



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE
HIDALGO**

**FACULTAD DE BIOLOGIA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**AREA TEMATICA:
ECOLOGIA Y CONSERVACION**

Calidad de agua y Capacidad de Carga en la Presa Lic.
Adolfo López Mateos “El Infiernillo”, Michoacán, México sitio
propicio para el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*).

T E S I S

Para obtener el grado académico de:

Maestra en Ciencias Biológicas

Área Temática: Ecología y Conservación

PRESENTA

Karina Rosales Flores

DIRECTOR DE TESIS

Doctor en Acuicultura

Antonio Campos Mendoza

CODIRECTOR DE TESIS

Maestro en Ciencias

Rubén Hernández Morales

U.M.S.N.H



**FACULTAD
DE
BIOLOGÍA**

Abril / 2015

DEDICATORIA

A mi Padre y Madre

Por su infinito amor y enseñarme el objetivo de la vida: ser feliz

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSN)**, por impartir una maestría de excelencia en el área de Ecología y Conservación.

Al área de **Análisis de Aguas** del Laboratorio de Biología Acuática “J. Javier Alvarado Díaz” de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Al proyecto: **“Sistema regional de producción intensiva de tilapia para mercados de alto valor comercial e impulsar el desarrollo económico y social del occidente de México”** (FORDECYT).

A mi director de tesis **Dr. Antonio Campos Mendoza**, por su paciencia, tiempo, esfuerzo, dedicación y amistad.

Al comité tutorial integrado por: **M.C. Rubén Hernández Morales, Dra. Rebeca Rueda Jasso, Dr. Lindsay G Ross y a la Dra. Isabel Israde Alcántara**, por su paciencia, tiempo, esfuerzo y dedicación.

Al **Dr. Javier Ponce**, por el apoyo en los análisis estadísticos de esta tesis.

Al **Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga**, investigador titular del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR, S.C), por su gran enseñanza en el curso “Indicadores de Calidad de Agua”.

Al **Dr. Héctor Ramón Barraza Guardado**, investigador titular de la Universidad de Sonora (UNISON), por su apoyo incondicional.

A mis compañeros de laboratorio, **Blanca, Zitlali, Nayeli, Marisol, Bibiana, Karla, Araceli, Yanin, Luis Eduardo, Isaac, Jorge (Maravillas) y Arturo**, por su amistad y apoyo durante toda la maestría.

Al programa de becas **CONACYT**, por el apoyo económico durante la maestría.

INDICE GENERAL

1. RESUMEN	1
2. SUMMARY	2
3. INTRODUCCIÓN	3
3.1 Presa Adolfo López Mateos “El Infiernillo”, Michoacán.	3
3.2 Calidad del agua	5
3.3 Situación y perspectiva de la tilapia en Michoacán.	5
3.3 Planteamiento del problema	6
4. HIPOTESIS	8
5. OBJETIVO GENERAL	9
5.1 OBJETIVOS PARTICULARES	9
6. RESULTADOS	10
7. CAPITULO I: CALIDAD DE AGUA DE LA PRESA “EL INFIERNILLO, MICHOACÁN MÉXICO	10
7.1 RESUMEN	10
7.2 ABSTRACT.....	12
7.3 INTRODUCCIÓN	13
7.4 ÁREA DE ESTUDIO.....	15
7.5 MATERIALES Y METODOS.....	16
7.6 RESULTADOS Y DISCUSION	18
7.6.1 Indicadores fisicoquímicos y biológicos.	18
7.6.2 Comportamiento fisicoquímico y biológico en época de estiaje y lluvia.	21
7.6.3 Índice de Calidad de Agua.....	24
7.6.4 Uso potencial del agua en la presa de Infiernillo.....	25
7.7 CONCLUSIONES	26
7.8 LITERATURA CITADA.....	27
7.9 TABLAS Y PIES DE FIGURAS	30
8. CAPÍTULO 2: INDICE DE CALIDAD DE AGUA Y CAPACIDAD DE CARGA PARA EL CULTIVO DE TILAPIA “<i>Oreochromis niloticus</i>” EN LA PRESA EL INFIERNILLO, MICHOACÁN MÉXICO	34
8.1 RESUMEN	34
8.2 ABSTRACT.....	35
8.3 INTRODUCCIÓN	36

8.4	ÁREA DE ESTUDIO.....	37
8.5	MATERIAL Y METODOS	39
8.5.1	Índice de calidad de agua	40
8.5.2	Capacidad de carga	44
8.6.	RESULTADOS.....	47
8.6.1	Indicadores fisicoquímicos y biológicos.....	47
8.6.2	Índice de calidad de agua Canadiense (CCME WQI)	51
8.6.3	Capacidad de carga (Modelo propuesto por Beveridge, 2004)	53
8.7	DISCUSIÓN.....	55
8.8	CONCLUSIONES	60
8.9	LITERATURA CITADA.....	61
9.	DISCUSIÓN GENERAL E INTEGRACIÓN DE LOS RESULTADOS	66
10.	RECOMENDACIONES.....	69
11.	LITERATURA CITADA	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores medios de variables fisicoquímicas, clorofila a, b, c y concentración de coliformes, representadas en dos épocas estiaje (Diciembre 2012 a Febrero 2013) y lluvia (Septiembre a Diciembre 2013). Entre paréntesis se señala la desviación estándar (DS), el mínimo y máximo (min-max) de cada variable. Average values of the main physicochemical variables, chlorophyll a, b, c and concentration of coliforms for each season drought (December 2012 to February 2013) and rainfall (September to December 2013). In brackets the standard deviation (SD) indicates the minimum and maximum (min-max) of each variable.....	30
Tabla 2. Análisis de ordenamiento ACP, ALC (Alcalinidad), CL.A (Clorofila a), DT. (Dureza total), PT (Fosforo total), NO ³⁻ (Nitratos), NH ⁴⁺ (Amonio), TDS (Solidos disueltos totales), C.E (Conductividad eléctrica), D.CA (Dureza de calcio), TEMP (Temperatura). Ordination analysis PCA, ALC (Alkalinity), CL.A (Chlorophyll a), DT. (Total hardness), PT (Total phosphorus), NO ³⁻ (Nitrates), NH ⁴⁺ (Ammonium), TDS (Total dissolved solids), C.E (Electrical conductivity), D.CA (Calcium hardness), TEMP (Temperature).....	31
Tabla 3. Categorización del Índice Canadiense.....	42
Tabla 4. Intervalos óptimos de variables fisicoquímicas para el cultivo de tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	43
Tabla 5. Valores promedio y desviación estándar de las variables fisicoquímicas.....	49
Tabla 6. Cálculos para la determinación de la calidad del agua, en la presa El Infiernillo, Michoacán	51
Tabla 7. Características hidrológicas y químicas de la presa El infiernillo, Michoacán.....	53

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Valores temporales de nutrimentos (mg/L) presentes durante el periodo de muestreo en la presa El Infiernillo, Michoacán, México. Temporary nutrient values (mg / L) present during the sampling period in the dam El Infiernillo, Michoacán, México. 32
- Figura 2.** Resultados del análisis de componentes principales (ACP) basado en las variables fisicoquímicas y biológicas dividido en dos épocas lluvia y estiaje, representadas con puntos y cruces respectivamente, en la presa El Infiernillo, Michoacán, México. Results of principal component analysis (PCA) based on the physicochemical and biological variables divided into two rainfall seasons and drought, represented with dots and crosses respectively in the dam El Infiernillo, Michoacán, México. 32
- Figura 3.** Variación estacional (Diciembre 2012 a Diciembre 2013) y espacial del ICA en parte del vaso sur en la presa El Infiernillo, Michoacán, México. Seasons variation (December 2012 to December 2013) and spatial ICA in the southern part glass in El Infiernillo, Michoacán, Mexico. 33
- Figura 4.** Distribución vertical de la temperatura en la columna de agua en la presa El Infiernillo, Michoacán. 47
- Figura 5.** Distribución vertical del oxígeno disuelto en la columna de agua en la presa El Infiernillo, Michoacán. 48
- Figura 6.** Variación estacional de solidos disueltos totales..... 52
- Figura 7.** Variación estacional de dureza de magnesio..... 52

1. RESUMEN

La presa El Infiernillo es el segundo embalse más grande de México, construido en sus inicios con el objetivo de generar energía eléctrica y el control de avenidas, posterior a esto se iniciaron las actividades pesquera de tilapia principalmente, mientras que en menor grado carpa y bagre. La presente investigación aborda el tema de limnología aplicada en el embalse, con la intención de brindar apoyo para la realización de una acuicultura sustentable e indicar los usos que se le puede dar al embalse, las modificaciones que presenta la calidad del agua durante la época de estiaje y lluvia, así como la calidad de agua conforme a los requerimientos de la especie y la capacidad de producción intensiva de tilapia en jaulas flotantes en un área de 3 hectáreas. Se encontró que el embalse presenta condiciones adecuadas para el uso recreativo con contacto primario, uso agrícola y producción de acuícola, donde específicamente la calidad de agua es buena para el cultivo de tilapia con base en el Índice Canadiense y donde se recomienda que la producción intensiva de tilapia no sea mayor a 0.8 t anual por hectárea sugerida por el modelo propuesto por Beveridge en el 2004.

2. SUMMARY

Infiernillo is the second largest reservoir of Mexico. It was built at the beginning in order to generate electric power and flood control, after that, the fishery activity started, mainly tilapia in less scale carp and catfish. This research addresses the issue of applied limnology in the reservoir, with the intention of provide support for the implementation of a sustainable aquaculture and also indicate the uses that can be given to the reservoir. A description of the modifications on water quality during dry and rain season, and water quality in accordance with the requirements of tilapia and carrying capacity for intensive production in cages at an area of 3 hectares. Result shows that the reservoir has an adequate conditions for recreational use with primary contact, agricultural activities and aquaculture production. In this matter, water quality is good for tilapia culture based on the Canadian Index and the intensive production of tilapia recommended by Beveridge's model (2004) is 0.8 t annually per hectare.

3. INTRODUCCIÓN

3.1 Presa Adolfo López Mateos “El Infiernillo”, Michoacán.

En la actualidad México cuenta con 4,462 presas, con un capacidad promedio de almacenaje de 150 mil millones de m³ (CONAGUA, 2011), fueron construidas con los objetivos de generar energía eléctrica, actividades de irrigación, control de avenidas y uso de abastecimiento público (CONAGUA, 2012).

El embalse de “El Infiernillo” es considerado el segundo más grande de México (INEGI, 2006), con una su superficie de inundación que fluctúa entre 34 600 y 14 100 ha (Jiménez y Nepita, 2000).

Se encuentra ubicado en las coordenadas 18° 52' 00" a 18° 15' 00" norte y 101° 54' 00" a 102° 55' 00" oeste (Meléndez-Galicia *et al.* 2013), posicionado en la depresión del Balsas-Tepalcatepec y parte de la Sierra Madre del Sur, entre los estados de Guerrero y Michoacán.

Su mayor tributario al vaso de recepción es el río Balsas por el este, considerado uno de los siete ríos más grandes del país y con la corriente de mayor abundancia en la vertiente del Pacífico de la República Mexicana, aunado a ello, el río Tepalcatepec por el norte también aporta agua al embalse (Jiménez y Nepita, 2000).

En el 2011, se modificó la concesión total de agua que tenía CFE (Comisión Federal de Electricidad) permitiendo la implementación de uso y consumo humano del vital líquido (Becerril-Cedeño, 2011). Actualmente es utilizada para la generación de energía eléctrica y control de avenidas (CONAGUA, 2012), así mismo se han implementado actividades de pesca artesanal de tilapia *Oreochromis aureus*, carpa

común *Cyprinus carpio*, carpa herbívora *Ctenopharyngodon idellus* y carpa plateada *Hypophthalmichthys molitrix* (Orbe *et al.* 1999).

Por su ubicación se encuentra dentro de un clima Bs O (h') w del tipo seco estepario, subtipo seco muy cálido y cálido con lluvias de verano e invierno (García, 1988).

Sus componentes edafológicos principalmente son Leptosol, Regosol y Feozem, el primer grupo tiene una escasa profundidad, con alto porcentaje de materia orgánica y calcio, el segundo se integra de estratos arenosos finos y graba con piedras angulares, mientras que el tercero se caracteriza por ser un suelo con fertilidad natural, con grandes cantidades de materia orgánica, usado específicamente en la agricultura (INEGI, 2003).

La vegetación se encuentra integrada por elementos del bosque tropical caducifolio, en cuanto a la composición florística de este bosque varía mucho de una región a otra, entre los elementos dominantes se encuentran especies del género *Bursera* (copal, papelillo), así como representantes de la familia Leguminosae, como *Apoplanesia paniculata* (consangre) mientras que algunos árboles característicos son *Ceiba aesculifolia* (pochote), *Guaiacum coulteri* (guayacan), *Cedrela dugesii* (nogalillo), entre otros (INEGI, 2003).

La fauna terrestre está representada por arañas, anfibios (rana *Leptodactylus melanonotus*, *Similisca baudini* y sapos *Bufo marmoreus* y *B. marinus*), reptiles como la especie *Iguana iguana* conocida como iguana verde y aves como el pijije ala blanca (INEGI, 2003).

3.2 Calidad del agua

La evaluación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos, permite determinar las condiciones ambientales en las que se encuentra un cuerpo de agua y genera elementos base para la toma de decisiones del manejo ambiental, basados en los límites permisibles establecidos, en este caso, por las Normas Oficiales Mexicanas y los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua.

Una de las herramientas prácticas para la evaluación de la calidad de agua, se ha relacionado con indicadores biológicos o monitoreo de nutrientes en diferentes índices a través de la comparación con estándares para uso humano (Mendoza-Salgado *et al.* 2005). Estos índices consisten en asignar pesos o niveles de importancia a diversas variables, generalmente concuerdan con la determinación de nitrógeno y fosforo (Mendoza-Salgado *et al.* 2005), como el Índice de Calidad de agua propuesto por León (1991).

Contrario al modelo anterior, el Índice de Calidad de Agua Canadiense compara las observaciones obtenidas con puntos referencia, cuantifica el número de parámetros y valores que exceden el límite máximo o mínimo permisible, así como la magnitud con la que lo supera, el índice es considerado flexible y los determinantes dependen del uso que se le dará al agua (CCME WQI, 2001).

3.3 Situación y perspectiva de la tilapia en Michoacán.

La presa de Infiernillo se caracteriza por ser uno de los principales embalses productores de tilapia (*Oreochromis aureus*) en México, en 1987 alcanzó una producción máxima de 18,953 ton, sin embargo ha tenido una continua disminución

en los últimos años, actualmente se generan 5,413 ton, asociado a un mal manejo del recurso pesquero; la sobrepesca, modificación en la estructura genética y poblacional (Jiménez y Nepita 2000).

Sin embargo en el 2013 entro en marcha el proyecto: “Sistema regional de producción intensiva de tilapia para mercados de alto valor comercial e impulsar el desarrollo económico y social del occidente de México”, en este plan participan las instituciones: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Universidad Autónoma de Nayarit (UAN), Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD) y el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR); con el objetivo de desarrollar la cadena de valor (crianza, engorda, cosecha, procesamiento y mercadotecnia) y comparar dos modelos productivos intensivos de tilapia (bioflocs y jaulas flotantes). Se generará una producción inicial de 2400 ton anuales respectivamente, las unidades demostrativas de producción serán en jaulas flotantes y se llevan a cabo en la presa “El Infiernillo”.

Una vez establecida la cadena de valor se pretenden integrar a comités organizados que deseen trabajar en la producción de la tilapia. Este proceso permitirá impulsar el incremento de producción en el país y posicionar a Michoacán como el primer estado productor de tilapia, actualmente Chiapas es el que ocupa este lugar.

3.3 Planteamiento del problema

Conjuntamente se han realizado pocos trabajos en la presa El Infiernillo, a pesar de su importancia económica y social, Cortes y Arredondo (1976), realizaron una evaluación de la hidrología, el plancton y los recursos pesqueros, así como la

obtención de información de la reproducción natural de carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*). Bernal (1984) evaluó factores bióticos y abióticos que sugieren la productividad primaria y con ello los procesos metabólicos de la ictiofauna. Castro (1988) determinó la concentración de coliformes y variables físicas de la columna del agua. Orbe *et al.* (1999) analizaron la producción pesquera a través de modelos de rendimiento máximo sostenible. Jiménez y Nepita (2000) realizaron una evaluación de la pesquería, los cuales identificaron los causantes del descenso de la producción pesquera y el papel que desempeña la tilapia en el ecosistema.

Y por último en la contribución más reciente, Meléndez-Galicia *et al.* (2013) realizan una caracterización taxonómica y biológica de los recursos pesqueros, junto con el esfuerzo y manejo pesquero.

Sin embargo, los trabajos antes mencionados no arrojan datos concretos con los cuales se pueda determinar la calidad del agua y la capacidad de producción pesquera que presenta el embalse.

4. HIPOTESIS

La presa El Infiernillo presenta un incremento en sólidos suspendidos, nutrimentos y la conductividad eléctrica, en la época de estiaje influenciados por procesos de evapotranspiración y extracción de agua por parte de la hidroeléctrica, mientras que dichas variaciones están influenciadas en el periodo de precipitación por los ingresos alóctonos al sistema, sin embargo el embalse presenta condiciones de buena de calidad de agua para el cultivo de tilapia durante todo el año y con base al modelo de capacidad de carga propuesto por Beveridge 2004, es viable el cultivo intensivo de tilapia en el embalse.

5. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del agua y capacidad de carga en el vaso sur de la Presa de Infiernillo, a través de la determinación de parámetros fisicoquímicos y biológicos (clorofilas y bacterias coliformes) en época de estiaje, lluvias y en un ciclo anual.

5.1 OBJETIVOS PARTICULARES

- 1) Analizar la modificación de las variables fisicoquímicas y biológicas durante la época de estiaje y lluvia mediante un análisis de componentes principales y el Índice de Calidad de agua propuesto por León (1991).
- 2) Determinar los usos potenciales del agua, conforme a los límites máximos permisibles propuestos por los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua y la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1 1994.
- 3) Evaluar de la capacidad de carga en la zona de cultivo, conforme al modelo propuesto por Beveridge (2004) en un ciclo anual.
- 4) Definir las condiciones fisicoquímicas del agua, con base en los requerimientos para el cultivo de la tilapia, por medio del Índice Calidad de Agua Canadiense (2001).

6. RESULTADOS

7. CAPITULO I: CALIDAD DE AGUA DE LA PRESA “EL INFIERNILLO, MICHOACÁN MÉXICO

7.1 RESUMEN

La presa “El Infiernillo” se encuentra entre los estados de Michoacán y Guerrero su extensión la ubica dentro de dos regiones fisiográficas; la Depresión del Balsas y la Sierra Madre del Sur. Este embalse es considerado uno de las más importantes debido a la generación de energía eléctrica y su potencial acuícola. El monitoreo de la calidad del agua es esencial, debido a que el embalse en la actualidad es una fuente de abastecimiento de agua para las diversas actividades humanas. El monitoreo incluye la revisión periódica de los parámetros fisicoquímicos y biológicos, a través de los cuales se obtienen criterios sobre la calidad del agua. El presente estudio evaluó los parámetros fisicoquímicos y biológicos que juegan un papel importante en dos temporadas (estiaje y lluvia) a través de un análisis de componentes principales (ACP) e identificó las variables que explican el comportamiento del embalse para dichas épocas. Posteriormente, se evaluó la calidad del agua de la presa en la sección del vaso sur, para ello se utilizó el índice de calidad de agua (ICA), los límites permisibles establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 y los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua. Los resultados indicaron que la época de estiaje y lluvias se diferencian por la concentración de fósforo total, amonio y dureza total, estos parámetros presentaron valores altos en el estiaje. Por el contrario, la temperatura, nitratos, y clorofila *a*, fueron las variables con mayor concentración en la época de lluvia. Al conjuntar los

resultados se determinó que la calidad de agua de la presa se encuentra en una categoría que va de aceptable a poco contaminada en la época de estiaje y apta para el desarrollo de actividades acuícolas, uso recreativo con contacto primario y el uso agrícola de acuerdo al índice de calidad del agua (considerado el ICA).

Palabras Clave: calidad de agua, hidroeléctrica, embalse, usos del agua, variación estacional.

7.2 ABSTRACT

The dam "El Infiernillo" is located between the boundaries of the state of Michoacan and Guerrero. It is located within two physiographic regions, the Balsas Depression and the Sierra Madre del Sur. Infiernillo is considered one of the most important reservoirs due to the generation of electricity and its aquaculture potential. It is important to monitoring water quality, and the seasonal variation of physicochemical and biological parameters, as the reservoir is now a major source of water supply for the realization of human activities. Physicochemical and biological parameters that play an important role in two seasons were evaluated. Drought and rain season were evaluated by performing a principal component analysis (PCA). The results helped us to identifying which variables are those that explain the behavior of the reservoir between those times. Water quality of the south section of the reservoir was evaluated using the water quality index (ICA) and based on the permissible limits established by the Mexican Official Standard NOM-127-SSA1-1994 and the Ecological Criteria for Water Quality. Results have shown that the dry season and rainy differ because the concentration of total phosphorus, ammonia and total hardness. These parameters have had the highest values in the dry season, however the temperature, nitrate, and chlorophyll a were showed the highest concentration in the rainy season. It was determined that the dam has a water quality acceptable to lightly polluted in the dry season based on ICA, being suitable for the development of aquaculture activities, with primary contact recreation use and agricultural use.

Keywords: water quality, hydropower, reservoir, water uses, seasonal variation.

7.3 INTRODUCCIÓN

La presa Lic. Adolfo López Mateos “El Infiernillo” es uno de los embalses más importantes de México, en él convergen los ríos Balsas y Tepalcatepec. Por su ubicación presenta clima estepario muy seco y cálido (García, 1988), con prolongación de la época de estiaje de febrero a junio.

Este embalse cuenta con una capacidad de 12 mil millones de m³ (INEGI, 2006). Su construcción se realizó entre 1960 y 1964 con la finalidad de controlar avenidas y generar energía eléctrica (Castro, 1988). Posteriormente se introdujeron especies como tilapia *Oreochromis aureus*, carpa común *Cyprinus carpio*, carpa herbívora *Ctenopharyngodon idellus* y carpa plateada *Hypophthalmichthys molitrix* y se implementaron las actividades pesqueras (Orbe *et al.* 1999).

Las características fisicoquímicas actuales del embalse son muy próximas a lo descrito por Bernal (1984), Castro (1988) y Meléndez-Galicia *et al.* (2013), los cuales consideran que este reservorio es cálido, con estratificación en verano, con una concentración de oxígeno disuelto cercana a seis mg/L, aunque destaca una gradación conforme aumenta la profundidad, en la época de lluvias. La conductividad eléctrica registra valores de 560 μ S/cm, concentración que se incrementa en el hipolimnion, por otro lado el pH mantiene valores neutros a ligeramente alcalinos, mientras que los meses de junio a noviembre presentan mayor biomasa fitoplanctónica.

Es necesario analizar variables físicas, químicas y biológicas, que permitan delimitar la calidad del agua almacenada en el embalse así como los usos a los cuales se le

puede destinar, siguiendo los límites establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas, los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua, con base en el Índice de Calidad de Agua (ICA) Con la finalidad de explicar cómo las fluctuación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos modifican la calidad del agua en la época de seca y de lluvia.

Por tal motivo el presente estudio pretende aportar información temporal de las variables fisicoquímicas y biológicas, para la determinación de la calidad de agua y el uso potencial del agua, en la Presa Lic. Adolfo López Mateos “El Infiernillo”, Michoacán, México. Se describe la variación de los parámetros en dos periodos: el primero comprende los meses de diciembre (2012) a febrero (2013) considerado la época de estiaje y el segundo integra los meses de septiembre a diciembre (2013) señalado como época de lluvias.

7.4 ÁREA DE ESTUDIO

El embalse por sus características fisicoquímicas y biológicas, actualmente es utilizado principalmente para producción de energía hidroeléctrica, actividades recreativas, uso agrícola, pesca y navegación (Castro, 1988 y Bernal, 1984). La presa de Infiernillo se caracteriza por ser uno de los principales embalses productores de tilapia (*Oreochromis aureus*) en México, en 1987 alcanzó una producción máxima de 18, 953 ton (Jiménez y Nepita 2000).

Su precipitación alcanza un promedio anual de 1000 a 1500 mm (SAGARPA, s.f.), con el máximo en los meses de agosto y septiembre. En el periodo de muestreo considerado la época lluvias, se registraron precipitaciones extremas en el mes de septiembre (2013) las cuales permitieron obtener el 50% de capacidad del embalse en 72 horas, debido a la presencia de los ciclones Ingrid y Manuel, catalogado como el mes más lluvioso y húmedo desde 1941 (CONAGUA, 2013), estas elevadas precipitaciones propiciaron un máximo histórico al alcanzar la cota de 170.88 metros sobre el nivel del mar.

7.5 MATERIALES Y METODOS

Se efectuaron muestreos en seis estaciones en el vaso sur del embalse El Infiernillo (E1 a E6) en la dirección centro – salida, en una distancia de 19 km, de la localidad Pinzandarán hasta la cortina del cuerpo de agua (Fig. 1). La estación E1 está localizada a 200 metros de la localidad de Pinzandarán, las E2 y E3 son las estaciones más lejanas a la influencia de núcleos urbanos, mientras que las E4, E5 y E6 son las más cercanas a la compuerta de la presa.

Las estaciones se visitaron de diciembre del 2012 a febrero del 2013 y de septiembre a diciembre del 2013, se abarcaron las épocas de estiaje y lluvia respectivamente.

En cada estación, entre otras variables, se registró la temperatura de aire, velocidad del viento y humedad relativa (con un multifuncional ambiental, EXTECH EN300), la temperatura del agua, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, nitratos, amonio, amoniaco, pH y sólidos disueltos totales (con dos multiparamétricos, Yellow Springs Instrument (YSI) modelo 6820V2 y Yellow Springs Instrument (YSI) profesional plus). Se colectaron muestras de agua en tres niveles (superficie, base de la media trofogénica y fondo) mediante botella Van Dorn, en cada estación, para el posterior análisis en el laboratorio de Análisis de Aguas del Laboratorio de Investigación en Biología Acuática “J. Javier Alvarado Díaz” de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Se determinaron sólidos totales y suspendidos, nitritos, fosforo reactivo y total, cloruros, sulfatos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), alcalinidad a la fenoftaleina y al anaranjado de metilo, dureza total, cálcica y de magnesio, tomando como referencia los métodos descritos por APHA-AWWA-

WPCF (1992), además de clorofila *a*, *b* y *c* determinadas por extracción de acetona (Lind, 1985).

Para el análisis bacteriológico se obtuvieron submuestras en bolsas estériles, las cuales contenían agua de superficie y la base de la zona trofogenica, ello permitió determinar el número más probable de organismos coliformes totales y fecales por el protocolo de la NMXAA-042 2011.

Para definir el uso potencial del agua, se utilizaron los límites permisibles para las variables físicas, químicas y biológicas, indicadas por la Normas Oficiales Mexicanas; NOM-127 SSA1-1994 y los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua. Mientras que para la determinación de la calidad del agua se utilizó el Índice de Calidad del Agua (ICA). Este índice integra variables fisicoquímicas y biológicas que deterioran la calidad del agua dentro de los ecosistemas acuáticos (León, 1991).

En el presente estudio se consideraron catorce variables de las 26 analizadas para la estimación del ICA, las cuales fueron: Oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), potencial hidrogeno (pH), conductividad eléctrica (CE), sólidos suspendidos (SS), sólidos disueltos totales (TDS), dureza total (DT), alcalinidad total (ALC), cloruros (Cl^-), nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+), fósforo total (PT), coliformes fecales y totales.

La información se trató con estadística descriptiva, análisis de varianza y prueba de hipótesis. Para identificar las características fisicoquímicas y biológicas que representan las épocas de estiaje y lluvia, se efectuó un análisis de componentes principales (ACP) con el programa JMP 6 Statistical Discovery. TM From SAS.

7.6 RESULTADOS Y DISCUSION

7.6.1 Indicadores fisicoquímicos y biológicos.

El embalse de infiernillo se clasifica como un cuerpo de agua cálido (Meléndez-Galicia *et al.* 2013), con temperatura máxima (31 °C) en el meses de septiembre (2013), mientras que el mínimo (25.8 °C) se registró en el mes de febrero (2013), encontrándose una atenuación térmica en los primeros cinco metros del epilimnion. Este intervalo térmico han sido reportador por Meléndez-Galicia *et al.* (2013), quien coincide en mencionar que el mínimo es de 25 °C y el máximo (>30°C) es registrado en la superficie.

La presa de infiernillo presenta altas concentraciones de oxígeno disuelto con valores cercanos a los 5.3 mg/L, lo cual indica que el embalse desde 1984 se ha caracterizado por desarrollar una columna bien oxigenada con referencia a lo reportado por Bernal (1984), Castro (1988) y Meléndez-Galicia *et al.* (2013).

Los mínimos relativos de oxígeno disuelto (OD) son registrados en el mes de septiembre con valores de 0.14 mg/L en el hipolimnion, mientras que los meses subsecuentes (octubre a diciembre 2013) registraron valores bajos cercanos a 2 mg/L, esto se atribuye al aporte de material orgánico e inorgánico, que por procesos de sedimentación se acumula en el fondo, donde la comunidad bacteriana lo oxida y genera condiciones hipóxicas (Margalef, 1983).

La transparencia al disco de Secchi alcanza 3 m de profundidad y el máximo se registró cerca de la compuerta (3.7 m). Éste parámetro aumenta progresivamente

hacia la parte sur de la presa, asociado a un proceso de deposición, coincidente con lo reportado por Bernal, (1984).

Las aguas del embalse son neutras a ligeramente alcalinas, con valores medios de pH más altos en el invierno y en el epilimnion, esto se atribuye a que ésta capa presenta una mayor reserva de bicarbonatos que permite un amortiguamiento del sistema buffer (Margalef, 1983).

La presa de Infiernillo es considerada con alcalinidad total (AL) media (Kevern, 1989), los valores mínimos se registraron en el mes de octubre, después del fenómeno atípico de lluvias, esto generó una dilución de los compuestos carbonatados.

De las formas del nitrógeno, los nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) son las más abundantes, en concentraciones promedio de 1.15 mg/L y 1.67 mg/L respectivamente, los valores máximos se registraron en los meses de febrero y octubre (8.06 mg/L y 3.88 mg/l respectivamente), asociado a las abundantes concentraciones de oxígeno disuelto que registra la presa, lo cual propicia la presencia de estados oxidados de nitrógeno (Wetzel, 2001).

Mientras que el amonio (NH_4^+) presentó valores de 0.414 mg/L, (Fig. 1), con el máximo en los meses de diciembre (2012) y febrero (2013), atribuido a procesos de descomposición de material orgánico por efecto de la proliferación bacteriana por vía reductiva (Roldan y Ramírez 2008).

La concentración de los grupos nitrogenados son coincidentes con lo reportado para otras presas; el embalse Añarbe ubicado en Navarra, España se han registrado valores promedio 1.5 a 3.5 mg/L de nitratos (Fraile, 2008).

Las concentraciones medias de fósforo total y reactivo (PO_4^{4-}) en el embalse corresponden a 0.092 mg/L y 0.066 mg/L respectivamente, con un máximo de fósforo total en la época de estiaje la cual corresponde a la estación climática fría (Fig. 1), que desencadena procesos de convección los cuales permiten la resuspensión de partículas coloidales y de este nutriente (Roldán y Ramírez, 2008), así como a procesos de mineralización de la materia orgánica que generan la liberación brusca de nutrientes (Fraile *et al.* 1995).

Mientras que el incremento en la concentración de fósforo reactivo se registró en la época de lluvia, atribuido a las características topográficas de la presa las cuales permiten una mayor erosión y traslado de nutrientes (Wetzel, 1981); sus principales componentes edafológicos son suelos Feozem y Regosol los cuales presentan una concentración promedio de 0.1 y 1.25 mg/100g PO_4^{4-} (Vivanco *et al.* 2010).

Aunado a ello, el aumento se debió a los ligeros aportes de agua de escorrentía los cuales contienen fósforo procedente de aguas residuales (Wetzel, 1981).

Estos valores son coincidentes con lo reportado para otras presas del mundo, como es el caso de las presa Batman, Kralkizi y Dicle ubicadas en el río Tigris en Turquía la cual reporta valores promedios de PT de 0.076 mg/L, máximos y mínimos de 0.157 mg/L y 0.013 mg/L respectivamente (Varol *et al.* 2012).

Las concentraciones de clorofila *a*, *b* y *c*, obtuvieron valores máximos en los meses de octubre y diciembre 2013, asociado al enriquecimiento de nutrientes provenientes del evento atípico de lluvia, que favoreció el incremento de organismos autótrofos (Margalef, 1983).

7.6.2 Comportamiento fisicoquímico y biológico en época de estiaje y lluvia.

La presa presentó un comportamiento claramente distinto entre las épocas de estiaje y lluvia. El análisis de componentes principales indicó que los parámetros que explicaron mayoritariamente esta variación son: fósforo total (PT), amonio (NH_4^+), conductividad eléctrica (CE), dureza total (DT), dureza cálcica (DC), sólidos disueltos totales (TDS), temperatura (TEM), nitratos (NO_3^-), clorofila *a* (Cl *a*) y alcalinidad total (AL), ya que se registraron valores significativamente mayores entre una época y otra.

En su conjunto la variación proporcionada por los primeros tres componentes explica el 75.5% de la variación de las muestras, el primer componente tiene un porcentaje de 41.3% de explicación, representado por DT, TDS, CE, DC de manera positiva, el segundo eje adiciona el 21.6%, conformado por Cl *a*, TEM de forma positiva y de manera negativa el NH_4^+ , mientras que el tercer componente aporta un 12.6% de la variación, integrado por la AL y los NO_3^- (Tabla 2).

Las variables que explican la modificación de la calidad de agua en la época de estiaje son: PT, NH_4^+ y DT los cuales presentaron valores elevados en la época de estiaje en contraste a la estación climática de lluvia (Fig. 2).

Las concentraciones de PT y DT se asocian a procesos de mezcla invernal de la columna del agua generada por eventos de convección (Lewis, 2000); se encontró una correlación inversamente proporcional entre la temperatura del agua y la concentración de PT ($r = -0.5092$, $P < 0.0001$).

Por otro lado el NH_4^+ presentó valores máximos en la época de estiaje debido a los procesos de descomposición de la materia orgánica conducidos por la proliferación de la comunidad bacteriana (Roldán y Ramírez, 2008).

El aumento en la concentración de DT y NH_4^+ en la época de estiaje se ha registrado para otras presas, como lo reportan Varol *et al.* (2012) para los embalses Kralkızı, Dicle y Batman en Turquía.

En la época de lluvia los parámetros que explican la variación son la TEM, NO_3^- y Cl a (Fig. 2), asociadas a los procesos de nitrificación del material particulado proveniente del evento atípico de lluvia, esto es evidencia de la formación de compuestos nitrogenados (Roldán y Ramírez 2008). El NH_4^+ tienen correlación inversamente proporcional ($r = -0.6152$ $P < 0.001$) con los nitratos, ya que estos son oxidados por bacterias que generan compuestos como NO_2^- y NO_3^- .

La concentración de Cl a se atribuye a máximos térmicos registrados en este periodo y al aporte de nutrimentos por agua de escorrentía, el enriquecimiento de la columna del agua permite un incremento en la tasa fotosintética (Wetzel, 2001). La temperatura y la Cl a presentaron una correlación positiva con (0.5776 $P < 0.0001$).

En general el aumento de la Cl a y NO_3^- , se puede asociar a la fijación de nitrógeno por parte de la comunidad fitoplanctónica (Wetzel, 1981), ya que en este periodo de lluvia se registró abundante presencia de cianobacterias (Soto-Prieto, inédito) las cuales presentan células con heterocisto, que son estructuras encargadas de la fijación del nitrógeno.

Estos procesos han sido registrados para otros cuerpos de agua como el lago Windermere en el año 1965 en que el nitrógeno fijado por el plancton llegó a un 72 %, en formas disponibles de NO_3^- (Wetzel, 1981).

Sin embargo en la figura 2, se observa a un conjunto de datos que se desplaza del grupo central, a una dirección con valores mayores de TDS, C.E, D.CA, esto se debe al efecto generado por el fenómeno atípico de lluvia que aportó gran cantidad de partículas coloidales a través de escorrentías registradas en septiembre del 2013, este evento propició que dichas variables se incrementen y posteriormente disminuyan por procesos de sedimentación.

Este comportamiento se ha registrado para otras presas del mundo como los embalses Kralkızı, Dicle y Batman en Turquía y Ciemiega en Polonia, los cuales registran que en la época de lluvias la conductividad eléctrica y iones disueltos aumentan debido a la entrada de insumos y escorrentías, que aportan material orgánico e inorgánico (Varol *et al.* 2012 y Zubala, 2009).

En general la presa de Infiernillo exhibió diferencias significativas entre las dos épocas, dado que los valores de cloruros, DBO_5 , DT, PT, transparencia, CE, potencial oxidación-reducción, TDS, salinidad y NH_4^+ , fueron significativamente mayores en el estiaje, mientras que la Cl *a*, *c* y *b*, coliformes totales y fecales, AL, PO_4^{4-} , NO_2^- , NO_3^- , SS, pH y temperatura del agua, fueron significativamente mayores en la época de lluvias (Tabla 1).

En el embalse ubicado en el río Ciemiega de Polonia, se ha registrado que la DBO_5 fue menor en 13 % en la época de lluvia, mientras que los NO_2^- tuvieron concentraciones mayores en esta época (Zubala, 2009).

Los coliformes fecales registraron valores significativamente mayores en la época de lluvia ($P=0.0031$, $F=9.3495$), esto se atribuye a la entrada de agua al embalse, presencia de ictiofauna, desechos generados por la actividad pesquera y el aporte de material detrítico que junto con la resuspensión de partículas coloidales favorecen el desarrollo bacteriano (Novoa *et al.* 2011).

7.6.3 Índice de Calidad de Agua.

Con base al ICA, la presa de Infiernillo presenta en general una calidad de agua aceptable, aunque en los meses de enero, septiembre y diciembre (2013) se registró una disminución del índice (poco contaminado) en los meses de enero y septiembre (Fig.3).

En los meses de enero y diciembre 2013 se observa un decrecimiento en el ICA asociado a procesos de convección, dado que en el mes de diciembre 2013 se exhibe una disminución en la temperatura del aire de $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ en contraste al mes anterior. La presencia de temperaturas bajas genera el enfriamiento de la capa superficial de la masa de agua por cambio de calor con la atmosfera, esto aumenta la densidad del agua y propicia corrientes de convección, generando la resuspensión de partículas coloidales y un aumento en la conductividad eléctrica (Margalef, 1983).

La presencia de la comunidad bacteriana (coliformes fecales y totales), aumentó en el mes de diciembre (2013) ($P=0.0002$, $F=4.7$ y $P=0.0001$, $F=13.89$), característicos del tracto intestinal del hombre y de otros vertebrados (Campos, 2001).

Cabe resaltar que en el mes de octubre el ICA aumenta notoriamente, relacionado con el máximo llenado de la cubeta de recepción, este proceso permite la dilución

de contaminantes (Molina, 2011), en contraste se observa una disminución del índice en la época de estiaje ya que la profundidad del embalse decrece y provoca una concentración de sales y partículas, este mismo comportamiento fue registrado por Molina (2011) para dos subcuencas pertenecientes a la región hidrológica Lerma-Santiago y Balsas.

7.6.4 Uso potencial del agua en la presa de Infiernillo.

La calidad del agua se asignó conforme al uso potencial que se le puede dar a la misma; debido a que las características fisicoquímicas y biológicas son determinadas por la geología, la variabilidad espacio temporal y los impactos antropogénicos (Torres, 2009).

Con base en los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua, el embalse es apto para el desarrollo de actividades acuícolas, como el cultivo de tilapia, bagre y carpa, además de ser apto para el uso recreativo con contacto primario y el uso agrícola. Mientras que su uso queda restringido para poder ser utilizado como abastecimiento de agua potable y el uso y consumo humano, con base en los límites propuestos por NOM 127 SSA1 1994, así mismo queda prohibido el uso pecuario y la protección de la vida acuática, ya que sobrepasa los límites permisibles de nitritos, fósforo, sulfatos, coliformes totales y fecales.

7.7 CONCLUSIONES

La presa de infiernillo es considerada un embalse cálido, con aguas neutras a ligeramente alcalinas, bien oxigenadas con formas nitrogenadas abundantes.

Las épocas de estiaje y lluvia se diferencian por las concentraciones de ciertas variables fisicoquímicas y biológicas, encontrándose que los NO_3^- , CL a , y TEM, son parámetros que mayormente explican el comportamiento fisicoquímico en la época de lluvia, mientras que en la época de seca la DT, NH_4^+ , y los PT, son los que determinan la variación de la calidad del agua.

El ICA señala que la presa en general tiene una calidad de agua aceptable a poco contaminada con una tendencia a decrecer en la época de estiaje.

Con base en los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua y la NOM 127 SSA1 1994 se determinó que solo es apta para el desarrollo de actividades acuícolas, uso recreativo con contacto primario y el uso agrícola, mientras que no es apta para el consumo humano debido a que sobrepasa las concentraciones de nitritos, fosforo, sulfatos, coliformes totales y fecales.

7.8 LITERATURA CITADA

- APHA – AWWA - WPCF. 1992. Methods for the Examination of Water. 19TH edition. American Public Health Association (APHA), American Methods Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF) USA.
- Bernal, W, F. 1984. Análisis de los factores relacionado con la producción pesquera de Tilapia nilotica en la presa Adolfo López Mateos (Infiernillo), Mich-Grp. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp 68.
- Campos, P, C. 2001. Indicadores de contaminación fecal en aguas. In: Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua RIPDA-CYTED. A. Fernández-Cirelli. Buenos Aires, Argentina. 224–229.
- Castro, Q, C, A. 1988. Búsqueda de *Campylobacter sp.*, *Yersina enterocolítica* y *Vibrio parahaemolyticus* en Tilapia sp. En la presa “Adolfo López Mateos” (Infiernillo, Mich.-Gro.), Desde su hábitat, proceso y después de su industrialización.
- CE-CCA. 2013. Reporte del Clima en México. Análisis de precipitación (Informe Técnico). Comisión Nacional del Agua. 7 pp.
- Fraile, H., E. Orive y J. Pozo. 1995. evaluación del estado trófico y comparación de modelos relativos al fósforo en los embalses de Cernadilla y Valparaíso (Río Tera, Zamora). Limnetica, II (2): 29-37
- Fraile, H., J. M. Leonardo, B. G. Bikuña, I. Larumbe. 2008. Seguimiento de la calidad de un embalse de abastecimiento de agua potable según las directrices de la Directiva Marco (embalse del Añarbe. Cuenca Norte). Limnetica, (27) (2): 211-226.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. 4^a. Ed. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 243 pp.
- Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática. 2006. Anuario Estadístico del Estado de Michoacán.
- Jiménez-Badillo M. y M. R. Nepita-Villanueva. 2000. Espectro trófico de la tilapia *Oreochromis aureus* (Perciformes: Cichlidae) en la presa Infiernillo, Michoacán-Guerrero, México. Biología Tropical. Vol. 48. No. 2-3.
- León, L.F. 1991. "Índice de Calidad del Agua, ICA", Inf. # SH-9101/01, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México. 36 pp.

Lewis, E. M. 2000. Basis for the protection and management of tropical lakes. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* 5:35 - 48.

Lind, T., 1985, *Handbook of common methods in Limnology*, Kendall/Hunt Publ. Co, Dubuque.

Margalef, R. 1983. *Limnología*. Omega, S. A. Barcelona. 1010 pp.

Meléndez-Galicia C., Arellano-Torres A., Arredondo-Varga E., Osuna-Paredes C. y Hernández-Montaña D. 2013. Presa Adolfo López Mateos “El Infiernillo”, Michoacán y Guerrero. En: *Pesquerías Continentales de México*. Gaspar-Dillanes M. y Hernández-Montaña D. (ed.): 67-91 Instituto Nacional de Pesca. 67–91.

MODIFICACIÓN A LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Dirección General de Normas Mexicanas.

Molina, I. 2011. Evaluación de la Calidad del Agua de la red hidráulica superficial del aparte sur-sureste del municipio de Morelia, Michoacán: hacia un modelo de gestión. Tesis de Maestría. Facultad de Biología. Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo. 147 pp.

NMX AA 042 SCFI. 2011. Análisis de agua-detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva-método del número más probable en tubos múltiples.

Novoa, M., A.L.M de Fabricius, M.E. Luque y D.M. Lombardo. 2011. Distribución temporal del fitoplancton en un lago urbano del centro de Argentina (Río cuarto, Córdoba). *Biológicas*. Vol. 13(2): 1-14.

Orbe, M. A., A.C. Romero A. y J. Acevedo G. 1999. Producción y rendimiento pesquero en la Presa Adolfo López Mateos (El infiernillo), Michoacán-Guerrero, México. *Hidrobiológica* 9 (1): 1-8.

Roldan, P, G. y Ramírez, R, J, J. 2008. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Universidad de Antioquia. (Ed). 440 pp.

SAGARPA. s.f. Datos Fisiográficos del estado de Michoacán. 22 pp.

Soto-Prieto, B. E. (2005). Fitoplancton de la presa Adolfo López Mateos “El Infiernillo”, Michoacán, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 152 pp.

- Torres, F. J. 2009. Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico. Tesis de Maestría. Ingeniería civil. Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez. 219 pp.
- Varol, M., B. Gokot., A. Bekleyen y B. Sen. 2012. Patial and temporal variations in surface water quality of the dam reservoirs in the Tigris River basin, Turkey. *Catena*. (92) 11-21.
- Vivanco, J. C., J. Bojorquez., R. Murray., O. Najera., F. Flores y A. Hernández. 2010. Características de los principales suelos de la cuenca del río Mololoa, Tepic, Nayarit, México. *Cultivos Tropicales*. 31 pp.
- Wetzel, R. G. 1981. *Limnología*. Editorial Omega. Barcelona. 679 pp.
- Wetzel, R. G. 2001. *Limnology Lake and River Ecosystems*. Academic Press. San Diego California. 1006 pp.
- Zubala, T. 2009. Influence of dam reservoir on the wáter quality in a small upland river. *Ecology Hydrobiology*. Vol. 9. 165-173.

7.9 TABLAS Y PIES DE FIGURAS

Tabla 1. Valores medios de variables fisicoquímicas, clorofila a, b, c y concentración de coliformes, representadas en dos épocas estiaje (Diciembre 2012 a Febrero 2013) y lluvia (Septiembre a Diciembre 2013). Entre paréntesis se señala la desviación estándar (DS), el mínimo y máximo (min-max) de cada variable. *Average values of the main physicochemical variables, chlorophyll a, b, c and concentration of coliforms for each season drought (December 2012 to February 2013) and rainfall (September to December 2013). In brackets the standard deviation (SD) indicates the minimum and maximum (min-max) of each variable.*

Periodo	Secas (2012 – 2013)	Lluvias (2013)
Transparencia (m)	2.8 (0.65) (1.4 - 3.7)	1.6 (0.68) (0.5 - 3.0)
Temp. Agua (°C)	26.92 (0.77) (25.64 - 28.30)	27.96 (1.23) (25.80 - 30.49)
OD (mg/L)	5.85 (1.45) (3.40 - 9.45)	4.89 (3.02) (0.14 - 13.20)
Conductividad (µS/cm)	488.65 (11.26) (448 - 520)	476 (150.70) (337.00 - 786)
Poten. Redox	44.42 (21.04) (83.10 - 85.60)	-2.63 (47.84) (-180.70 - -85.60)
Salinidad	0.22 (0.006) (0.21 - 0.24)	0.21 (0.066) (0.16 - 0.35)
Ph	7.95 (0.21) (7.62 - 8.61)	8.06 (0.28) (7.47 - 8.72)
Solidos suspendidos (mg/L)	5.93 (13.22) (0.20 - 66.57)	8.35 (10.05) (0.80 - 58.29)
Solidos disueltos totales (mg/L)	307.22 (8.48) (293 - 328)	292.36 (88.14) (216 - 466)
Sulfatos (mg/L)	107.24 (22.69) (81.57 - 167.70)	90.86 (39.20) (42.86 - 162.48)
Cloruros (mg/L)	20.38 (3.46) (15 - 27.99)	17.43 (2.40) (9 - 28.49)
Alcalinidad total (mg/L)	107.69 (26.27) (54 - 160)	128.62 (14.87) (102.50 - 171.67)
Dureza total (mg/L)	207.82 (16.35) (178.67 - 258.33)	172.36 (39.93) (132.50 - 247.50)
Dureza de magnesio (mg/L)	66.75 (14.35) (43.33 - 108.33)	39.02 (12.35) (21.25 - 107.50)
Dureza de calcio (mg/L)	141.08 (10.56) (110 - 161.67)	133.28 (39.13) (101.25 - 222.50)
Fosforo total (mg/L)	0.13 (0.07) (0.07 - 0.36)	0.09 (0.02) (0.01 - 0.16)
Fosforo reactivo (mg/L)	0.05 (0.02) (0.02 - 0.09)	0.08 (0.05) (0.02 - 0.31)
Nitratos (mg/L)	1.23 (1.23) (0.21 - 7.97)	2.00 (0.91) (0.72 - 4.70)
Nitritos (mg/L)	0.86 (1.40) (0 - 8.06)	1.18 (1.03) (0.08 - 4.34)
Amonio (mg/L)	0.66 (0.48) (0.19 - 2.27)	0.24 (0.12) (0.06 - 0.55)

DBO ₅ (mg/L)	5.58 (3.44) (0.55 – 13.14)	1.99 (1.14) (0.67 – 6.39)
Clorofila a (µg/L)	5.69 (5.83) (1.41 – 29.59)	16.16 (13.44) (0.96 – 59.38)
Clorofila b (µg/L)	1.19 (1.07) (0 – 4.36)	2.41 (2.72) (0 -11.74)
Clorofila c (µg/L)	3.32 (2.77) (0 – 14.42)	6.31 (3.99) (0 – 31.21)
Colofimes totales (NMP org/100 mL)	230.35 (760.07) (0 – 4107.91)	596.68 (1127.55) (0 – 4472.13)
Coliformes fecales (NMP org/100 mL)	15.64 (41.34) (0 – 175.04)	694.43 (1291.79) (0 – 4472.14)

Entre paréntesis se señala la desviación estándar (DS), el mínimo y máximo (min-max) de cada variable.

Tabla 2. Análisis de ordenamiento ACP, ALC (Alcalinidad), CL.A (Clorofila a), DT. (Dureza total), PT (Fosforo total), NO³⁻ (Nitratos), NH⁴⁺ (Amonio), TDS (Solidos disueltos totales), C.E (Conductividad eléctrica), D.CA (Dureza de calcio), TEMP (Temperatura). *Ordination analysis PCA, ALC (Alkalinity), CL.A (Chlorophyll a), DT. (Total hardness), PT (Total phosphorus), NO₃⁻ (Nitrates), NH₄⁺ (Ammonium), TDS (Total dissolved solids), C.E (Electrical conductivity), D.CA (Calcium hardness), TEMP (Temperature).*

	Primer Componente	Segundo componente	Tercer componente
Eigenvalue	4.1362	2.1593	1.2574
Percent	41.3618	21.593	12.5737
Cum Percent	41.3618	62.9548	75.5285
Eigenvectors			
ALC	0.17863	0.23117	0.58866
CL. A	-0.12364	0.40476	-0.04933
D T.	0.453	-0.12204	0.01339
PT	0.12903	-0.3702	0.38575
NO ₃ ⁻	-0.08842	0.32827	0.61247
NH ₄ ⁺	0.17525	-0.40961	-0.08091
TDS	0.48063	0.0939	-0.03884
C.E	0.47249	0.15097	-0.07334
D.CA	0.47761	0.08312	-0.02458
TEMP	0.1003	0.56279	-0.33602

Figura 1. Valores temporales de nutrientes (mg/L) presentes durante el periodo de muestreo en la presa El Infiernillo, Michoacán, México. *Temporary nutrient values (mg / L) present during the sampling period in the dam El Infiernillo, Michoacán, México.*

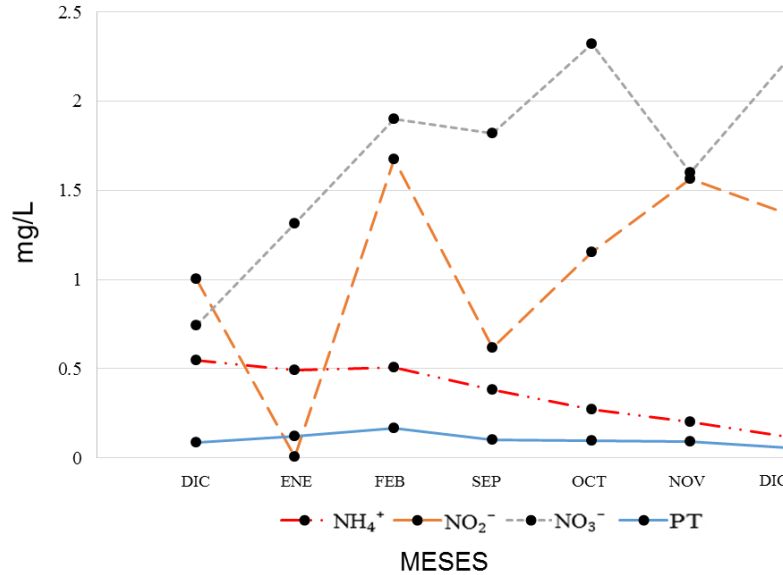


Figura 2. Resultados del análisis de componentes principales (ACP) basado en las variables fisicoquímicas y biológicas dividido en dos épocas lluvia y estiaje, representadas con puntos y cruces respectivamente, en la presa El Infiernillo, Michoacán, México. *Results of principal component analysis (PCA) based on the physicochemical and biological variables divided into two rainfall seasons and drought, represented with dots and crosses respectively in the dam El Infiernillo, Michoacán, México.*

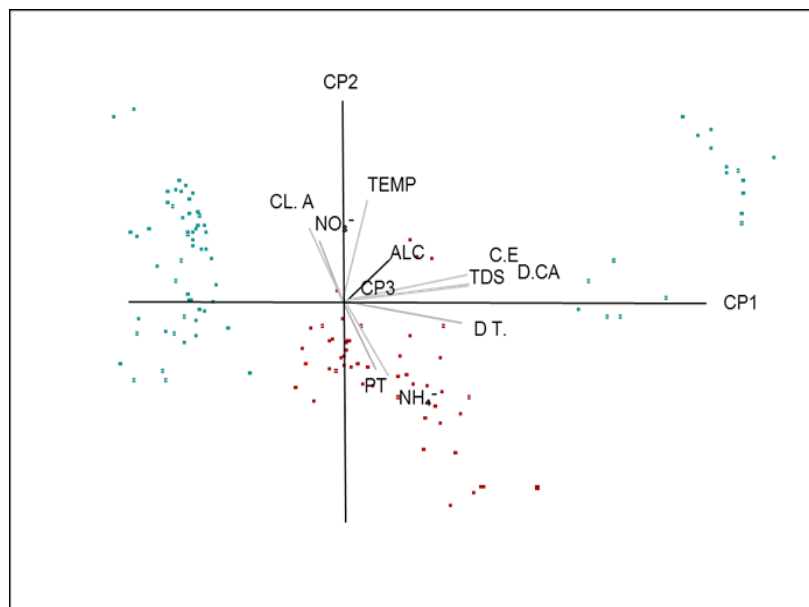
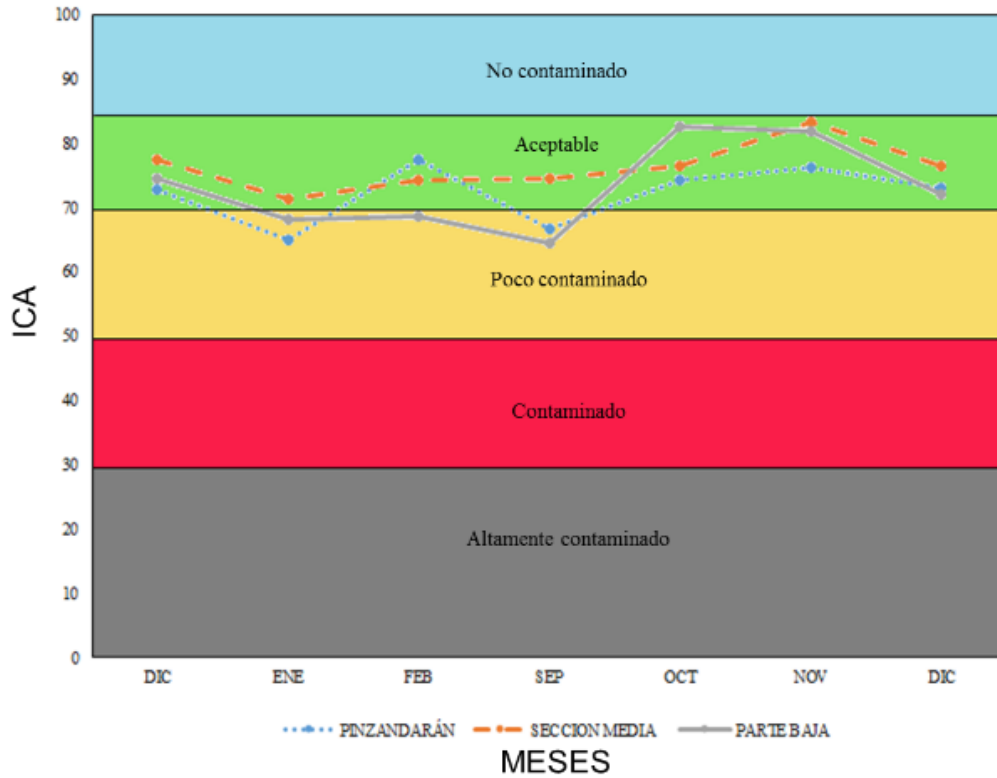


Figura 3. Variación estacional (Diciembre 2012 a Diciembre 2013) y espacial del ICA en parte del vaso sur en la presa El Infiernillo, Michoacán, México. *Seasons variation (December 2012 to December 2013) and spatial ICA in the southern part glass in El Infiernillo, Michoacán, Mexico.*



8. CAPÍTULO 2: INDICE DE CALIDAD DE AGUA Y CAPACIDAD DE CARGA PARA EL CULTIVO DE TILAPIA “*Oreochromis niloticus*” EN LA PRESA EL INFIERNILLO, MICHOACÁN MÉXICO

8.1 RESUMEN

México en materia acuícola, se encuentra en el decimoséptimo lugar de producción mundial, actividad encabezada por la producción de tilapia considerada como la segunda especie cultivada en el mundo, debido a su alto contenido nutrimental, misma que se ha desarrollado exitosamente en embalses con alto potencial en producción como la presa “El Infiernillo”, la cual se encuentra ubicada entre los estados de Michoacán y Guerrero. La presente contribución determina parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para determinar la calidad del agua del embalse por medio del índice Canadiense (CCME WQI), conforme a los requerimientos de la tilapia y la capacidad de producción, de acuerdo al modelo de Beveridge, durante un ciclo anual. Se determina que la calidad de agua es *buena* durante la temporada de estiaje y lluvias, sin embargo esta no se considera *excelente* debido a que las concentraciones de sólidos disueltos totales y nitratos son mayores en la época de lluvias. Es relevante mencionar que la concentración de fósforo total es inferior a los límites tolerantes para la tilapia, lo cual permite altos valores de producción anual de esta especie en el embalse.

Palabras Clave: Capacidad de carga, Cultivo de tilapia, Embalse.

8.2 ABSTRACT

Mexico in aquaculture, is in the seventeenth place of world production, activity led by the production of tilapia considered the second species cultivated in the world, due to its high nutritional content, it has been successfully developed in reservoirs with high potential production as the dam "El Infiernillo", which is located between the states of Michoacan and Guerrero. This contribution determined physicochemical and microbiological parameters to determine the water quality of the reservoir through the Canadian Index (CCME WQI), pursuant to the requirements of tilapia and production capacity, according to the Beveridge model, during an annual cycle. It is determined that the water quality is good during the dry season and rainy, but this is not considered good because the concentrations of total dissolved solids and nitrates are higher in the rainy season. It is worth mentioning that the concentration of total phosphorus is less tolerant limits for tilapia, allowing high values d annual production of this species in the reservoir.

Keywords: Loandig capacity, Tilapia farming, Reservoir.

8.3 INTRODUCCIÓN

El aumento acelerado de la población humana en el mundo ha generado un incremento en la demanda de alimento con alta calidad nutricia; la piscicultura es una alternativa para solucionar dicha problemática (UNFPA, 2011). Actualmente el cultivo de tilapia es uno de los más importantes a nivel mundial pues es el segundo grupo más cultivado, anterior al cultivo de carpa (FAO, 2014).

A nivel mundial la producción de tilapia fue de 4, 207,900 toneladas en el 2012 (Fitzsimmons, 2013), encabezada por China, mientras que México en este mismo año generó una producción de 74, 125 toneladas peso vivo (Flores, 2013).

El estado de Michoacán en el 2012 aportó 12, 244 toneladas (Flores, 2013), sin embargo en la presa Adolfo López Mateos “El Infiernillo” ha alcanzado una producción máxima de 18, 953 toneladas en 1987 (Jiménez y Nepita 2000).

El embalse “El Infiernillo” es el segundo más grande del país, con una capacidad de 12, 500 millones de m³, construido con el objetivo de generar energía eléctrica y el control de avenidas (CONAGUA, 2012). Posteriormente se implementaron actividades de pesca artesanal de tilapia *Oreochromis aureus*, carpa común *Cyprinus carpio*, carpa herbívora *Ctenopharyngodon idellus* y carpa plateada *Hypophthalmichthys molitrix* (Orbe et al. 1999).

La presa “El Infiernillo” presenta un alto potencial para el cultivo de tilapia, pero no se tienen estudios relacionados sobre la capacidad de carga del sistema y la calidad del agua en función a los requerimientos necesarios por parte de la especie.

Cortes y Arredondo (1976), Orbe *et al.* (1999), Jiménez y Nepita (2000), Bernal (1984) y Castro, (1988) han realizados estudios sobre los recursos pesqueros que presenta la presa así como evaluaciones fisicoquímicas y biológicas en el embalse.

El presente estudio aporta información sobre la calidad de agua de la presa Adolfo López Mateos “El Infiernillo”, Michoacán, México, en función de los requerimientos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*), por medio del índice de calidad de agua Canadiense (CCME WQI, 2001), y evalúa la capacidad de carga con base en el modelo propuesto por Beveridge (2004), con el objetivo de indicar el potencial acuícola de tilapia de dicho cuerpo de agua, para la consolidación de un mercado regional e internacional sostenible.

8.4 ÁREA DE ESTUDIO

La presa El Infiernillo se encuentra ubicada en la región hidrológica RH18 entre los estados de Michoacán y Guerrero, a una altura de 194 msnm, sus coordenadas son 18° 52' 00" a 18° 15' 00" norte y 101° 54' 00" a 102° 55' 00" oeste, con una longitud máxima de 120 km (Meléndez-Galicia *et al.* 2013).

Su precipitación anual promedio es de 475.1 mm según el Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua periodo de 1951 a 2010 (Estación: 00016046, El vaso Infiernillo) con abundante precipitación en los meses de agosto y septiembre.

En el primer mes de muestreo (Septiembre 2013), se registró un valor atípico en precipitación, debido a la presencia de cuatro ciclones, estas lluvias dejaron una

lámina de agua de 300 a 600 mm en la presa de Infiernillo, evento extremo no registrado desde 1941 (CONAGUA, 2013), el cual permitió alcanzar un máximo histórico de la columna del agua 170.88 metros sobre el nivel del mar.

8.5 MATERIAL Y METODOS

La presa de Infiernillo se muestreo en siete estaciones (E1 a E7) a lo largo del vaso sur, desde la isla de Pinzandarán hasta la cortina del embalse, con una longitud máxima de 19 km.

La estación E1 está localizada a 200 metros de la localidad de Pinzandarán, las E2 y E3 se ubican fuera de la influencia de núcleos urbanos, mientras que las E4, E5, E6 y E7 están situadas entre 1.5 y 5.48 km de distancia a la cortina, zona en donde se desarrolla de manera intensiva el cultivo de tilapia en jaulas flotantes.

Las estaciones se visitaron durante un ciclo anual de Septiembre 2013 a Agosto del 2014. La E7 no se muestreo en los primeros cinco meses (Septiembre 2013 a Enero 2014), ya que se incorporó posteriormente a este periodo de muestreo, por su cercanía a la zona de producción acuícola.

En cada estación, se registró la temperatura de aire, velocidad del viento y humedad (con multifuncional ambiental, EXTECH EN300), así como la temperatura del agua, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, nitrógeno como nitratos, amonio, amoníaco, pH, salinidad y sólidos disueltos totales (con dos multiparamétricos, Yellow Springs Instrument (YSI) modelo 6820V2 y Yellow Springs Instrument (YSI) profesional plus).

Se colectaron muestras de agua en tres niveles (superficie, base de zona trofogénica y fondo) en cada estación con una botella tipo Van Dorn, para determinar sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos y sólidos totales, nitrógeno como nitritos, fósforo reactivo y total, sulfatos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), alcalinidad total, dureza total, cálcica y de magnesio en el laboratorio de

Análisis de Aguas del Laboratorio de Investigación en Biología Acuática “J. Javier Alvarado Díaz” de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, se consideraron los métodos descritos por APHA-AWWA-WPCF (1992). Se determinó la concentración de pigmentos fotosintéticos (clorofila *a*, *b* y *c*) por extracción de acetona (Lind, 1985), así como la concentración de coliformes totales y fecales con base en el protocolo de la NMX AA 042 SCFI 2011.

Se realizó una batimetría en el sitio de cultivo con transectos transversales del espejo de agua, las mediciones se realizaron en el mes de mayo 2014.

Se establecieron tres líneas distribuidas de este a oeste separadas a una distancia aproximada de 100 metros; sobre cada línea, a cada 100 metros se hicieron medidas de profundidad, en total se establecieron 27 puntos. En cada uno de estos puntos se midió la profundidad del embalse y la temperatura con una Ecosonda Garmin GP Smap 178 C.

8.5.1 Índice de calidad de agua

Para determinar la calidad del agua se empleó el índice Canadiense (CCME WQI), propuesto por Canadian Council of Ministers of the Environment (2001), este índice permite comparar los valores obtenidos con un punto de referencia deseado, en función al uso designado del agua (Al-Janabi, *et al.* 2012), en este caso referido a los criterios para el cultivo de tilapia.

El índice incorpora cuatro elementos: Alcance (1), Frecuencia (2), Amplitud (3) y Excursión (4), el primero denominado *Alcance* que es el número de variables que no cumplen con los estándares propuestos para la calidad de agua.

$$F1 = \left(\frac{\text{No de variables fallidas}}{\text{total de variables}} \right) * 100 \quad (1)$$

La *Frecuencia* es el número de veces que todas las pruebas no cumplen con los límites.

$$F2 = \left(\frac{\text{No de pruebas fallidas}}{\text{total de pruebas}} \right) * 100 \quad (2)$$

Excursión que es el número de veces que la prueba es mayor o menor que el punto de referencia.

Cuando el valor debe ser mayor al límite permisible:

$$\text{Excursión} = \left(\frac{\text{valor límite o especificado}}{\text{valor de la prueba fallida}} \right) - 1 \quad (3)$$

Cuando el valor no debe de ser mayor al límite permisible

$$\text{Excursión} = \left(\frac{\text{valor de la prueba fallida}}{\text{valor límite o especificado}} \right) - 1 \quad (4)$$

Se realiza la sumatoria de las excursiones que están fuera de los límites permisibles y se divide entre el total de todas las pruebas.

$$NSE = \left(\frac{\sum \text{Excursiones}}{\text{total de pruebas}} \right) \quad (5)$$

Amplitud es la cantidad de veces que una prueba no cumple con los rangos permisibles, se calculó como una función asintótica, con un rango entre 0 y 100.

$$F3 = \left(\frac{NSE}{0.01NSE+0.01} \right) \quad (6)$$

El índice de calidad de agua canadiense es calculado:

$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2+F2^2+F3^2}}{1.732} \right) \quad (7)$$

El divisor 1.732 permite normalizar los valores en un rango entre 0 a 100 lo cual representa la peor y mejor calidad del agua, indicado 5 categorías:

Tabla 3. Categorización del Índice Canadiense

<i>Rango</i>	<i>CCMEWQI</i>
100 a 95	Excelente
94 a 80	Bueno
65 a 79	Razonable
64 a 45	Marginal
44 a 0	Pobre

Con base en las necesidades fisiológicas de la tilapia, se integraron diecisiete variables físicas y químicas de importancia para su cultivo óptimo, estos parámetros se seleccionaron debido a que afectan principalmente el metabolismo de la especie, causan daños braquiales, cerebrales, así como en órganos internos, aumentando la susceptibilidad a enfermedades y disminuye la tasa de crecimiento (Baltazar y Palomino, 2002).

Cabe resaltar que en la determinación de la calidad del agua solo se consideraron los valores obtenidos de superficie y la base de la zona trofogenica, dado que las jaulas del cultivo de tilapia se encuentra a una profundidad máxima de 5 metros y el embalse no presenta eventos holomícticos.

Se realizó una revisión de criterios de referencia para establecer los máximos y mínimos permisibles de cada variable (Tabla 2) para el cultivo de tilapia, los cuales integran a lo establecido en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua 1989 (CE-CCA-001/89), Wick y Gromenida (1997), SEMARNAP (2000), Baltazar y Palomino (2002), Ross (2004), Little y Hulata (2004), Nandlal y Pickering (2004), SAGARPA

(2005), PC058 (2006), Saavedra (2006), Cantor (2007), García y Calvario (2008), SENASICA (2008), ASTILAPIA (2009), Timmons y Ebeling (2010).

Tabla 4. Intervalos óptimos de variables fisicoquímicas para el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*).

<i>Variable</i>	<i>intervalo optimo</i>
Temperatura °C	22 a 38
Salinidad	5 a 10
Ph	6.5 a 9.0
Oxígeno disuelto mg/L	3 a 15
Dureza total mg/L	20 a 350
Dureza de calcio mg/L	5 a 350
Dureza de magnesio mg/L	0 a 36
Alcalinidad total mg/L	54 a 200
Fosforo reactivo mg/L	0.5 a 1.5
Fosforo total mg/L	0.01 a 3.0
N-Nitritos mg/L	> 0.45
N-Nitratos mg/L	> 400
N-Amonio mg/L	0.01 a 5
N-Amoniaco mg/L	> 0.01
Sulfatos mg/L	0 a 500
Solidos disueltos totales mg/L	0 a 400

8.5.2 Capacidad de carga

Se determinó la capacidad de carga en función al modelo propuesto por Beveridge (2004), el cual establece una relación entre el fosforo existente y el máximo permisible, para estimar el volumen de producción.

Para la realización de este estudio se estimaron las siguientes variables:

1. Batimetría de la zona de instalación de jaulas
2. Área aproximada de la instalación de jaulas flotantes
3. Coeficiente de descarga ρ

$$\rho = Q_0/V$$

(8)

Dónde: Q_0 = volumen de agua total promedio que sale de la presa anualmente y V = volumen del embalse (Rojas-Carrillo y Aguilar-Ibarra, 2012).

Conjuntamente se determinó la concentración de fósforo total $[P]_i$ antes de la instalación de jaulas, durante un ciclo anual y la concentración máxima permisible $[P]_f$ se estableció en función a la tolerancia de la tilapia establecida por Beveridge (2004).

El contenido de fosforo que se aportará al sistema por cada tonelada de producción (P_{food}) de acuerdo al factor de conversión alimenticia (FCA) de 1.5:1 para la tilapia, es calculado con el estándar establecido por Beveridge (2004), este determina el contenido de fosforo en el alimento y el porcentaje que es asimilado por el organismo.

Se utilizó el modelo propuesto por Larsen y Mercier (1976) en Beveridge (2004), para establecer el factor de retención de fósforo en los sedimentos para lagos de agua dulce.

$$R = \left(\frac{1}{1+0.747 \rho^{0.507}} \right) \quad (9)$$

La capacidad de carga se determinó en el sitio de jaulas en un área aproximada de 30 000 m² en cuatro pasos:

El primer paso consiste en determinar la concentración de fosforo total [P_i] en un ciclo anual en el cuerpo de agua antes de iniciar el proceso de producción de tilapia.

El segundo paso consiste en definir la concentración máxima de fosforo [P_f], una vez que se realizó la introducción de las jaulas.

El tercer paso es determinar:

$$\Delta [P] = [P]_f - [P]_i \quad (10)$$

Dónde: ΔP = diferencia del fósforo requerido, P_i = nivel de fósforo existente antes de la explotación y P_f = nivel de fósforo deseado al establecerse el cultivo.

Determinar el fósforo generado por la unidad de producción.

$$L_{fish} = \frac{\left(\frac{\Delta[P]z\rho}{1-R_{fish}} \right)}{año} \quad (11)$$

Dónde: $\Delta[P]$ = diferencia del fósforo requerido, z = profundidad media de la zona de producción, R_{fish} = fósforo retenido por el sedimento.

$$R_{fish} = x + [1 - x]R \quad (12)$$

Donde x es la proporción neta de fósforo total arrojado a los sedimentos, Phillips (1985) en Beveridge (2004) indica que es entre el 45 -55 %.

El paso cuatro consiste en determinar la capacidad de carga (toneladas de producción por año), en función al aporte de fósforo generado por la unidad de producción por el área del cultivo entre el aporte de fósforo que se produce por tonelada de producción en función al FCA.

$$CC = \left(\frac{L_{fish} * A}{P_{food}} \right) \quad (13)$$

Dónde: CC= Capacidad de carga, L_{fish} = Fósforo generado por la unidad de producción, A= Área de la zona de cultivo (m^2) y P_{food} = Fósforo contenido en el pez.

8.6. RESULTADOS

8.6.1 Indicadores fisicoquímicos y biológicos.

La presa El Infiernillo es clasificada como un cuerpo de agua cálido (Cortes y Arredondo, 1974 y Meléndez–Galicia *et al.* 2013), con una temperatura máxima (30.94 °C) en el mes de Julio (2014) y mínima (25.8 °C) en Octubre (2013).

Debido a las características hidrodinámicas que presenta la presa, se puede inferir que el embalse presenta una estratificación débil, con una ligera atenuación térmica en los primeros cinco metros del epilimnion entre los meses de Febrero a Mayo, factor que impide una holomixis en la columna del agua (Fig. 1).

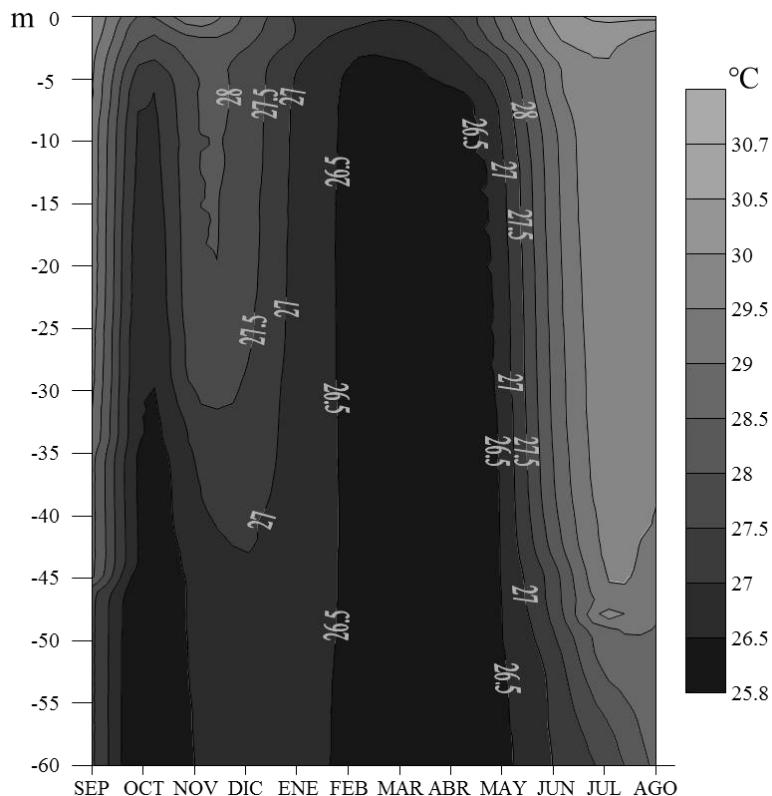


Figura 4. Distribución vertical de la temperatura en la columna de agua en la presa El Infiernillo, Michoacán.

La columna de agua presenta altas concentraciones de oxígeno disuelto con valores promedio de 5.1 mg/L. En la época de lluvia se registraron valores cercanos a 1 mg/L en el hipolimnion, pero en general el embalse mantiene una columna de agua bien oxigenada (Fig. 2.).

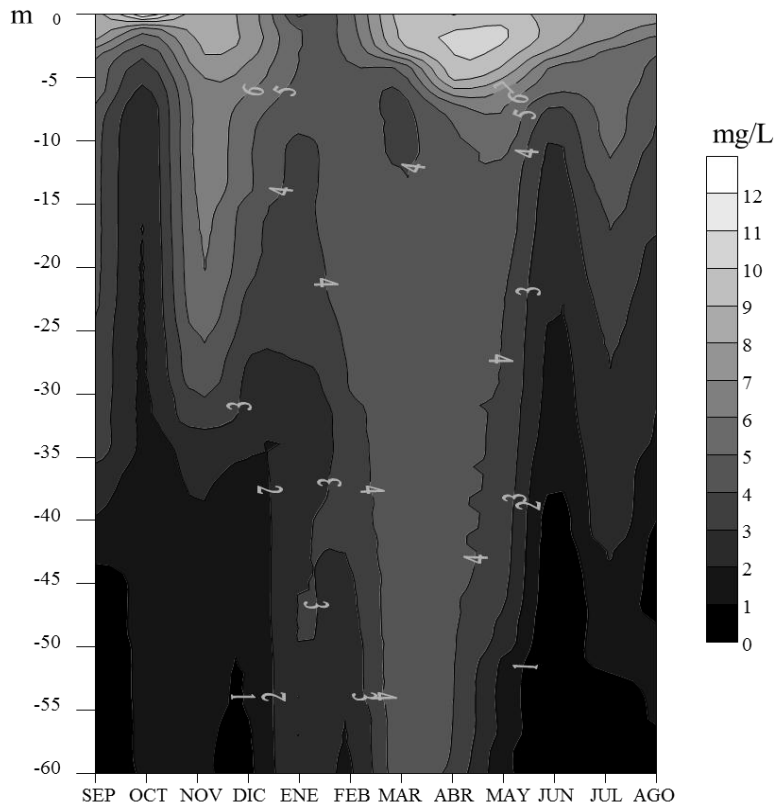


Figura 5. Distribución vertical del oxígeno disuelto en la columna de agua en la presa El Infiernillo, Michoacán.

El agua del embalse es neutra a ligeramente alcalina, con valores medios de pH más altos en el invierno y en el epilimnion, con concentraciones de clorofila *a* y *b* máximas en el mes de octubre (2013) y clorofila *c* en agosto (2014) (42.4, 8.4 y 28.0 mg/m³ respectivamente). De las formas del nitrógeno, los nitritos y nitratos son las más abundantes (Tabla 3). El nitrógeno como amonio y amoniac, presentaron intervalos ligeramente mayores en el mes de agosto (2014).

La demanda bioquímica de oxígeno registró valores significativamente mayores en la época de lluvia en contraste con la época de estiaje ($P < 0.0001$ y $F = 16.26$).

Al igual que la DBO_5 , los nitritos y nitratos, en la época de lluvia registraron valores significativamente altos en la época de lluvia en contraste con el estiaje ($P < 0.0001$, $F = 37.91$ y $P < 0.0014$, $F = 10.48$ respectivamente).

Las concentraciones de fósforo total y reactivo (PO_4^{-3}) en el embalse en general son bajas (Tabla 3), el máximo se registró en la época de estiaje la cual corresponde a la estación climática fría (0.38 mg/L) y en la época de lluvia (0.30 mg/L) respectivamente.

La dureza total y de calcio presentaron valores máximos en el mes de julio (2014) (295.0 mg/L y 283.8 mg/L, respectivamente) y mínimos en el mes de octubre (2013) (132.5 mg/L), mientras que la dureza de magnesio registro 107.5 mg/L y 5.0 mg/L en diciembre (2013) y julio (2014) respectivamente.

Tabla 5. Valores promedio y desviación estándar de las variables fisicoquímicas.

Periodo	(2013 – 2014)
Transparencia (m)	1.85 (0.95)
Temperatura del agua (°C)	27.9 (1.40)
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.12 (2.66)
Conductividad eléctrica ($\mu S/cm$)	529.24 (164.18)
Salinidad	0.23 (0.071)
Ph	8.11 (0.25)

Solidos suspendidos (mg/L)	5.49 (7.51)
Solidos disueltos totales (mg/L)	323.64 (93.79)
Solidos totales (mg/L)	341.32 (207.8)
Sulfatos (mg/L)	89.89 (40.18)
Alcalinidad total (mg/L)	138.8 (14.2)
Dureza total (mg/L)	187.1 (32.9)
Dureza de magnesio (mg/L)	42.1 (13.1)
Dureza de calcio (mg/L)	145.0 (37.3)
Fosforo total (mg/L)	0.71 (0.036)
Fosforo reactivo (mg/L)	0.061 (0.071)
Nitratos (mg/L)	6.17 (6.79)
Nitritos (mg/L)	0.48 (1.11)
Amonio (mg/L)	0.25 (0.24)
Amoniaco (mg/L)	0.000 (.001)
DBO ₅ (mg/L)	3.3 (3.35)
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	9.8 (8.43)
Clorofila <i>b</i> (µg/L)	0.7 (1.4)
Clorofila <i>c</i> (µg/L)	3.8 (5.18)
Coliformes totales	731.0 (1313.3)
Coliformes fecales	392.8 (984.0)

8.6.2 Índice de calidad de agua Canadiense (CCME WQI)

Los índices de calidad de agua se desarrollaron con el objetivo de reflejar modificaciones en las concentraciones de variables fisicoquímicas y biológicas del agua (Al-Janabi, *et al.* 2012), para registrar las variaciones temporales que se producen en el sistema acuático y con ello determinar si dichas modificaciones en la calidad del agua afectan el desarrollo de la tilapia (*Oreochromis niloticus*).

En la tabla 4 se muestran los detalles de los cálculos para determinar la calidad del agua con base en los parámetros fisicoquímicos y los valores de referencia.

Tabla 6. Cálculos para la determinación de la calidad del agua, en la presa El Infiernillo, Michoacán

	Total de variables	% Variables fallidas	Total de pruebas	% Pruebas fallidas	Valor CCME WQI	Categoría CCME WQI
Ciclo anual	16	18.7	2528	9.4	83	Bueno
Estiaje	16	12.5	1472	7.3	83	Bueno
Lluvias	16	18.7	1056	8.6	85	Bueno

Se observó una ligera variación en la calidad del agua entre épocas, el índice registró en el estiaje un valor de 83, mientras que en lluvias fue de 85, esto se debe al aumento de sólidos disueltos totales (Fig. 3), concentración que manifiesta diferencias significativas entre épocas ($P < 0.001$, $F = 52.36$ y $F = 110.56$ respectivamente).

El índice de calidad de agua Canadiense (CCME WQI) indica una tendencia de *buena* calidad de agua durante un ciclo anual, con un valor de 83, lo cual indica que la columna de agua tiene condiciones adecuadas para el cultivo de tilapia.

Así mismo la calidad del agua no es *excelente* debido a la presencia del ion magnesio, nitritos, y solidos disueltos totales; la concentración de magnesio fue significativamente superior ($P < 0.001$, $F 36.55$) en la época de estiaje (Fig. 4).

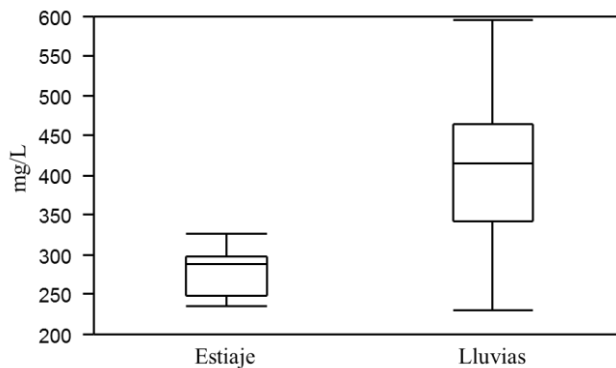


Figura 6. Variación estacional de solidos disueltos totales

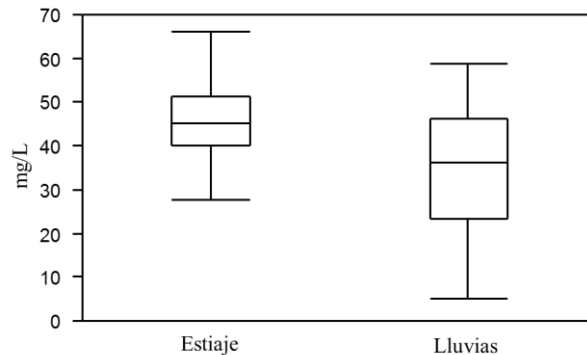


Figura 7. Variación estacional de dureza de magnesio

8.6.3 Capacidad de carga (Modelo propuesto por Beveridge, 2004)

A fin de determinar la capacidad de carga, se describen características hidrológicas y químicas de la presa El Infiernillo (Tabla 5), así como la secuencia de los pasos propuestos por dicho modelo:

Tabla 7. Características hidrológicas y químicas de la presa El Infiernillo, Michoacán.

<i>Variables</i>	<i>Valores</i>
Área de la zona de producción	30, 000 m ²
Profundidad media	61.1 m
Volumen del embalse	7, 540, 660, 000 m ³ (CONAGUA 2010)
Volumen de descarga anual	473, 353, 890, 000 m ³
Tasa de descarga ρ	62.77
Concentración de [P _i] anual	71 mg·m ³
Concentración de [P _f] en cultivo de tilapia	250 mg·m ³

Paso 1: La presa “El Infiernillo” presenta concentraciones anuales medias de fosforo total de 0.071 mg/L (71 mg·m³) con concentraciones ligeramente mayores en la época de lluvia (74 mg·m³) en contraste a la época de seca (70 mg·m³).

Paso 2: la concentración máxima aceptable de fosforo una vez establecido el sistema de producción es de 250 mg·m³, con base a los cultivos de tilapia (Beveridge, 2004).

Paso 3:

$$\Delta [P] = [250 \text{ mg}\cdot\text{m}^3] - [71 \text{ mg}\cdot\text{m}^3] = 179 \text{ mg}\cdot\text{m}^3$$

Puesto que:

$$R = \left(\frac{1}{1 + 0.747 (62.77)^{0.507}} \right) = 0.1465$$

$$R_{fish} = 0.50 + [1 - 0.50]0.1465 = 0.5732$$

$$L_{fish} = \frac{\left(\frac{(179)(61.1)(62.77)}{1-0.5732} \right)}{\text{año}} = 1,608,503.31 \text{ mg}\cdot\text{m}^2 = 1,608.50 \text{ g}\cdot\text{m}^2$$

Paso 4: Se Considera un aporte de 19 500 g de fosforo por tonelada de alimento suministrado al cultivo de tilapia con una conversión alimenticia de 1.5:1 (Beverige, 2004).

$$CC = \left(\frac{1,608.50 * 30,000}{19,500} \right) = 2,474.61 \text{ t/año}$$

La capacidad de producción de tilapia anual que presenta la presa “El infiernillo” en un área de 30,000 m² localizada en el sitio 5 es de 2,474.61 toneladas.

8.7 DISCUSIÓN

La presa “El Infiernillo” puede ser considerada como un cuerpo de agua polimíctico, debido a la ausencia de una termoclina estable, fenómeno que se asocia a la presencia de mezcla continua en la columna del agua, mismo que coincide con lo reportado por Cortes y Arredondo (1976), aunque en los meses de febrero a mayo se registró una ligera atenuación térmica en los primeros cinco metros del epilimnion, comportamiento evidenciado por Bernal (1984), este proceso se atribuye a que el calentamiento del agua superficial es más rápido que la distribución de calor por la mezcla, haciéndose menos densa y creando un aumento de resistencia a la mezcla (Wetzel, 1981).

En general la columna del agua presenta concentraciones de oxígeno disuelto homogéneas, asociado a los procesos de circulación (Bernal, 1984), turbulencia vertical, translocaciones horizontales y corrientes de densidad (Wetzel, 1981), que permiten una distribución uniforme de dicho gas.

Cabe resaltar que en los meses de septiembre y noviembre del 2013 así como de junio a agosto del 2014, considerado el periodo de lluvias, se registraron valores mínimos de oxígeno disuelto en el hipolimnion, atribuido al aporte de materia orgánica e inorgánica y a la presencia de material detrítico derivado de la productividad primara (Bernal, 1984) que precipitó y se acumuló en el fondo, generando procesos oxidativos por parte de la respiración bacteriana, factor que desencadenó condiciones hipoxicas (Wetzel, 1981).

El aporte de nutrimentos, partículas coloidales y materia orgánica, en la estación climática de lluvias, propicio un incremento en la demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosforo reactivo, sulfatos, dureza total y calcio.

El aumento en la concentración de nitratos se debió a los altos valores de oxígeno disuelto que presenta el embalse, esto permite la presencia de estados oxidados de nitrógeno (Wetzel, 2001), este proceso lo han registrado para otros embalses en Turquía (Varol *et. al*, 2012). Cabe resaltar que la presencia de oxígeno disuelto y la concentración de nitratos se correlacionan positivamente ($r = 0.62$ y $p = 0.01$).

Asimismo se asocia a la fijación de nitrógeno por parte de la comunidad fitoplanctónica (Wetzel, 1981), ya que en el periodo de lluvia (Septiembre 2013) se registró un florecimiento de cianobacterias (Soto-Prieto, 2015), caracterizadas por tener células con heterocístos que facilitan la fijación del nitrógeno atmosférico.

La concentración de fosforo total se atribuye a procesos de mezcla invernal de la columna del agua generada por eventos de convección (Lewis, 2000), lo que provoca la resuspensión parcial de partículas coloidales y fosforo (Roldán y Ramírez, 2008) y a procesos de mineralización de la materia orgánica que generan la liberación brusca de nutrientes (Fraile *et al*. 1995).

La presencia de fosforo reactivo y dureza de calcio en la época de lluvia, se asocian a las características topográficas de la presa, las cuales contribuyen a una mayor erosión y traslado de nutrimentos por escorrentías (Wetzel, 1981) así como a procesos de percolación (Neira, 2006), debido a que sus principales componentes edafológicos son suelos Feozem y Regosol compuestos de fosforo asimilable con un promedio de 0.1 y 1.25 mg/100g PO_4^- respectivamente y 8.15 (suelo Feozem) y 3.45 (suelo Regosol) mg/100 cMol (+) kg^{-1} de sales de calcio (Vivanco *et al*. 2010).

La dureza de magnesio registró valores mínimos en la época de lluvias, esto se debe a que el suelo circundante presenta poca concentración de magnesio; Feozem 5.6 mg/100 cMol (+) kg⁻¹ y Regosol 0.62 mg/100 cMol (+) kg⁻¹ (Vivanco *et al.* 2010), esto permite una dilución de este ion con en la lámina de agua en dicha época.

Así mismo la disminución de este ión se asocia a la demanda metabólica por parte de las comunidades biológicas (algas y bacterias fotosintéticas). El magnesio conforma moléculas de clorofila e interfiere en las transformaciones enzimáticas de la productividad primaria (Wetzel, 1981).

La presencia de partículas coloidales como sólidos disueltos, suspendidos y totales se incrementaron en la época de lluvias, comportamiento debido al efecto generado por el fenómeno atípico de lluvia, que aportó gran cantidad de partículas coloidales a través de escorrentías registradas en septiembre - octubre del 2013 y junio - julio del 2014, mismas que decrecen rápidamente por procesos de sedimentación ya que se observó diferencias significativas (F= 73.4, P<.0001) entre los meses de octubre y noviembre

Estos procesos por efecto de lluvias se han registrado para otras presas como el embalse localizado en el Rio Ciemiga, Polonia, que reportaron un aumento en la concentración de sólidos (Zubala, 2009).

Esta variación estacional genera una modificación en las propiedades fisicoquímicas y biológicas en la columna del agua en la época de lluvia, sin embargo el índice Canadiense (CCME WQI), indica que es una *buena* calidad de agua en función a los requerimientos para el cultivo de tilapia durante todo el año.

También es importante señalar que la batimetría se realizó solamente una vez en el periodo de estudio (Mayo 2014), donde la cota de nivel se encuentra en los valores mínimos, siendo significativamente menor en comparación con octubre que presenta mayor volumen de agua ($P > 0.001$, $F = 19.86$), este valor hace más estricto el volumen de producción, ya que a mayor profundidad del embalse mayor es la capacidad de carga con base al modelo propuesto por Beveridge (2004).

Así mismo es de vital importancia no sobrepasar las capacidades máximas de producción de tilapia (2 474 ton/año en 3 hectáreas) y tener en cuenta que las aportaciones de fosforo solo consideran el ingreso por la actividad piscícola y no por alguna actividad adicional.

Cabe resaltar que la determinación de la capacidad de carga es un proceso difícil, ya que la acuicultura en jaulas flotantes se encuentra en continua evolución, asociado a los cambios interanuales y estacionales que ocurren dentro de los cuerpos de agua (Sowles, 2005).

Los procesos hidrodinámicos permiten determinar la capacidad ambiental, debido a su participación en la dispersión de nutrientes, dilución de sustancias y degradación de los desechos orgánicos (Huiwen y Yinglan, 2007).

Una de las problemáticas más importantes en la piscicultura es el alimento no consumido y la composición de las heces, ya que tienden a sedimentar y a solubilizar los nutrimentos, donde se estima que el 60% de fosforo y el 80 % de nitrógeno son liberados del alimento no consumido y terminan siendo parte de la

columna del agua, este aumento se ve mayormente reflejado en embalses con bajas corrientes (Beveridge, 2004).

El incremento de la concentración de nutrimentos genera procesos de eutrofización, modificando la estructura y la función de las comunidades fitoplanctónicas. Los mecanismos de eutrofización dependen de las características del cuerpo de agua como: el tamaño, naturaleza del embalse y el manejo de las jaulas (Beveridge, 2004).

8.8 CONCLUSIONES

La presencia de eventos de convección continuos en la columna del agua, permite el desarrollo de una columna oxigenada con termoclina débil que desaparece frecuentemente en el ciclo anual, factor que propicia un ambiente homogéneo, propio para el adecuado desarrollo fisiológico de la especie *Oreochromis niloticus*.

El índice canadiense CCMEWQI, indica que la calidad de agua de la presa “El Infiernillo” se encuentra en condiciones óptimas para el cultivo de tilapia, ya que exhibe que en las dos épocas (estiaje y lluvia) la variación de los parámetros fisicoquímicas y microbilógicos son adecuados para la producción acuícola de tilapia (*Oreochromis niloticus*).

Sin embargo, en la época de lluvias, el aumento en la concentración de sólidos disueltos totales, así como la presencia constante de nitritos y magnesio, evita que se considere como una calidad de agua *excelente* para la piscicultura de tilapia con base al índice Canadiense.

Las bajas concentraciones de fosforo en la columna del agua conforme a la tolerancia de la tilapia, permiten tener altas producciones anuales.

8.9 LITERATURA CITADA

- Al-Janabi Z., A. Al-Kubaisi y A. M. Al-Obaidy. 2012. Assement of Water Quality of Tigris River by using Water Quality Index (CCME WQI). Al-Nahrain University. Vol.15. 119-126.
- APHA – AWWA - WPCF. 1992. Methods for the Examination of Water. 19TH edition. American Public Health Association (APHA), American Methods Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF) USA.
- Asociación Sinaloense de Productores de Tilapia (ASTILAPIA). 2009. Cultivo de tilapia (*Oreochromis spp*) a alta densidad en módulos flotantes, con énfasis en buenas prácticas de producción acuícola para la inocuidad alimentaria y para la generación de un producto de calidad suprema. Curso taller. Culiacán de Rosales, Sinaloa. 98 pp.
- Baltazar, P. M y A. R. Palomino. 2002. Manual de cultivo de tilapia. Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES). Lima, Perú.
- Becerril-Cedeño, J. 2011. Consejo de cuenca del Rio Balsas como caso de éxito en la gestión del agua. Seminario para agentes de cambio Instrumentación de la Agenda del Agua 2030. 1-23.
- Bernal, W, F. 1984. Análisis de los factores relacionado con la producción pesquera de Tilapia nilotica en la presa Adolfo López Mateos (Infiernillo), Mich-Grp. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 68 pp.
- Beveridge, M. 2004. Cage Acuaculture. Blackwell Publishing. Oxford, 159-200.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, Technical Report. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Cantor, F. 2007. Manual de producción de tilapia. Secretaria de desarrollo rural del estado de Puebla. 135 pp.
- Castro, Q, C, A. 1988. Búsqueda de *Campylobacter sp.*, *Yersina enterocolítica* y *Vibrio parahaemolyticus* en Tilapia sp. En la presa “Adolfo López Mateos” (Infiernillo, Mich.-Gro.), Desde su hábitat, proceso y después de su industrialización.
- CONAGUA 2012. Atlas Digital del Agua México 2012. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de la Subdirección General

Técnica. Sistema Nacional de Información del Agua.
<http://www.conagua.gob.mx/atlas/usosdelagua33.html>.

CONAGUA. Servicio Meteorológico Nacional (periodo 1951 a 2010)
<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Normales5110/NORMAL16046.TXT>
<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Normales8110/NORMAL16046.TXT>

CONAGUA 2010. Capacidad de almacenamiento y uso de las principales presas de México. <http://www.conagua.gob.mx/atlas/usosdelagua33.html>. (Acceso en noviembre del 2013)

CONAGUA 2013. Reporte del Clima en México. Análisis de precipitación (Informe Técnico). Comisión Nacional del Agua. 7 pp.

Cortés, A.R. & J.L. Arredondo. 1976. Contribución al estudio limnobiológico de la presa El Infiernillo Michoacán-Guerrero. Fideicomiso para el desarrollo de la fauna acuática Serie Técnica (2):1-29

Cantor, F. 2007. Manual de producción de Tilapia. Secretaria de desarrollo Rural del Estado de Puebla. 1965 pp.

FAO, 2014. Estado Mundial de la pesca y la acuicultura. Roma. 253 pp.

Fitzsimmons, K. 2013. Innovaciones en las técnicas de producción de tilapias y perspectiva del mercado mundial. 3rd Foro Económico de Acuicultura y Pesca. Nov 25.

Flores, M., 2013. Producing premium Tilapia while building communities. Regal Springs Tilapia. 3rd Foro Económico de Acuicultura y Pesca. Nov 25.

Fraile, H., E. Orive y J. Pozo. 1995. evaluación del estado trófico y comparación de modelos relativos al fósforo en los embalses de Cernadilla y Valparaíso (Río Tera, Zamora). *Limnetica*, II (2): 29-37

García, A. y O. Calvario. 2008. Manual de buenas prácticas de producción acuícola de tilapia para la inocuidad alimentaria. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental y el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, SAGARPA, 148 pp.

Huiwen, C. y S. Yinglan. (2007). Management of Marine Cage Aquaculture, Environmental Carrying Capacity Method Based on Dry Feed Conversion Rate. *Env Sci Pollut Res* 14 (7) 463-469.

Jiménez-Badillo, M. y M. R. Nepita-Villanueva. 2000. Espectro trófico de la tilapia *Oreochromis aureus* (Perciformes: *Cichlidae*) en la presa Infiernillo, Michoacán-Guerrero, México. *Biología Tropical*. Vol. 48. No. 2-3.

- Lewis, E. M. 2000. Basis for the protection and management of tropical lakes. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* 5:35-48.
- Lind, T., 1985, *Handbook of common methods in Limnology*, Kendall/Hunt Publ. Co, Dubuque.
- Little, D.C & G. Hulata. 2000. Strategies of tilapia seed production. Beveridge & McAndrew (eds), *Tilapias: Biology and exploitation*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 267-326.
- Meléndez-Galicia C., Arellano-Torres A., Arredondo-Varga E., Osuna-Paredes C. y Hernández-Montaño D. 2013. Presa Adolfo López Mateos “El Infiernillo”, Michoacán y Guerrero. En: *Pesquerías Continentales de México*. Gaspar-Dillanes M. y Hernández-Montaño D. (ed.): 67-91 Instituto Nacional de Pesca. 67–91.
- Nandlal y Pickering, 2004. *Tilapia fish farming in pacific Island countries*, Tilapia grow-out in pounds, 58 pp.
- Neira, M. A. 2006. Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio caso: Chile. Tesis. Facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería civil. Universidad de Chile 89 pp.
- NMX AA 042 SCFI. 2011. Análisis de agua-detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva-método del número más probable en tubos múltiples.
- Orbe, M. A., A.C. Romero A. y J. Acevedo G. 1999. Producción y rendimiento pesquero en la Presa Adolfo López Mateos (El infiernillo), Michoacán-Guerrero, México. *Hidrobiológica* 9 (1): 1-8.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura FAO. 2014 Programa de Información de Especies Acuáticas *Oreochromis niloticus*.
- PC-058-2006. 2006. Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad suprema de tilapia. Secretaría de Economía (SE), Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Banco Nacional de Comercio Exterior (BANCOMEXT). 44 pp.
- Roldan, P, G. y R. J. Ramírez. 2008. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Universidad de Antioquia. (Ed). 440 pp.

- Rojas-Castillo, P. y A. Aguilar-Ibarra. 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. 2004. Environmental physiology and energetics. Beveridge & McAndrew (eds), *Tilapias: Biology and exploitation*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 89-128.
- Saavedra, M. A. (2006) Manejo del cultivo de tilapia. Coordinación de Acuicultura, Departamento de Ciencias Ambientales y Agrarias, Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente. Universidad Centroamericana. Managua, Nicaragua.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGARPA). 2005. Protocolo de manejo para cultivo de tilapia en jaulas flotantes. Gobierno del estado de Sinaloa. 109 pp.
- Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 2000. Guía para el cultivo de Tilapia. 138 pp.
- SENASICA. 2008. Manual de buenas prácticas de producción acuícola de Tilapia para la inocuidad alimentaria. 148 pp.
- SEDUE. 1990. Acuerdo en el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, CE-CCA-001/89. *Gaceta Ecológica*, enero 1990. México.
- Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. 2009. Manual de buenas prácticas de producción acuícola de tilapia para la inocuidad alimentaria. 147 pp.
- Soto-Prieto, B. E. (2005). Fitoplancton de la presa Adolfo López Mateos "El Infiernillo", Michoacán, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 152 pp.
- Sowles, W. J. (2005). Assessing Nitrogen Carrying Capacity for Blue Hill Bay, Maine: A Management Case History. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Vol. 5. 359-380.
- Timmons, M. B. y Ebeling J.M. 2010. *Recirculating Aquaculture*. Cayuga Aqua Ventures. New York. 947 pp.
- UNFPA 2011. Estado de la población mundial. Siete mil millones de personas: su mundo, sus posibilidades. 123 pp.
- Varol, M., B. Gokot., A. Bekleyen y B. Sen. 2012. Spatial and temporal variations in surface water quality of the dam reservoirs in the Tigris River basin, Turkey. *Catena*. (92) 11-21.

- Vivanco, J. C., J. Bojorquez., R. Murray., O. Najera., F. Flores y A. Hernández. 2010. Características de los principales suelos de la cuenca del río Mololoa, Tepic, Nayarit, México. *Cultivos Tropicales* (31).
- Wetzel, R. G. 1981. *Limnología*. Editorial Omega. Barcelona. 679 pp.
- Wetzel, R. G. 2001. *Limnology Lake and River Ecosystems*. Academic Press. San Diego California. 1006 pp.
- Wicki, G.A. y N. Gromenida. 1997. Estudio de desarrollo y producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*). Secretaria de Agricultura, Pesca y Alimentación. Subsecretaria de Pesca, Buenos Aires Argentina. 11 pp.
- Zubala, T. 2009. Influence of dam reservoir on the wáter quality in a small upland river. *Ecohydrology Hydrobiology*. Vol. 9. 165-173.

9. DISCUSIÓN GENERAL E INTEGRACIÓN DE LOS RESULTADOS

La Presa “El Infiernillo” presenta modificación en sus características fisicoquímicas y biológicas del agua durante la época de estiaje y lluvia. En la época de seca, el aumento en ciertos iones se vuelve evidente, las continuas mezclas de la columna de agua, generan que la dureza y el fosforo aumenten, por la resuspensión de partículas. (Lewis, 2000), así como también intervienen los procesos de mineralización de la materia orgánica que generan la liberación brusca de nutrientes (Fraile *et al.* 1995).

Por otro lado en época de lluvia, se exhibe, un acarreo de material terrígeno y el incremento en la concentración de nitratos, efecto provocado por parte de la comunidad fitoplanctónica ya que presentan células con heterocísto, que son estructuras encargadas de la fijación del nitrógeno y también asociado a las altas concentraciones de oxígeno en el agua, lo cual genera que el índice de calidad de agua propuesto por León en el 2000, descienda a una calidad de agua aceptable a poco contaminada.

Debido a los valores que exceden los límites permisibles de las variables fisicoquímicas y biológicas, la apresa solo es considerada apta para el uso de producción acuícola (tilapia, bagre y carpa), uso recreativo con contacto primario y la agricultura.

El impacto de la calidad del agua en el aumento de la producción acuícola es una de las consideración más importantes (Timmons y Ebeling, 2010), es por ello que el empleo del índice de calidad de agua propuesto por CCME en el 2001 fue esencial

en este trabajo. En general la calidad de agua es considerada buena con forme a los requerimientos necesarios para la tilapia.

Sin embargo el índice CCME al igual que el índice ICA, detecta una ligera alteración en la época de seca, debido a los procesos anteriormente mencionados.

Los valores constantes de magnesio y el incremento en la época de estiaje, superan los valores límites para el cultivo de especies dulceacuícolas, sin embargo para la tilapia es esencial la presencia del magnesio en el agua y en la dieta.

Si la dieta empleada en el cultivo de tilapia no suministra el magnesio suficiente a la especie, ellas lo absorberán del agua a través de la piel, branquias y aletas (Jauncey, 2000), hasta lograr satisfacer sus necesidades fisiológicas; este elemento forma parte de huesos, escamas, músculos y plasma (Hung, 2013). Si la concentración de este ion cambian, la distribución del magnesio se pierde principalmente en huesos y escamas, alterando su desarrollo (Jauncey, 2000).

Otro factor que también contribuyo a la disminución del índice CCME es la constante presencia de los nitritos sin importar la estación climática. Los nitritos pueden ser tóxicos por que afectan la capacidad de transporte del oxígeno en la hemoglobina (Timmons y Ebeling 2010).

Cuando el nitrito entra en el torrente sanguíneo, oxida al hierro en la molécula de la hemoglobina pasándola a un estado de ferroso - férrico. El producto resultante es llamado metahemoglobina, que tiene un característico color marrón, enfermedad conocida como la sangre café (Timmons y Ebeling 2010).

Así también, contribuye a la disminución de la calidad del agua para la tilapia la presencia de sólidos disueltos totales que se registraron en la época de lluvias (julio 2014), con concentraciones por arriba de los 500 mg/L, ello se debió al carreo de sólidos de las primeras lluvias de la temporada, sin embargo rápidamente precipitan y disminuyen un 30 % al siguiente mes; concentraciones adecuadas para la producción de tilapia.

La capacidad de carga que tiene la presa “El Infiernillo” es de 3 192 ton anuales, en un máximo de tres hectáreas, basado en el modelo propuesto de Beveridge en el 2004 el cual considera al fósforo como el nutriente limitante de la productividad primaria, este determina los máximos de fósforo a los valores de tolerancia de la tilapia.

Es importante señalar que conforme a los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua, para la protección a la vida acuática, la presa presenta valores que sobre pasan los límites aceptables de fósforo (0.025 mg/L), sin oportunidad a ninguna actividad acuícola en el embalse.

10. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de agroquímicos en la columna de agua del embalse, que pudiesen alterar la calidad del agua y afectar al cultivo intensivo de tilapia.
- Realizar un estudio de los procesos de sedimentación antes del inicio del cultivo y después del primer ciclo de cultivo, así como el análisis de sistema de corrientes que presenta el embalse.
- Realizar proyecciones a diez años de las concentraciones nutrimentos, para estimar los efectos posibles generados por el cultivo intensivo de tilapia, lo cual permite tener un mejor manejo y control del mismo.

11. LITERATURA CITADA

- Bernal, W. F. 1984. Análisis de los factores relacionado con la producción pesquera de Tilapia nilotica en la presa Adolfo López Mateos (Infiernillo), Mich-Grp. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 68 pp.
- Beveridge, M. 2004. Cage Aquaculture. Blackwell Publishing. Oxford, 159-200.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, Technical Report. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Castro, Q. C. A. 1988. Búsqueda de *Campylobacter sp.*, *Yersina enterocolítica* y *Vibrio parahaemolyticus* en Tilapia sp. En la presa "Adolfo López Mateos" (Infiernillo, Mich.-Gro.), Desde su hábitat, proceso y después de su industrialización.
- CONAGUA 2011, INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA, cap. 4, estadística del agua en México. 59–78.
- CONAGUA 2012. Atlas Digital del Agua México 2012. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de la Subdirección General Técnica. Sistema Nacional de Información del Agua. <http://www.conagua.gob.mx/atlas/usosdelagua33.html>. (Acceso en octubre del 2013)
- Cortés, A.R. & J.L. Arredondo. 1976. Contribución al estudio limnobiológico de la presa El Infiernillo Michoacán-Guerrero. Fideicomiso para el desarrollo de la fauna acuática Serie Técnica (2):1-29.
- Fernández-Nava, R. C. Rodríguez-Jiménez, M.L Arreguín-Sánchez y A. Rodríguez-Jiménez 1988. Listado Florístico de la cuenca del rio Balsas, México. Polibotánica. Núm. 9: 1-151.
- Flores, M. 2013. Producing premium Tilapia while building communities. Regal Springs Tilapia. 3rd Foro Económico de Acuicultura y Pesca. Nov 25.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. 4^a. Ed. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 243 pp.
- Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática (INEGI) 2006. Anuario Estadístico del Estado de Michoacán.

- Jauncey, K. 2000. Strategies of tilapia seed production. Beveridge & McAndrew (eds), *Tilapias: Biology and exploitation*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 327-375.
- Jiménez-Badillo, M. y M. R. Nepita-Villanueva. 2000. Espectro trófico de la tilapia *Oreochromis aureus* (Perciformes: Cichlidae) en la presa Infiernillo, Michoacán-Guerrero, México. *Biología Tropical*. Vol. 48. No. 2-3.
- León, L.F. (1991). "Índice de Calidad del Agua, ICA", Inf. # SH-9101/01, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México. 36 pp.
- Mendoza-Salgado, R. A., C. H. Lechuga-Devéze y A. Ortega-Rubio. 2005. First approach of a method to assess water quality for arid climate bay in the Gulf of California. *Science of the total Environment*. 347: 208-216.
- Meléndez-Galicia C., Arellano-Torres A., Arredondo-Varga E., Osuna-Paredes C. y Hernández-Montaña D. 2013. Presa Adolfo López Mateos "El Infiernillo", Michoacán y Guerrero. En: *Pesquerías Continentales de México*. Gaspar-Dillanes M. y Hernández-Montaña D. (ed.): 67-91 Instituto Nacional de Pesca. 67-91.
- Orbe, M. A., A.C. Romero A. y J. Acevedo G. 1999. Producción y rendimiento pesquero en la Presa Adolfo López Mateos (El Infiernillo), Michoacán-Guerrero, México. *Hidrobiológica* 9 (1): 1-8.
- Timmons, M. B. y Ebeling J.M. 2010. *Recirculating Aquaculture*. Cayuga Aqua Ventures. New York. 947 pp.