2: Establecer un máximo de **P** aceptable después de la introducción de las jaulas. Para lo cual es necesario determinar la concentración necesaria para producir un cambio de estado trófico aceptable en la presa Bacurato.

Fase 3: Estimar la carga aceptable de P proveniente del cultivo de peces ($L[P]_{\text{peces}}$).

$$L[P]_{\text{peces}} = \frac{\Delta P * \bar{Z} * \rho}{1 - R[P]_{\text{peces}}}$$

Donde ΔP es la diferencia entre la concentración máxima aceptable de P y concentración actual del embalse, \bar{Z} es la profundidad media del embalse, ρ es el coeficiente de descarga de agua = volumen promedio anual de agua que sale de la presa/volumen total de la presa y

$$R[P]_{\text{peces}} = x + \frac{(1 - x)}{1 + 0.747 * \rho^{0.507}}$$

Es el coeficiente de retención de fósforo aportado por los peces en el embalse y, x es la fracción de P retenido en los sedimentos y fue considerado como 0.5 (Larsen, Mercier 1976; Beveridge, 1984).

Fase 4: Una vez estimado $L[P]_{\text{peces}}$ la producción de peces de cultivo aceptable (Y_{peces}) en el embalse se estima con:

$$Y_{\text{peces}} = \frac{L[P]_{\text{peces}} * A}{(FCA * [pP]_{\text{alimento}} - [pP]_{\text{pez}}) * m}$$

Donde Y_{peces} es la producción de peces en toneladas, A es la superficie del embalse, FCA es el factor de conversión alimenticia, entendiéndose como razón entre el peso del alimento suministrado y la producción en peso de los peces cosechada, $[pP]_{\text{alimento}}$ es la proporción de P en el alimento adicionado al cultivo y $[pP]_{\text{pez}}$ la proporción P en los tejidos del pez en cultivo y m es un factor de conversión equivalente a una tonelada, en las unidades de peso en que es expresada la $L[P]_{\text{peces}}$. Por el volumen cambiante de la presa debido al uso de agua para riego agrícola, los estimados de capacidad de carga se realizaron considerando la superficie del embalse y la profundidad promedio en su nivel más bajo, $A=6500$ has y $Z=13.2$ m, respectivamente.

El análisis de los datos se realizó utilizando los softwares Excel 2010® y Rstudio (Rstudio Team, 2018).

▶ RESULTADOS

VARIABLES FÍSICAS. La profundidad de la presa osciló entre 12 y 46.6 m, con un valor promedio para toda la presa de 28 m. Las profundidades menores se encontraron en la estación asociada a Chicorato y las más altas a La Cortina. Por su parte, para los ríos de entrada y salida se encontraron profundidades medias de 1.6 y 1.3 m, respectivamente. En lo que se refiere a la transparencia se obtuvo un promedio cercano a los 2 m para toda la presa, con los valores más bajos en Chicorato y Caimanero, así como el más alto en El Papachal. La temperatura del embalse varió de 20.6 a 32.4 °C, con un promedio de 24.29 °C. Los valores medios por estación indican poca variación, apenas de uno a decimas de grado en todos los casos (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros físicos, químicos y relaciones N:P en las estaciones de muestreo de la presa Lic. Gustavo Díaz Ordaz “Bacurato”,

Variables	Caimanero Media ± SD	Chicorato Media ± SD	Cortina Media ± SD	Papachal Media ± SD	Rancho del Media ± SD	Río Entrada Media ± SD	Río Salida Media ± SD
FÍSICAS							
Prof. (m)	39.7 ± 8.60	12.5 ± 3.33	46.6 ± 10.24	25.8 ± 10.18	16.6 ± 9.13	1.6 ± 1.75	1.3 ± 0.50
Transp. (m)	1.3 ± 0.46	1.3 ± 0.30	1.8 ± 0.70	4.9 ± 5.43	1.0 ± 0.43	0.3 ± 0.40	1.3 ± 0.50
Temp. (°C)	24.4 ± 3.17	24.8 ± 2.73	23.8 ± 3.08	24.8 ± 2.82	25.3 ± 3.06	27.5 ± 3.00	22.9 ± 3.02
QUÍMICAS							
Dureza (mg/l)	67.1 ± 35.16	10.3 ± 7.05	63.2 ± 39.12	64.1 ± 37.06	73.3 ± 41.88	81.3 ± 59.19	67.6 ± 33.40
SST (mg/l)	16.4 ± 17.08	4.0 ± 2.05	17.4 ± 15.91	25.3 ± 24.49	16.7 ± 16.98	504.1 ± 903.17	15.5 ± 12.70
MO (mg/l)	3.8 ± 3.20	3.5 ± 1.78	4.6 ± 2.67	9.1 ± 8.53	13.4 ± 20.38	42.5 ± 71.27	3.8 ± 1.58
Clor. (µg/l)	6.5 ± 7.77	9.8 ± 5.00	2.8 ± 3.62	4.8 ± 3.04	6.9 ± 4.54	33.1 ± 49.59	1.9 ± 1.44
pH (Unidades)	7.7 ± 0.32	7.9 ± 0.10	7.7 ± 0.62	7.8 ± 0.39	7.7 ± 0.29	7.9 ± 0.24	8.0 ± 0.26
OD (mg/l)	2.5 ± 2.32	5.4 ± 0.79	2.1 ± 2.41	3.4 ± 2.56	3.4 ± 2.11	7.8 ± 5.48	8.3 ± 3.31
Conduc. (mS/cm)	0.2240 ± 0.03	0.2289 ± 0.02	0.2213 ± 0.02	0.2534 ± 0.11	0.2500 ± 0.05	0.3 ± 0.15	0.2 ± 0.01
NO ₂ (µmol/l)	0.3 ± 0.31	0.4 ± 0.18	0.2 ± 0.35	0.1 ± 0.12	1.3 ± 2.47	0.2 ± 0.21	1.7 ± 3.41
NO ₃ (µmol/l)	3.2 ± 3.85	1.8 ± 1.02	2.1 ± 3.41	0.6 ± 0.99	5.7 ± 7.53	1.6 ± 2.16	11.0 ± 15.79
NH ₄ (µmol/l)	4.2 ± 6.19	0.2 ± 0.13	2.9 ± 3.83	3.6 ± 6.54	4.4 ± 7.75	8.1 ± 16.28	9.1 ± 17.19
PO ₄ (µmol/l)	0.33 ± 0.20	0.24 ± 0.13	0.30 ± 0.18	0.27 ± 0.17	0.18 ± 0.07	0.26 ± 0.17	0.39 ± 0.23
NT (µmol/l)	41.3 ± 47.25	11.4 ± 5.87	48.2 ± 46.61	67.8 ± 40.74	57.2 ± 54.88	66.7 ± 66.78	65.3 ± 68.39
PT (µmol/l)	0.19 ± 0.20	0.19 ± 0.10	0.22 ± 0.18	0.47 ± 0.37	0.22 ± 0.10	0.49 ± 0.55	0.57 ± 0.25
RELACIONES NITRÓGENO:FÓSFORO							
NID:PID (mol)	29.5 ± 37.03	11.0 ± 4.54	25.2 ± 49.34	15.6 ± 18.71	67.6 ± 80.28	103.3 ± 248.68	98.7 ± 184.32
NT:PT (mol)	246.7 ± 203.06	59.6 ± 0.01	360.4 ± 453.87	263.5 ± 263.69	256.2 ± 202.41	267.6 ± 429.48	132.4 ± 140.54

VARIABLES QUÍMICAS. La dureza del agua varió entre 10 a 81 mg/l con un promedio de 65.45 mg/l. En la estación Chicorato, se registró los valores de dureza media más bajos, mientras que los más altos fueron en el Rancho del Padre. Los sólidos suspendidos totales (SST mg/l) presentaron un intervalo de variación de entre 4 y 25 mg/l, y promedio de 16 mg/l. La concentración de materia orgánica osciló de 3 a 13 mg/l con



promedio de 6.3 mg/l. Cabe destacar que la media más alta se encontró en el río de entrada de la presa y uno de los valores más bajos en el río de salida. Los valores de la concentración de clorofila se registraron entre 3 y 10 $\mu\text{g/l}$, con promedio de 6 $\mu\text{g/l}$. En la estación Chicorato se registró las mayores concentraciones promedio de clorofila, mientras que en la estación La Cortina se obtuvo los promedios más bajos. Los valores de pH presentaron muy poca variación, con apenas diferencias a nivel de decimas de unidad. La media general para todo el sistema fue 7.8 unidades. El oxígeno disuelto varió entre 2 y 5 mg/l, con promedio de 3.4 mg/l. Los valores promedio más altos se registraron a la entrada y salida de los ríos. La conductividad, presentó una variación de entre 0.2213 y 0.2534 mS/cm con un promedio de 0.2296 obtenido para toda la presa (Tabla 1).

Los nitritos presentaron un intervalo de concentración entre 0.1 y 1.3 $\mu\text{mol/l}$, con promedio de 0.4 $\mu\text{mol/l}$. En la estación Papachal se obtuvieron las concentraciones de nitritos más bajas, y en la estación Rancho del Padre las más altas. La concentración de nitratos varió de 0.6 a 5.7 $\mu\text{mol/l}$, con un promedio de 2.7 $\mu\text{mol/l}$. Los nitratos y nitritos presentaron un patrón espacial similar, con valores más altos en la estación Rancho del Padre, y los más bajos en la estación El Papachal. La concentración promedio de amonio fue de 3.1 $\mu\text{mol/l}$, con una variación entre 0.2 y 4.4 $\mu\text{mol/l}$. En la estación de Chicorato se registraron los promedios más bajos de amonio mientras que en estación Rancho del Padre los más altos. La concentración de fosfatos varió entre 0.18 y 0.33 $\mu\text{mol/l}$ y un promedio de 0.26 $\mu\text{mol/l}$. La concentración promedio de nitrógeno (NT) y fósforo total (PT) fue de 45.2 y 0.26 $\mu\text{mol/l}$, respectivamente. El patrón espacial del NT muestra las mayores concentraciones en la estación El Papachal y las más bajas en Chicorato; mientras que las concentraciones más altas de PT se obtuvieron en El Papachal y las más bajas en Caimanero (Tabla 1).

Nutrimiento limitante. La relación de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) y fósforo inorgánico disuelto (PID) osciló entre 11:1 y 67.6:1 con un promedio de 30.3:1. En todos los casos los valores medios arrojaron una mayor proporción de nitrógeno respecto al fósforo que el referente de 10:1, característico de cuerpos de agua dulce como embalses, lagos,



ríos, etc. La relación nitrógeno total: fósforo total (NT:PT), es coherente con la relación NID:PID, y varió entre 59:1 y 360:1 con un promedio 299:1; muy por encima del referente 10:1, el fósforo es el nutriente limitante en la presa. Las relaciones más bajas de NID: PID y NT:PT se observaron en Chicorato, sin embargo, la relación más alta para NID:PID se presentó en la estación Rancho del Padre y para NT:PT en estación La Cortina (Tabla 1).

Balance hídrico y de nutrientes. La precipitación pluvial varió entre 12.4 y 112.2 mm por mes, y promedio de 89.4 mm. El promedio anual de precipitación histórico fue de 1072.2 mm y representa un aporte de agua de 69 693 000 m³/año para todo el embalse. Con base en la variación mensual de almacenamiento de agua se estimó un afluente mensual entre 3.1 y 343.1 millones de m³ (Mm³) con un promedio de 173.9 Mm³. El afluente promedio anual para la presa Bacurato, proveniente del Río Sinaloa, se estimó en alrededor de 874 951 667 m³/año. El caudal del efluente estimado varió entre 4.2 y 160.2 Mm³/mes, con un promedio de 83.8 millones de metros cúbicos por mes, con un valor anual de 838 078 333 m³/año. La evaporación mensual osciló 78.4 y 275.0 mm, con un promedio de 158.2 mm y un promedio anual de 1,898.3 mm. La evaporación total de agua estimada para el embalse fue de 35 852 383 m³/año. La variación del volumen de agua del embalse osciló entre 40.04 y 79.16 millones de metros cúbicos, con un promedio general para todo el embalse de -0.06 Mm³.

El balance hídrico general de la presa Lic. Gustavo Díaz Ordaz “Bacurato” (Figura 2) demuestra que el volumen de agua que ingresa por el río Sinaloa es muy similar al volumen que se descarga a través de la cortina al mismo río. Otro aspecto importante es que las pérdidas por evaporación son mayores que los aportes por precipitación. La evapotranspiración negativa, indica que la presa Bacurato presenta un clima seco, es decir que, como los volúmenes de salida son mayores, el agua almacenada en el suelo reduce su volumen.

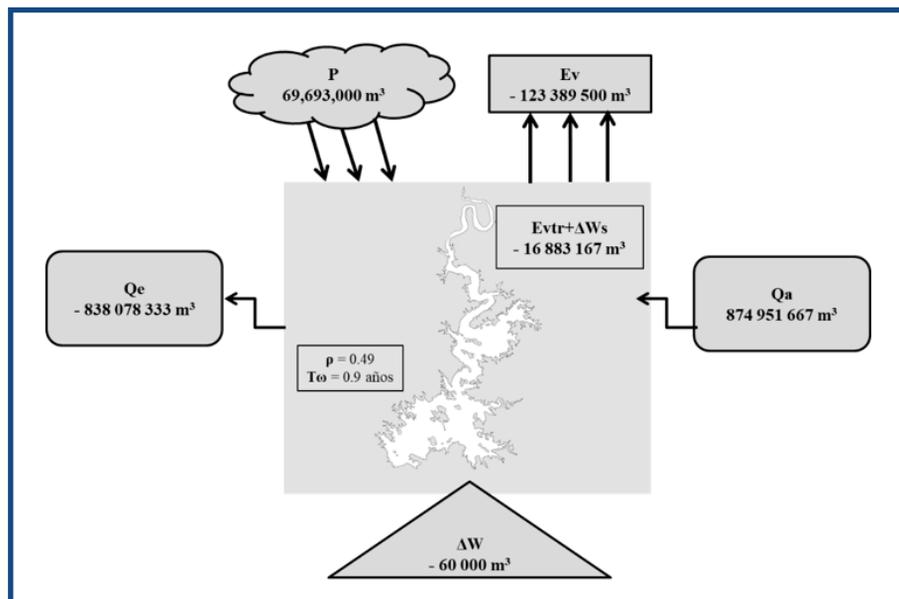


Figura 2. Balance Hídrico de la presa Lic. Gustavo Díaz Ordaz “Bacurato”. P= precipitación, Ev = evaporación, Qa = afluente, Qe = efluente, ρ = tasa de descarga de agua, T(t)= Tiempo de residencia, ΔW = variación del volumen de agua del embalse, Evtr+ ΔW s = evapotranspiración. Fuente: elaboración propia con información de CONAGUA (2018a); (2018b)

Una vez que se obtuvo el balance hídrico, se estimó la tasa de descarga y el tiempo de residencia del embalse. Dichas relaciones arrojaron una tasa de descarga de 0.4956, así como un tiempo de residencia de 0.9 años. Por su parte, las cargas de los afluentes y efluentes, el aporte de la lluvia y el aporte desde los sedimentos fueron utilizados para obtener la carga total de N y P hacia el embalse, que para este caso de estudio los resultados obtenidos indican un aporte total de 205 mg/m²/año de fósforo y 13,382 mg/m²/año de nitrógeno (Figura 3).

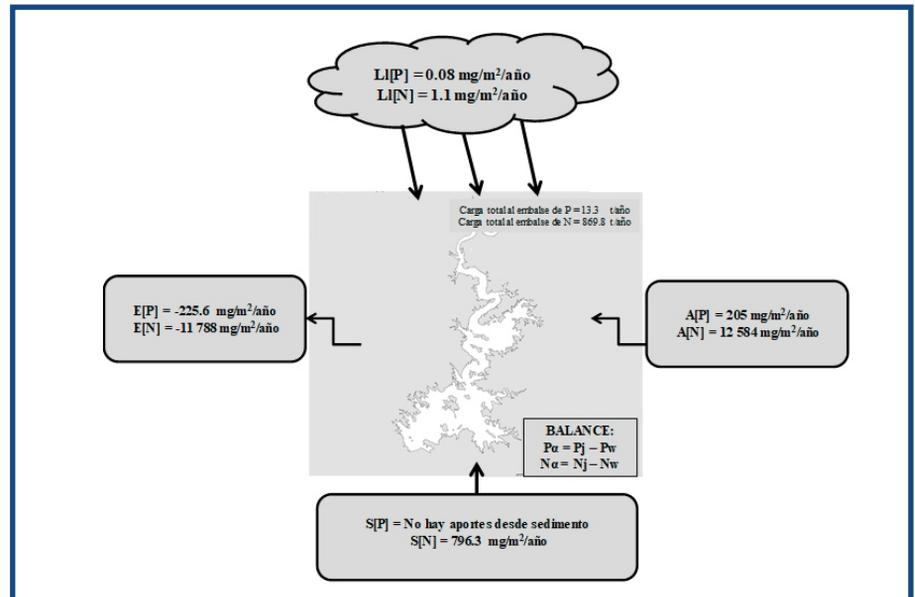


Figura 3. Balance másico de la presa Lic. Gustavo Díaz Ordaz "Bacurato". A [P/N]=carga de [nutriente] del afluyente, E[P/N]= carga de [nutriente] del efluente, S [P/N]=carga de [nutriente] desde los sedimentos, LI[P/N]=carga de [nutriente] de las precipitaciones.

Fuente: elaboración propia

Estado trófico. La mayoría de las estaciones de muestreo se clasificaron como mesotróficas de acuerdo con el índice de estado trófico de Carlson (TSI), solo las estaciones de La Cortina y El Papachal, estuvieron muy cerca de pasar a condiciones oligotróficas. También, es importante destacar que las estaciones de Chicorato y Río Sinaloa (entrada) obtuvieron los valores más altos para este índice (Figura 4). De acuerdo con los valores de TSI para fósforo indican que la presa se encuentra en condiciones de oligo-mesotrofia, con un promedio general de 30.6; sin embargo, los valores TSI promedio de transparencia y clorofilas son ligeramente mayores (característicos de un estado mesotrófico).

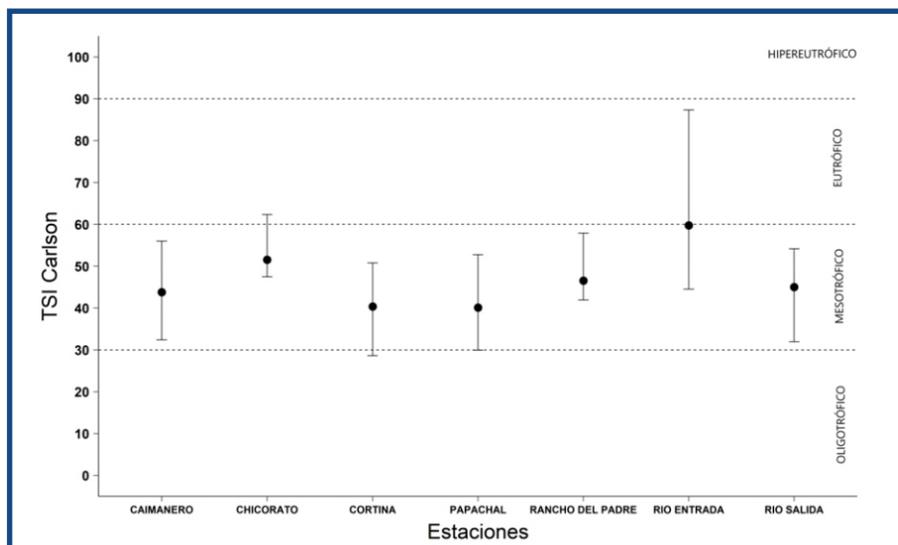


Figura 4. Variación espacial de los resultados ($\bar{X} \pm DE$) del índice de estado trófico de Carlson (TSI) en la presa Lic. Gustavo Díaz Ordaz “Bacurato”. Fuente: elaboración propia.

Capacidad de carga. Los resultados por fases para determinar la capacidad de carga se describen a continuación:

Fase 1: Los valores generales de P en la presa oscilaron entre 0.3 y 48.3 mg/m³, con variaciones importantes entre las estaciones de muestreo, y un promedio para todo el embalse de 8.62 mg/m³, sin considerar entradas y salidas al sistema.

Fase 2: De acuerdo con Carlson (1977) la frontera entre un cuerpo de agua mesotrófico a eutrófico se da a un TSI de 60 y una concentración de fósforo de 48.1 mg/m³, la cual fungió como incremento máximo de la concentración de fósforo.

Fase 3: La diferencia entre la concentración de P necesaria para condiciones eutróficas (índice de Carlson) y la concentración actual de P en la presa es de $\Delta P = 39.5 \text{ mg/m}^3$.

Fase 4: La carga aceptable estimada de fósforo ($L[P]_{\text{peces}}$) producida por el cultivo de peces en el embalse fue de 1502.1 mg/m², considerando un valor de $\Delta[P] = 39.5 \text{ mg/m}^3$, la profundidad promedio del embalse ($Z = 13.2 \text{ m}$), la tasa de descarga anual de agua ($p = 0.4956$) y el coeficiente de retención de fósforo aportado por los peces en el embalse ($R[P]_{\text{peces}} = 0.83$). Considerando una superficie del embalse de 6500 ha, la proporción de P en el alimento en 0.0187 ± 0.0048 , de 0.0053 ± 0.0012 en los tejidos de la tilapia y un FAC de aproximadamente 2 se estimó la producción de peces de cultivo aceptable (Y_{peces}) en 3,080 t por año.

► DISCUSIÓN

Calidad de agua. De acuerdo con el pH y dureza, se puede decir que el agua del embalse es moderadamente alcalina. Las bajas concentraciones de OD, indica dominancia de procesos de descomposición de materia orgánica en los fondos, reduciendo las concentraciones de oxígeno a condiciones de anoxia. Valores bajos de OD ya habían sido reportados para esta misma presa en un estudio anterior (Beltrán-Álvarez, Sánchez-Palacios, Ramírez-Lozano, 2006) quienes también coinciden en señalar que el embalse presenta procesos de anoxia en el hipolimnio, una estratificación en el año y concentraciones de las distintas variables similares a las del presente estudio. Estos resultados también coinciden con los encontrados por Gaspar-Dillanes *et al.* (2013) quienes describen a la presa Bacurato como un sistema oxigenado y con un aumento en las zonas someras asociadas a los ríos, tal y como se encontró en el presente estudio. Además, estos mismos autores mencionan la existencia de una mezcla muy marcada en la época más fría y una estratificación en la época cálida, sin embargo, en el presente estudio no se analizó con detalle la estratificación de las variables. Por su parte, Bravo-Inclán *et al.*, (2012), realizaron un estudio en la presa Zimapán, ubicada en los límites de Hidalgo y Querétaro, también encontrando las áreas más someras como las más oxigenadas, así como una clasificación de monomítica cálida.

Relación N:P. La alta concentración de nitrógeno respecto al fósforo, muy alejado del referente 10:1, tanto en su forma inorgánica disuelta como totales, sugieren que el fósforo es el nutriente limitante del crecimiento del fitoplancton en este embalse, como es sugerido por algunos autores (Redfield, 1934; Canfield, 1983; OECD, 2006; Wang *et al.*, 2008). Una proporción alta de nitrógeno respecto al fósforo también ha sido reportada para otro embalse de Argentina en una relación 22:1 (Echaniz, Vignatti, 2009), en cambio Bravo-Inclán, Saldaña-Favela, Sanchez-Chávez *et al.*, (2012) registraron una proporción más baja de 4.35:1. en la presa Zimapán ubicada en los estados de Hidalgo y Querétaro en México, donde el nutriente limitante es el nitrógeno.



Balance hídrico y de nutrimentos. De acuerdo con el balance hídrico este río aporta un volumen total anual de 874 951 667 m³, además recibe un aporte de las lluvias de 69 693 000 m³, la suma de ambos es ligeramente menor a lo que la presa desagua a través del mismo río Sinaloa y la evaporación (961 467 833 m³). Estos datos corroboran que las principales entradas y salidas de agua de la presa se presentan en el río tributario (río Sinaloa), los cuales le aportan cerca del 90% y el de salida (el propio río Sinaloa), el cual retira, también, cerca del 90% del agua.

Estos resultados fueron importantes para tener una visión completa de las principales fuentes nutrimentales del embalse. Así, se estimó que el 99% del fósforo que ingresa a la presa tiene su origen en la carga del afluente, y solo el 1% proviene de los aportes de las lluvias. En lo que se refiere al nitrógeno, el 94% proviene de los afluentes, el 6% es ingresado a través de los sedimentos y solo el 0.008% se lo aportan las lluvias. Una situación similar se ha observado en otros embalses (FIP-SUBPESCA, 1998a; 1998b), y es probable que se deba a los volúmenes tan grandes que transportan los afluentes, pero además porque son el destino final de residuos industriales y municipales que contienen fósforo y nitrógeno. El principal afluente de la presa Bacurato está representado por el río Sinaloa, lo cual puede explicar la fuente de fósforo y nitrógeno aportado por este afluente en la presa Bacurato

Por su parte Echaniz, Vignatti (2009) quienes realizaron un estudio en el embalse Casa de Piedra, Argentina estimaron alrededor de 5 000 toneladas de aporte de fósforo al embalse lo cual está muy por encima de lo encontrado en la presente investigación, esto probablemente se deba a que el río asociado al sistema de dicha investigación que funciona como tributario de la presa, nace de la confluencia de dos ríos con flujos de agua que reciben aportes de origen antropogénico, por lo que podría considerarse que transporta una gran cantidad de nutrimentos. En esta investigación el río Sinaloa también nace de la confluencia de distintos arroyos y ríos, en la Sierra Madre Occidental se unen varios arroyos y forman el arroyo Mohinora, al río Santo Domingo y río Basonapa, aguas más abajo recibe el aporte del río Basonopita; ya en Sinaloa, antes de llegar a la presa Bacurato, recibe los aportes de los arroyos Los Molinos



y San José de Gracia, donde finalmente desemboca en la presa (INEGI, 1995; CONAGUA, 2023), sin embargo, los aportes del río Sinaloa son menores, debido a que estos nacen en zonas con una baja influencia antropogénica.

El tiempo de residencia del agua en un embalse es un factor importante para el proceso de eutrofización; entre mayor sea el tiempo de residencia mayor es la vulnerabilidad a la eutrofización. El tiempo de residencia de la presa Bacurato fue estimado en 0.9 años y presenta características de mesotróficas, en comparación, el tiempo de residencia del agua en la presa Zimapán fue estimada en 1.16 años (Bravo-Inclán *et al.*, 2012) y presenta características de un estado eutrófico-hipereutrófico. Aunque en la eutrofización de la presa Zimapán también contribuyen los aportes de desecho de grandes ciudades e industrias en general. El lago de Pátzcuaro que está en una cuenca endorreica, con un tiempo de residencia alto (8.1 años) presenta características de un estado eutrófico (Rojas-Carrillo, Aguilar-Ibarra, 2012), porque solo se reciben aportes de aguas pluviales y salidas por evaporación, lo que se traduce en ciclos anuales de dilución y concentración de sales.

Además, algunas características morfológicas y morfométricas controlan las condiciones fisicoquímicas del agua en las presas (Tundisi, Tundisi-Matsumura, 2008), pero también es un factor determinante para definir el estado trófico de los embalses (Dillon, Rigler, 1975; Vollenweider, 1968). Dado que la presa Bacurato presenta características morfométricas muy particulares como un área, volumen y profundidad relativamente bajos y que además llegan a bajar hasta más del 60% de su capacidad en época estiaje y debido al uso para riego, le permiten tener un tiempo de residencia también considerablemente bajo (0.9 años, estimado en el presente trabajo), le permiten regular los grandes aportes de nutrimentos que recibe y por ende mantener, o incluso disminuir, el estado trófico del mismo.

Capacidad de carga. La capacidad de carga estimada en el presente estudio coincide con muchas estimaciones realizadas a nivel internacional en otros cuerpos de agua, por ejemplo, en el embalse Kesikköprü, en Turquía estudiado por Pulatsü (2003) no presentó signos de eutrofización por lo que, sugiere que la acuicultura puede



desarrollarse en dicha presa. Por su parte, Echaniz, Vignatti (2009) en una presa (Casa de Piedra), Argentina, la cual no se encuentra eutrofizada, encontraron una capacidad de carga suficiente para desarrollar procesos acuícolas en ella. Del mismo modo, en el reservorio Koto PanJang de Indonesia, Warningsih, Setiyanto, Fahrudin, Adrianto (2016), estimaron la capacidad de carga y los resultados sugirieron que el sistema soportaba el doble de la producción actual por lo que propusieron que la acuicultura en jaulas tenía potencial de desarrollo.

Por otro lado, los resultados de esta investigación fueron diferentes a los obtenidos por Rojas-Carrillo, Aguilar-Ibarra (2012), quienes estimaron la capacidad de carga en el lago de Patzcuaro, Michoacán, México, el cual presentaba síntomas de eutrofización y cuya conclusión principal es que no se deben realizar procesos acuícolas en dicho cuerpo de agua.

Un aspecto importante para considerar es que la estimación de la capacidad de carga para acuicultura en un cuerpo de agua que se obtiene a través de esta metodología es sólo indicativa, ya que no considera otra fuente de aportación de fósforo al medio (Rojas-Carrillo, Aguilar-Ibarra, 2012). Como se vio anteriormente, en la presa Bacurato existe un aporte al sistema desde el afluente donde el aporte principal de nutrientes es debido a la actividad agrícola, por lo que un incremento de esta actividad con el correspondiente incremento en el aporte de fósforo y nitrógeno podría reducir la biomasa estimada por el modelo de Beveridge (1984), al igual que cualquier otra fuente de actividad futura que se pudiera desarrollar. Por tal razón, la planeación de actividades acuícolas en un embalse debiera ser analizada desde una perspectiva más integral con proyecciones de otras actividades de desarrollo en la cuenca que pudieran influir en el proceso de eutrofización del embalse, tales como desforestación en la cuenca, desarrollo o intensificación agrícola, desarrollo de asentamientos humanos, entre otros.

La capacidad de carga estimada indica que se requiere una producción acuícola de más de 3 000 toneladas para pasar a niveles de eutrofia, lo que representa una biomasa incluso mayor que los picos históricos de pesca (\approx 1 200 toneladas). Algunos autores (Gunkel, Matta, Selge,



Nogueira da Silva, Sobral, 2015) sugieren que aplicar un modelo de producción conocido como “Acuicultura azul” pudiera mejorar de manera importante la calidad de agua, reducir el impacto y aumentar la producción. Esta propuesta consiste en no utilizar antibióticos de manera rutinaria, utilizar alimentos con bajo contenido de fósforo, elegir zonas con condiciones idóneas para instalar un cultivo, no alimentar en exceso, entre otras.

Otra buena opción para mejorar la producción sin afectar la sustentabilidad del ecosistema superando la capacidad de carga es la que sugieren Echaniz, Vignatti (2009). Estos autores mencionan que una buena manera de minimizar el impacto de la acuicultura es fraccionar la biomasa total obtenida del modelo, dejando un margen para no alcanzar niveles de eutrofia, realizando un ejercicio hasta encontrar el valor que mejor se adecue a las necesidades de producción y en el cual se proteja la estabilidad del sistema.

Por otra parte, dado que el modelo utilizado en el presente estudio utiliza el estado trófico como límite y esta condición es muy dinámica, es necesario realizar un monitoreo constante de las condiciones del embalse (*e.g.* cada año o cada semestre), para identificar cuando éstas se modifiquen y por ende lo haga el estado trófico, con el fin de poder implementar nuevamente el modelo de capacidad de carga ecológica y reajustar la biomasa a las condiciones más recientes en las que se lleve a cabo un muestreo de actualización.

Por último, aun cuando ya se conoce el límite a nivel ecológico, se requiere identificar las zonas más apropiadas para distribuir de manera adecuada las propuestas acuícolas, sin que estas interfieran con otras actividades; esto se puede lograr mediante la implementación de un modelo de selección de sitios idóneos (capacidad de carga física). Esto descartará zonas que no sean adecuadas para la acuicultura, reduciendo el área total del embalse, lo cual disminuirá también la capacidad de carga ecológica (biomasa máxima cultivable), por lo que esto también puede fungir como una medida de manejo.



► CONCLUSIONES

De acuerdo con el balance hídrico y de nutrientes se comprobó que los mayores aportes a la presa están asociados al afluente (río Sinaloa) y que no existe un aporte importante desde los sedimentos. El balance hídrico también permitió estimar el tiempo de residencia de la presa Bacurato en 0.9 años, el cual resultó ser muy similar a los encontrado en otros estudios. De acuerdo con los resultados analizados, el nutriente limitante de la presa es el fósforo. El índice de estado trófico permitió demostrar que el embalse presenta signos de oligo-mesotrofia asociados al aporte de fósforo. Por último, la capacidad de carga de la presa no está sobrepasada y se necesitaría producir 3 080 t de biomasa extra por la acuicultura, durante un año de cultivo, para transitar de un estado oligo-mesotrófico a uno eutrófico.

► BIBLIOGRAFÍA

- Aizaki, M., Otsuki, A., Fukushima, T., Hosomi, F., & Muraoka, K. (1981).** Application of Carlson's trophic state index to Japanese lakes and relationships between the index and other parameters. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 211(1), 675-681.
- Akin, B.S., Atıcı, T., Katircioglu, H., & Keskin, F. (2010).** Investigation of water quality on Gökçekaya dam lake using multivariate statistical analysis, in Eskişehir, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 63, 1251-1261. Doi: 10.1007/s12665-010-0798-6.
- APHA-AWWA-WPCF. (1992).** *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales* (edición Ed. 17ª ed.). Madrid, España: Ediciones Díaz Santos SA.
- Beltrán-Álvarez, R., Sánchez-Palacios, J., & Ramírez-Lozano, J. P. (2006).** Morfometría y características físicas y químicas del agua del embalse Gustavo Díaz Ordaz (Bacurato), Sinaloa, México. *Ciencias del Mar; UAS*, 18, 41-43.



- Beveridge, M. C. M. (1984).** Cage and pen fish farming. Carrying capacity models and environmental impact. FAO Documento Técnico de Pesca No. 255. Rome. FAO. 131p.
- Beveridge, M. C. M. (1996).** *Cage Aquaculture, second edition.* Oxford, Inglaterra: Fishing News Books Ltd, Oxford.
- Beveridge, M. C. M. (2004).** *Cage Aquaculture, 3rd ed.* Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Bravo-Inclán, L., Saldaña-Favela, M. P., & Sanchez-Chávez, J. J. (2012).** Evaluación ambiental del estado trófico y toxicidad del embalse Zimapán, México. 105-117 pp. In Y. Pica-Granados & P. Ramírez-Romero (Eds.), *Contribuciones al conocimiento de la ecotoxicología y química ambiental en México* (pp. 513). Jiutepec, Morelos, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Canfield, D. E. J. (1983).** Prediction of chlorophyll *a* concentrations in Florida lakes: the importance of phosphorus and nitrogen. *Water Researches Bulletin*, 19, 255-262.
- Carlson, R. E. (1977).** A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22, 361-369.
- Carroll, M. L., Cochrane, S., Fieler, R., Velvin, R., & White, P. (2003).** Organic enrichment of sediments from salmon farming in Norway: environmental factors, management practices, and monitoring techniques. *Aquaculture*, 226, 165-180.
- CNA. (2003).** *Estadísticas del Agua en México.* México, D.F.: Comisión Nacional del Agua (CNA).
- CONAGUA. (2018a).** Comisión Nacional del Agua: Monitoreo de Presas de México. Retrieved Consultado el 8 de octubre del 2018, from <http://conagua.presas.mx/>
- CONAGUA. (2018b).** Información de las estaciones climáticas de México. Retrieved Octubre del 2018, 2018, from <http://smn.cna.gob.mx/tools/GUI/ENCS.php>



- CONAGUA. (2023).** Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero río sinaloa (2502), estado de sinaloa. URL https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/sinaloa/DR_2502.pdf
- Dejenie, T., Asmelash, T., De Meester, L., Mulugeta, A., Gebrekidan, A., Risch, S., Pals, A., Van der Gucht, K., Vyverman, W., Nyssen, J., Deckers, J., & Declerck, S. (2008).** Limnological and ecological characteristics of tropical highland reservoirs in Tigray, Northern Ethiopia. *Hydrobiologia*, 610, 193-209. Doi: 10.1007/s10750-008-9435-8
- Dillon, P. J., & Rigler, F. H. (1975).** A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status. *Journal of the Fisheries Research Board of Canadian*, 32, 1519-1531.
- Echaniz, S., & Vignatti, A. (2009).** Determinación del estado trófico y la capacidad de carga del embalse casa de piedra. *BioScriba*, 2(1), 41-51.
- FIP-SUBPESCA. (1998a).** Determinación de la Capacidad de Carga y Balance de Fósforo y Nitrógeno del Lago Riñihue. URL https://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-89587_informe_final.pdf
- FIP-SUBPESCA. (1998b).** Determinación de la capacidad de carga de los lagos Auquilda, Yaldad y Tres Marías en Chiloe Insular. URL https://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-89664_informe_final.pdf
- Gaspar-Dillanes, M.T., González-Gallardo, V. I. & Romero-Beltrán, E. (2013).** Presa Lic. Gustavo Díaz Ordaz "Bacurato", Sinaloa. En: M.T. Gaspar-Dillanes, & D. Hernández-Montaña (Comps.). *Pesquerías Continentales de México* (pp: 15-33). México: Instituto Nacional de Pesca.



- Gopakumar, G. (2009).** History of cage culture, cage culture operations, advantages and disadvantages of cages and current global status of cage farming. National Training on 'Cage Culture of Seabass' held at CMFRI, Kochi. Central Marine Fisheries Research Institute.
http://eprints.cmfri.org.in/6007/1/2._Gop.pdf.
- Gunkel, G., Matta, E., Selge, F., Nogueira da Silva, G. M., & Sobral, M. C. (2015).** Carrying capacity limits of net cage aquaculture in brazilians reservoirs. *RBCIAMB*, 36, 128-144.
- Guo, L., Li, Z., Xie, P., & Ni, L. (2009).** Assessment effects of cage culture on nitrogen and phosphorus dynamics in relation to fallowing in a shallow lake in China. *Aquaculture International*, 17, 229-241.
- Hamblin, P. F., & Gale, P. (2002).** Water quality modeling of caged aquaculture impacts in Lake Wolsey, North Channel of Lake Huron. *Journal of Great Lakes Research*, 28, 32 - 43.
- Hayes, N.M., Deemer, B.R., Corman, J.R., Razavi, N.R., & Strock, K.E. (2017).** Key differences between lakes and reservoirs modify climate signals: A case for a new conceptual model. *Limnology and Oceanography Letters*, 2, 47-62. doi: 10.1002/lol2.10036
- Hwang, S. J., Kwun, S. K., & Yoon, C. G. (2003).** Water quality and limnology of Korean reservoirs. *Paddy and Water Environment*, 1, 43-52.
- INEGI. (1995).** Estudio hidrológico del estado de Sinaloa. Aguascalientes, Ags., México. Talleres Gráficos del INEGI
- Kalff, J. (2002).** *Limnology; second edition*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall.
- Larsen DP, HT Mercier. 1976.** Phosphorus retention capacity of lakes. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 33(8): 1742-1750. DOI: 10.1139/ f76-221.
- Lopez, P., Navarro, E., Marce, R., Ordoñez, J., Caputo, L., & Armengol, J. (2006).** Elemental ratios in sediments as indicators of ecological processes in Spanish reservoirs. *Limnetica*, 25 (1-2), 499-512.



- Masser, M.P. (2012).** Cage culture in freshwater and marine protected areas. En J.H., Tidwell (Ed.), *Aquaculture Production Systems* (pp. 119-134), Frankfort, Kentucky, USA; World Aquaculture Society – Wiley-Blackwell
- Nakashima, S., Yamada, Y., & Tada, K. (2007).** Characterization of the water quality of dam lakes on Shikoku Island, Japan. *Limnology*, 8, 1-22
- OECD. (2006).** Eutrophication of waters. Monitoring assessment and control. Research of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (pp. 154). París, Francia.
- Pulatsü, S. (2003).** The Application of a Phosphorus Budget Model Estimating the Carrying Capacity of Kesikköprü Dam Lake. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science*, 27, 1127-1130.
- Redfield, A. C. (1934).** *On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton.* Liverpool: James Johnstone Memorial Volume. Liverpool University Press.
- Rendón-Martínez, J. R., Frías-Espericueta, M. G., Hernández, C., Osuna-Bernal, D. A., Romero-Beltrán, E., & Voltolina, D. (2014).** Efectos del cultivo de peces en jaulas flotantes sobre calidad del agua y de los sedimentos en el Pacífico Mexicano. 859-872. In A. V. Botello, F. Páez-Osuna, L. Mendez-Rodríguez, M. Betancourt-Lozano, S. Álvarez-Borrego & R. Lara-Lara (Eds.), *Pacífico Mexicano. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias* (pp. 930). Mazatlán, Sinaloa: UAC, UNAM-ICMYL, CIAD-Mazatlán, CIBNOR, CICESE.
- Rojas-Carrillo, P. M., & Aguilar-Ibarra, A. (2012).** Estimación de la capacidad de carga en el cultivo de peces en jaulas en el lago de Pátzcuaro, México. *Ciencia Pesquera*, 20(2), 23-34.



- Ross, L. G., Falconer, L. L., Campos-Mendoza, A., & Martínez-Palacios, C. A. (2011).** Spatial modelling for freshwater cage location in the Presa Adolfo Lopez Mateos (El Infiernillo), Michoacán, México. *Aquaculture Research*, 42, 797-807.
- Ross, L. G., Telfer, T. C., Falconer, L. L., Soto, D., Aguilar-Manjarrez, J., Asmah, R., . . . Zhu, C. (2013).** Carrying capacities and site selection within the ecosystem approach to aquaculture. En L.G. Ross, Telfer, T.C., Falconer, L.L., Soto, D. & Aguilar-Manjarrez, J. (Eds.), *Site Selection and Carrying Capacities for Inland and Coastal Aquaculture* (pp. 19 - 46). Roma, Italia: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Rstudio Team. (2018).** RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA. URL: <https://cran.rstudio.com/>
- SAGARPA-INAPESCA (2002).** Pesquerías en tres cuerpos de aguas continentales de México. URL https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/622572/Pesquerias_en_tres_cuerpos_de_aguas_continental_de_Mexico
- Sowles, J. (2009).** Aquaculture task force discussion paper on biological carrying capacity. 2019, from <https://www1.maine.gov/dmr/aquaculture/reports/documents/carryingcapacity.pdf>
- Tacon, G. J., & Halwath, M. (2007).** Cage aquaculture: a global overview. In M. Halwath, D. Soto & J. R. Arthur (Eds.), *Cage aquaculture-Regional reviews and global overview*. (pp. 4 - 20). Roma, Italia: FAO fisheries technical paper No. 498.
- Thornton, K. W., Kimmel, B. L., & Payne, F. E. (1990).** *Reservoir limnology: ecological perspectives*. Nueva York, EUA: Wiley.
- Tundisi, J.G., & Tundisi-Matsumura, T. (2008).** *Limnología*. Sao Paulo, Brasil: Oficina de Textos de Sao Paulo.
- Vollenweider, R. A. (1968).** Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters, with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication. DAS/CSI/68.27. (pp. 159). Paris: OECD.



- Vollenweider, R. A. (1975).** Input-Output Models with Special Reference to the Phosphorus Loading Concept in Limnology. *Swiss Journal of Hydrology*, 37, 53-83.
- Wang, H., Liang, X., Jiang, P., Wang, J., Wu, S., & Wang, H. (2008).** TN:TP ratio and planktivorous fish do not affect nutrient-chlorophyll relationships in shallow lakes. *Freshwater Biology*, 53, 935-944.
- Warningsih, T., Setiyanto, D. D., Fahrudin, A., & Adrianto, L. (2016).** Carrying capacity of Koto Panjang reservoir's ecosystem provisioning services for floating net cage culture (FNC). *International Journal of Research in Earth and Environmental Sciences*, 4(1), 30-35.
- Xia, B., Guo, P., Lei, Y., Zhang, T., Qiu, R., & Knorr, K. (2016).** Investigating speciation and toxicity of heavy metals in anoxic marine sediments a case study from a mariculture bay in Southern China. *Journal of Soils and Sediments*, 16, 665 - 676.