



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL



Centro Interdisciplinario de Investigación
para el Desarrollo Integral Regional

CIIDIR MICHOACÁN

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA, BIOLÓGICA Y
ALTERNATIVAS ACUÍCOLAS EN LA PRESA MELCHOR OCAMPO,
MUNICIPIO DE ANGAMACUTIRO, MICHOACÁN**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN
AGRÍCOLA SUSTENTABLE

PRESENTA:

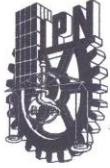
SABINO BALDERAS CASTAÑEDA

DIRECTORES:

M.C. CARLOS ESCALERA GALLARDO

DR. RODRIGO MONCAYO ESTRADA

Jiquilpan de Juárez, Michoacán, México, Noviembre de 2016.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Jiquilpan, Michoacán siendo las 12:00 horas del día 24 del mes de Octubre del 2016 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR Unidad Michoacán para examinar la tesis titulada:

Caracterización fisicoquímica y biológica, y alternativas acuícolas en la presa Melchor Ocampo, municipio de Angamacutiro, Michoacán.

Presentada por el alumno:

| | | |
|------------------|------------------|--------|
| Balderas | Castañeda | Sabino |
| Apellido paterno | Apellido materno | Nombre |

Con registro:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| B | 1 | 4 | 0 | 9 | 0 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|

aspirante de:

Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable

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

LA COMISIÓN REVISORA
Directores de tesis

M. en C. Carlos Escalera Gallardo

Dr. Rodrigo Moncayo Estrada

M. en C. Salvador Ochoa Estrada

Dr. José Teodoro Silva García

Dra. Martha Alicia Velázquez Machuca

Dra. Hortencia Gabriela Mena Violante.

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES.






INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la ciudad de Jiquilpan de Juárez Michoacán el día 14 del mes Noviembre del año 2016, el (la) que suscribe **Sabino Balderas Castañeda** alumno (a) del programa de **Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable** con número de registro **B140909** adscrito al CIIDIR IPN Unidad Michoacán, manifiesta que es autor intelectual el presente trabajo de tesis bajo la dirección de **Carlos Escalera Gallardo y Rodrigo Moncayo Estrada** y cede los derechos del trabajo titulado CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA, BIOLÓGICA Y ALTERNATIVAS ACUÍCOLAS EN LA PRESA MELCHOR OCAMPO, MUNICIPIO DE ANGAMACUTIRO, MICHOACÁN, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de difusión.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, graficas o datos del trabajo sin permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección sabino-303@hotmail.com, cescalera@ipn.mx y rmoncayo@hotmail.com si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


Sabino Balderas Castañeda

Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR IPN Unidad Michoacán) y el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN), por la oportunidad de realizar el presente trabajo.

Así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al programa institucional de formación de investigadores (BEIFI), por el apoyo económico brindado a través de las becas de manutención que fueron de gran ayuda durante la realización de este trabajo.

A mis directores, el M.C. Carlos Escalera Gallardo por brindarme su amistad, apoyo y conocimientos en todo momento, por los consejos y por darme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo y al Dr. Rodrigo Moncayo Estrada, por el apoyo, paciencia y orientación en los análisis estadísticos para complementar el trabajo y por último por la hospitalidad otorgada durante mi estancia en el CICIMAR-IPN.

Además, sin olvidar a todos los integrantes del equipo de trabajo del laboratorio de ecología acuática, acuicultura y pesca, Jaime Santillan, Miriam Arroyo, Verónica Rivera, Paulina Hernández y Martha Patiño, por el apoyo y los buenos momentos durante los muestreos y el procesamiento de las muestras.

Así como, a los integrantes de la Asociación de Pescadores de la Comunidad de La Palma, Municipio de Angamacutiro, Mich. Por la confianza, disponibilidad y apoyo incondicional brindado durante los muestreos, factor muy importante para la realización del presente trabajo.

A todos mis compañeros de generación de la maestría por su amistad y por el apoyo que semestre a semestre ayudaron en mi formación y fueron el impulso para continuar y mejorar día con día.

Muchas gracias a todos ustedes, porque sin su apoyo y amistad esto no hubiera sido posible.

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis lo dedico a mi familia, quienes me han brindado su apoyo incondicional en cada una de mis metas que deseo cumplir y por enseñarme el valor del trabajo, la honestidad, el respeto y la responsabilidad; con todo esto me han dado la fuerza y la paciencia para superar cualquier adversidad durante mi formación.

Principalmente a mis padres por su apoyo incondicional, por creer en mí y por los consejos que día a día he recibido de ustedes, para disfrutar la vida de manera adecuada y enseñarme a afrontar los problemas y las adversidades.

A mis hermanos, por su apoyo, disponibilidad y los excelentes momentos que hemos pasado juntos, y por enseñarme que la unión familiar es la base para cumplir cualquier meta.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| ÍNDICE DE FIGURAS | IX |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | XI |
| RESUMEN..... | 1 |
| ABSTRACT | 3 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 5 |
| 1.1. Planteamiento del problema..... | 5 |
| 1.2. Justificación | 6 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 8 |
| 2.1. Calidad del agua | 8 |
| 2.1.1. Factores fisicoquímicos y químicos | 8 |
| 2.1.1.1. Temperatura | 8 |
| 2.1.1.2. Oxígeno Disuelto (OD) | 10 |
| 2.1.1.3. Turbidez | 10 |
| 2.1.1.4. Potencial de Hidrógeno (pH) | 11 |
| 2.1.1.5. Alcalinidad | 12 |
| 2.1.1.6. Dureza | 12 |
| 2.1.1.7. Sólidos totales disueltos | 13 |
| 2.1.2. Contaminación de agua | 13 |
| 2.1.2.1. Materia Orgánica | 14 |

| | |
|---|----|
| 2.1.2.2. Nutrientes Inorgánicos..... | 15 |
| 2.2. Factores biológicos | 16 |
| 2.2.1. Plancton en aguas continentales | 16 |
| 2.2.2. Tilapia | 17 |
| 2.3. Actividad acuícola y pesquera..... | 17 |
| 2.3.1. Normativa de Pesquerías | 19 |
| 3. HIPÓTESIS DE TRABAJO | 20 |
| 4.- OBJETIVOS | 20 |
| 4.1. Objetivo general..... | 20 |
| 4.2. Objetivos específicos | 20 |
| 5.- METODOLOGÍA..... | 21 |
| 5.1. Localización | 21 |
| 5.2. Descripción ambiental..... | 22 |
| 5.3. Establecimiento de sitios de muestreo..... | 22 |
| 5.4. Registro de parámetros fisicoquímicos del agua | 23 |
| 5.5. Evaluación de plancton..... | 24 |
| 5.6. Evaluación biológica de los peces | 24 |
| 5.8. Aspecto social..... | 25 |
| 5.9. Establecimiento de la alternativa acuícola. | 26 |
| 5.10. Análisis de la información. | 27 |
| 6. RESULTADOS | 29 |

| | |
|--|----|
| 6.1. Parámetros fisicoquímicos del agua | 29 |
| 6.2. Distribución y abundancia del zooplancton | 35 |
| 6.2.1. Distribución temporal del zooplancton | 35 |
| 6.2.2. Distribución espacial de la comunidad de zooplancton y calidad del agua | 36 |
| 6.3. Evaluación biológica de los peces | 38 |
| 6.4. Identificación de sitios para alternativas acuícolas | 42 |
| 7. DISCUSIÓN..... | 47 |
| 7.1. Variables ambientales..... | 47 |
| 7.2. Zooplancton | 49 |
| 7.3 Evaluación biológica de los peces | 53 |
| 7.4. Alternativas acuícolas | 55 |
| 7.5. Actividades adicionales..... | 57 |
| 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 58 |
| 8.1. Conclusiones | 58 |
| 8.2. Recomendaciones | 59 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA..... | 59 |
| ANEXOS..... | 75 |
| Anexo 1: Encuesta a Pescadores de la Presa Melchor Ocampo..... | 75 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Producción y Distribución de Crías en México (Torres, 1999)..... | 19 |
| Figura 2. Localización de la presa Melchor Ocampo..... | 21 |
| Figura 3. Distribución de los sitios de muestreo a través de la presa Melchor Ocampo | 23 |
| Figura 4. Diagrama de flujo sobre el desarrollo del proyecto en la presa Melchor Ocampo..... | 28 |
| Figura 5. Análisis de cluster de los siete sitios de muestreo de acuerdo a las variables físicoquímicas durante el ciclo anual. Primero se tiene el sitio con el número y luego las tres primeras letras del mes..... | 32 |
| Figura 6. Comportamiento de la profundidad promedio a través del ciclo anual e identificación de las dos temporalidades en cuanto al volumen de agua | 33 |
| Figura 7. Análisis Clúster de los meses con menor volumen de agua (febrero a julio) y la agrupación espacio temporal relacionadas con las variables físicoquímicas de los siete sitios de muestreo..... | 34 |
| Figura 8. Análisis Clúster de los meses con mayor volumen de agua (agosto a enero) y la agrupación espacio temporal en base a las variables físicoquímicas de los siete sitios de muestreo | 34 |
| Figura 9. Abundancia relativa de las diferentes especies de zooplancton registradas durante el ciclo anual de muestreo en la presa Melchor Ocampo..... | 36 |
| Figura 10. Análisis de redundancia de los siete sitios de muestreo en los diferentes meses de acuerdo a las variables físicoquímicas y los organismos del plancton.. | 37 |
| Figura 11. Distribución de promedios del peso de tilapia <i>O. aureus</i> capturadas durante un ciclo anual..... | 38 |

Figura 12. Registro de longitud total promedio de tilapia *O. aureus* de la captura durante un ciclo anual..... 39

Figura 13. Relación entre el peso y longitud de los organismos muestreados, con coeficiente de determinación..... 40

Figura 14. Frecuencia de registro de los estadios de maduración gonádica III, IV y V. durante el ciclo de muestreo..... 41

Figura 15. Relación entre el peso de las hembras y la capacidad de producción de óvulos. 42

Figura 16. Delimitación de la zona propicia para el establecimiento de alternativas acuícolas (jaulas)..... 43

Figura 17. Variación del oxígeno disuelto la temperatura a través de la columna de agua durante el mes de julio. Hasta una profundidad de tres metros..... 44

Figura 18. Variaciones de la temperatura y el oxígeno a tres metros de profundidad en los sitio 5 y 6 durante el ciclo anual. 45

Figura 19. Variaciones de la temperatura y del oxígeno a tres metros de profundidad en el sitio sitio 7 (comportamiento anormal por concentración de materia orgánica y bacterias aerobias). 46

Figura 20. Relación entre la temperatura y los organismos de zooplancton (*Asplanca* y *Bosmina*)..... 51

Figura 21. Relación entre los sólidos totales disueltos (STD) y la presencia de *Asplanca* y *Bosmina*..... 52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Clasificación de las aguas según el valor de dureza total. 13

Tabla 2. Registro de los parámetros fisicoquímicos de los siete sitios de muestreo de la presa Melchor Ocampo. Se presentan los valores promedios y mínimos-máximos. OD = Oxígeno Disuelto y STD = Sólidos Totales Disueltos..... 30

RESUMEN

En embalses se tiene una importante presión sobre los recursos por la gran extracción del agua y cambio de volumen, la contaminación y la sobreexplotación pesquera, debido a un inadecuado manejo. Todo esto impone la necesidad de elaborar trabajos para determinar, en espacio y tiempo, la calidad del ambiente físico y su relación con los aspectos biológicos, que permitan, a su vez, implementar alternativas de producción como pueden ser las acuícolas. Para cumplir con este objetivo, en el presente estudio se evaluaron mensualmente durante un año siete sitios de muestreo en la Presa Melchor Ocampo. En cada uno se registraron 11 variables de la calidad del agua, utilizando un multisensor (Hydrolab DS5), el disco de Secchi y análisis de laboratorio. Se colectó zooplancton al filtrar 50 litros de agua a través de una red de 120 micras. En cuanto a los peces se trabajó exclusivamente con la tilapia, cuyos ejemplares fueron proporcionados por los pescadores. De cada individuo se registró la longitud, peso y se extrajeron las gónadas, las cuales se colocaron en un frasco rotulado y se fijan con alcohol al 70 % para su posterior análisis. Adicionalmente, se mantuvo un canal de comunicación constante con las asociaciones de pescadores, con el fin de determinar la factibilidad de incorporar la producción acuícola. Se identificaron aquellas variables que mejor describían la calidad del agua por medio de análisis de componentes principales y de correlación. Para su interpretación en espacio y tiempo se aplicó el análisis de agrupamientos (Cluster) y la relación de las variables ambientales y el zooplancton se obtuvo a través de una ordenación restrictiva con el análisis de redundancia. Se relacionó el peso de las tilapias hembras con su capacidad reproductiva. Como resultados el embalse comprende tres zonas; lítica, léntica y de transición; se considera como un cuerpo de agua polimíctico cálido, con características mesotróficas. En cuanto a las comunidades biológicas se identificaron cuatro géneros de zooplancton: *Bosmina* (50.96 ind L⁻¹), *Diatomus* (13.2 ind L⁻¹), *Asplanchna* (11.5 ind L⁻¹) y *Thermocyclops* (2.26 ind L⁻¹). Por su parte, *Bosmina* domina en periodos con temperaturas (<22 °C), *Asplanchna* de manera contraria incrementa su población durante el verano a consecuencia del incremento de temperatura y la incorporación de nutrientes por las lluvias y los copépodos se

presentaron de manera continua en zonas perturbadas (sitio 7). Se registró una proporción de 1.3:1 de machos:hembras, con un valor de $R^2 = 0.817$ en la relación entre peso y longitud. La época de reproducción se presentó en junio, donde la capacidad reproductiva está directamente relacionada con el peso. La relación peso de la hembra-número de óvulos, tuvo como mínimo 82 g-398 óvulos y máximo 249 g-1924 óvulos. Se identificó la zona lítica (sitios 5 y 6) como la idónea para establecer jaulas flotantes como alternativa acuícola de acuerdo a los valores de temperatura, oxígeno disuelto y profundidad principalmente. Una vez caracterizada la presa, se realizó la transferencia de la información a las asociaciones de pescadores del lugar y se explicaron las alternativas acuícolas para mejorar la producción, involucrando a los pescadores en el desarrollo del proyecto.

Palabras clave: Evaluación Espacio-temporal, Calidad del Agua, Zooplancton, Tilapia, Reproducción, Jaulas Flotantes.

ABSTRACT

In reservoirs have a significant pressure on resources by the large water extraction and volume change, pollution and overfishing due to improper handling. All this imposes the need for work to determine, in space and time, the quality of the physical environment and its relationship with the biological aspects, to, in turn, implement alternative production such as aquaculture. To meet this objective, in the present study seven sites sampling in Melchor Ocampo Dam were evaluated monthly for a year. In each 11 variables of water quality they were recorded using a multisensor (Hydrolab DS5), Secchi disk and laboratory analysis. zooplankton was collected by filtering 50 liters of water through a 120 micron. As for the fish we worked exclusively with tilapia, copies of which were provided by fishermen. The length of each individual registered, weight and gonads were removed, which were placed in a vial labeled and fixed with 70% alcohol for further analysis. In addition, a channel of constant communication with fishermen's associations in order to determine the feasibility of incorporating aquaculture production was maintained. those variables that best described the water quality by principal component analysis and correlation were identified. For his performance in space and time cluster analysis (Cluster) and the relationship of environmental variables and zooplankton it was applied was obtained through a restrictive arrangement with the redundancy analysis. the weight of tilapia females with reproductive capacity related. As a result the reservoir comprises three zones; lotic, lentic and transition; It is considered as a body of warm water polymictic with mesotrophic characteristics. *Bosmina* (50.96 ind L-1), *Diaptomus* (13.2 ind L-1), *Asplanchna* (11.5 ind L-1) and *Thermocyclops* (2.26 ind L-1): Regarding the biological communities four genera of zooplankton were identified. Meanwhile, *Bosmina* dominates periods with temperatures ($<22^{\circ}\text{C}$), *Asplanchna* manner contrary increases its population during the summer as a result of increased temperature and nutrient uptake by rain and copepods were presented continuously in areas perturbed (site 7). A ratio of 1.3: 1 male: female was recorded, with a value of $R^2 = 0.817$ in weight ratio length. The breeding season was presented in June where reproductive capacity is directly related to weight. The weight of the female-number of eggs, relationship had at least 82 eggs and 398 gr-gr-1924 maximum 249 eggs. The lotic zone (places 5 and 6)

was identified as the ideal to set up floating cages as aquaculture alternative according to the values of temperature, dissolved oxygen and depth mainly. Once it characterized the dam, the transfer of information to local fishermen associations held and aquaculture explained alternatives to improve production, involving fishermen in the project.

Keywords: Spatiotemporal Evaluation, Water Quality, Zooplankton, Tilapia, Reproduction, Floating Cages.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La limnología estudia las aguas interiores como sistemas ecológicos donde ocurre la interrelación de los parámetros medio ambientales y la productividad de las comunidades bióticas (Wetzel, 2001). Dicho análisis, permite conocer los intervalos de los diferentes parámetros de calidad de agua, para en su momento manejarlos de acuerdo a diferentes iniciativas productivas que se quieran implementar (Obregon, 2006).

El término de calidad del agua se aplicó originalmente para el consumo humano, posteriormente para agrícola e industrial, e incluye tres clases de atributos: físicos, químicos y biológicos (Johnson *et al.*, 1996; Davies-Colley, 2013). Actualmente se ha implementado la demarcación para la acuicultura con la finalidad de descubrir los requerimientos ambientales de las especies de peces y de sanidad de los productos resultantes, para contar con fuentes potenciales de producción de alimentos (Martínez & Velazquez, 1998).

Las aguas dulces no son totalmente puras, ya que su composición depende de su origen y dinámica, que a través de las corrientes que se depositan en lagos y embalses erosionan y disuelven componentes estructurales del suelo y rocas; además contienen gases provenientes de la atmósfera que se disuelven en la interface de ambos medios (Kalff, 2002; Díaz-Vargas *et al.*, 2005). Por otro lado, la incorporación de las descargas de origen antropogénico como desechos orgánicos biodegradables, nutrientes o sustancias tóxicas de fuentes agrícolas e industriales, lluvia ácida, entre otros, afectan en gran medida la calidad del agua y por lo tanto a su producción biológica y pesquera (Quiroz, 2010).

En términos de la capacidad productiva de los recursos acuáticos y su comportamiento en el tiempo y el espacio, se ha establecido que los ecosistemas están influenciados por las variaciones del pH, conductividad eléctrica, temperatura del agua, dureza total, alcalinidad, cloro, bióxido de carbono y oxígeno disuelto, presentándose una relación

entre los organismos y las variaciones ambientales (Beveridge & Stewart, 1998; Davies-Colley, 2013). Dentro de este contexto, se encuentra la iniciativa de implementar actividades acuícolas en cuerpos de agua interiores.

La presa Melchor Ocampo ha sido objeto de estudio limnológico por Medina Ávila (2012). Mártir-Mendoza (2008) analizó la pesquería de la tilapia en el embalse y la considera como uno de los aspectos económicos más importantes del Municipio de Angamacutiro, Michoacán. Además, el mismo autor menciona que la administración de la presa Melchor Ocampo está a cargo de cuatro cooperativas establecidas en comunidades aledañas a la presa, como son La Palma, San Diego Buena Vista, Villachuato y San Isidro. Sin embargo, durante los últimos años se ha visto en el embalse una sobreexplotación del recurso pesquero, provocado por la utilización de artes de pesca con aberturas de malla inferiores a lo establecido en el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-060-PESC-2011; esto favorece la captura de peces de menor talla que por sus características pierden su competitividad en el mercado, lo cual influye directamente en el precio del producto (Mártir-Mendoza, 2008). Ese comportamiento de los pescadores con respecto a la captura en el embalse induce a que el número de peces extraídos por cada uno de ellos sea mayor para cubrir las necesidades económicas de la familia, agudizando el problema de la sobreexplotación y promoviendo un posible desarrollo de enanismo en la población de tilapia (Njiru *et al.*, 2007).

1.2. Justificación

El estado de Michoacán se caracteriza por poseer una gran cantidad de ecosistemas acuáticos, donde se debe revisar y actualizar el análisis de calidad del agua con el fin de determinar el potencial que tienen para desarrollar actividades productivas. Por su parte, las actividades pesqueras de las diferentes organizaciones de pescadores en el estado se desconoce la organización y administración de los bienes naturales debido a los aspectos socio-culturales y las condiciones locales, logrando que los pescadores recurran a la delimitación y apropiación de espacios de pesca (Arreguín-Sánchez & Arcos-Huiltron, 2011). Esto aunado a las técnicas de pesca que se emplean en el

embalse donde las aberturas de malla utilizadas no corresponden a las establecidas en la norma oficial, favorece exclusivamente a la captura y no la conservación, lo que ha provocado una sobreexplotación de los recursos pesqueros.

Si bien es importante establecer medidas adecuadas de manejo a la actividad pesquera, también se pueden implementar alternativas acuícolas como complemento a las actividades productivas. En la implementación de este tipo de actividades se tiene que establecer un canal de comunicación con los usuarios directos del embalse, con el fin de brindar recomendaciones que impulsen la producción acuícola dentro del embalse y como consecuencia, mejoren la economía de la comunidad.

Por lo tanto, el propósito de este trabajo fue realizar un diagnóstico de las variaciones tanto en espacio como en tiempo de los parámetros químicos y biológicos, que determinen la calidad del hábitat en la presa Melchor Ocampo para un buen desarrollo de la tilapia, implementación de alternativas para incrementar la productividad y transferir estos procesos metodológicos a los pescadores para fomentar una administración sustentable de los recursos biológicos y por consiguiente mejorar su calidad de vida.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Calidad del agua

Para valorar la calidad del agua se deben considerar la evaluación de su naturaleza química, física y biológica en relación con la calidad natural, y de acuerdo los datos obtenidos se determinan los usos posibles, para evitar efectos indeseables en los humanos (Bernal-Brooks, 2002 y Torres, 2009). Con el recorrido del agua a través de los arroyos y ríos se produce una interacción con el medio ambiente a través de una gran variedad de procesos físico y químicos. El agua recoge, disuelve y transporta sustancias químicas de origen natural y sintético. Esto incluye gases disueltos, cationes, aniones, compuestos orgánicos, metales y toda clase de sedimentos que afectan directamente la calidad de la misma (Adamo & Violante, 2000). Por lo tanto, la calidad del agua está directamente relacionada con las características físicas químicas y biológicas y los valores de los parámetros a identificar se relacionan directamente con su uso específico.

2.1.1. Factores fisicoquímicos y químicos

2.1.1.1. Temperatura

Se puede considerar como el factor más importante para los organismos acuáticos, junto con la salinidad determinan la concentración de oxígeno disuelto en el agua, además de influir en la tasa de reproducción primaria y en las reacciones metabólicas de la reproducción y crecimiento de las especies.

La temperatura del agua está directamente relacionada con la del aire, lo que puede ser útil para estimar con anticipación un riesgo de estratificación en los cuerpos de agua: los intervalos térmicos en un día, se relacionan con las temperaturas atmosféricas de 4 días precedentes. En un cuerpo de agua este parámetro se caracteriza por el estado térmico o energía de movimiento (cinética) de las moléculas,

lo que conocemos como calor y la temperatura sólo es un indicador. El calor que se incorpora al sistema proviene de la luz solar por medio de ondas que inciden en la superficie y penetra por efecto de absorción, lo que favorece a la creación de un gradiente que va desde la superficie hasta el fondo (Maestres *et al.*, 2009).

Sin embargo, la cantidad de radiación que llega a la superficie está determinada por diferentes factores externos al sistema como son: El ángulo de incidencia, época del año, presencia de nubes y latitud. En cuanto a factores internos la penetración de luz se limita por la cantidad de sólidos disueltos y suspendidos (Atwood *et al.*, 2003). Otras características que influyen a la temperatura son la profundidad del ecosistema y el dinamismo presente en el sistema. Se produce una estratificación termal, por la diferencia de las densidades debido a que el agua caliente es menos densa que la fría, y entre ellas se forma una línea limítrofe llamada TERMOCLINA. Esta impide el paso de oxígeno desde la superficie (epilimnio) hacia aguas más profundas (hipolimnio) y la salida de gases tóxicos desde aguas profundas hacia la atmósfera. Sin embargo, es común en cuerpos de agua templados que la estacionalidad imponga condiciones diferentes de mezcla y de estratificación a lo largo del año.

Todos los organismos acuáticos adaptados en aguas frías, templadas y cálidas son susceptibles para el cultivo. Tienen un rango óptimo de temperatura, y comienzan a tener problemas con temperaturas por debajo o por encima del mismo, lo que puede ser letal ya que afecta directamente la tasa metabólica del pez. Por ejemplo, si la temperatura aumenta, la tasa metabólica también aumenta y por consiguiente aumenta el consumo de oxígeno (Le Moullac, 2000).

Los peces son animales poiquilotermos (su temperatura corporal depende de la temperatura del medio) y altamente termófilos (dependientes y sensibles a los cambios de la temperatura). Por lo que en muchas especies nativas las variaciones bruscas de solo 2°C ocasionan tensión y muerte de los mismos, en tilapias puede soportar variaciones de hasta 5 °C (Pérez Mayorga, 2011). La influencia de la temperatura en los organismos es uno de los problemas más importantes, los peces que se exponen a intervalos fuera de los óptimos para su desarrollo, dejan de alimentarse, el sistema inmune se debilita, y se tornan altamente susceptibles a enfermedades, mortalidad por manipulación y se inhibe la reproducción (Atwood *et al.*, 2003). Una de las alternativas

para subsanar las grandes variaciones es la calidad de la alimentación, así los peces pueden soportar las alteraciones térmicas y los efectos negativos son menores (Brown *et al.*, 2001; Abucay, 1998).

2.1.1.2. Oxígeno Disuelto (OD)

La concentración de oxígeno no se puede mantener constante debido a que depende de otros factores fisicoquímicos como es la temperatura, la salinidad, y de procesos biológicos presentes en el sistema como la fotosíntesis y la respiración, que interfieren en su producción y consumo. La dirección de difusión entre el agua y la atmósfera depende de las diferencia de presión del gas, es decir durante la noche se tiene un déficit en la concentración de oxígeno disuelto lo que permite la incorporación del gas atmosférico hacia el agua (Kramer, 1987). Lo contrario sucede por la mañana debido a que la fotosíntesis mantiene un excedente, el cual es consumido por la respiración o emitido a la atmósfera, este último se atribuye a que el agua a mayor temperatura disminuye su capacidad de retención de gases (De la Lanza, 1998).

La presencia de plancton, una de las principales fuentes de producción de oxígeno disuelto, impone una variación en la concentración, por lo que un sistema con sobrepoblación hacen que en un ciclo de 24 horas existan fluctuaciones amplias para esta variable (i.e., 2-20 mg/L), lo que se traduce en un estrés en los peces. Por lo que es recomendable mantener una concentración moderada de plancton (Huchette, 2002).

2.1.1.3. Turbidez

La turbidez del agua impide la dispersión de la luz a través de la columna de agua y limita la productividad natural, lo que a su vez reduce la productividad primaria, por otro lado, actúa de manera mecánica directamente sobre los peces erosionando las branquias y reduciendo la capacidad respiratoria. Es por ello que se recomienda que el agua no sea turbia para que el fitoplancton se pueda desarrollar adecuadamente. Según Ingle de la Mora (2003), mediante la turbidez se puede identificar plenamente

el nivel de productividad primaria (fitoplancton y zooplancton), y con base en esto deducir la productividad acuícola del agua. Hay especies que revuelven el fondo provocando turbidez en los estanques y erosión en el suelo tales como la carpa común (*Cyprinus carpio*), pero a la tilapia le afecta una alta turbidez. En especies como la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), las aguas turbias retrasan la maduración sexual porque la melatonina no recibe las señales lumínicas necesarias para impulsar el proceso hormonal (Bezault, 2007). Las fuentes de agua con alta turbidez deben ser sedimentadas, para eso, se debe construir un reservorio y un estanque de sedimentación, este estanque de sedimentación debe ser capaz de retener el agua alrededor de 5 horas.

2.1.1.4. *Potencial de Hidrógeno (pH)*

Es una medida de la acidez o naturaleza básica (alcalina) de una solución, donde se considera la cantidad de iones de hidrógeno [H⁺] y los iones hidroxilo negativo [OH⁻] en el agua. Los valores de pH van de 0 a 14, considerándose neutro el valor de 7. El agua que contiene más iones de hidrógeno es ácida (valores menores a 7), mientras que el agua que tiene más iones hidroxilo es básica (valores mayores a 7). En el medio dulce-acuícola los niveles de O₂, CO₂ y pH pueden fluctuar durante el transcurso del día o la estación del año, al verse alterados por factores bióticos (productividad primaria y consumo de oxígeno de plantas y animales) y abióticos (circulación, temperatura, la naturaleza de la cuenca y los afluentes) (Jobling, 1995).

Las variaciones de pH hacia la alcalinidad se deben principalmente a la actividad de organismos que intervienen en el ciclo del CO₂, tales como moluscos y bivalvos que, a su muerte, liberan cantidades significativas de carbonatos. Los valores bajos de pH están íntimamente relacionados con procesos de descomposición de materia orgánica y liberación de ácidos. El pH de la agua de un reservorio depende del tipo de suelo donde se localiza el río que lo alimenta (Posada *et al.*, 2005). Los valores del pH del agua no se refieren tanto a su efecto directo sobre la tilapia, sino más bien a que se favorezca la productividad natural. Así, el rango conveniente del pH del agua para oscila entre 7 y 8. Por otra parte, mientras más estable permanezca el pH, mejores

condiciones se propiciarán para la productividad natural misma, que constituye una fuente importante de alimento para la tilapia.

2.1.1.5. *Alcalinidad*

La alcalinidad se define como la capacidad del agua de neutralizar ácidos o aceptar protones. En aguas continentales está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, siendo el bicarbonato el de mayor contribución a la alcalinidad. Los ácidos débiles como los nitratos y fosfatos pueden contribuir a la alcalinidad (Molina & Castro, 2015). Por otro lado, el pH está directamente relacionado con la concentración de bicarbonato en el agua: su mayor concentración se encuentra a un pH de 8, por encima o por debajo de este valor el contenido de bicarbonato disminuye. La alcalinidad determina la capacidad que tiene el agua para neutralizar los contaminantes ácidos provenientes de la lluvia o de los desechos (Chapman & Fernando, 1994). De manera general una alcalinidad superior a 175 mg CaCO₃/L (carbonato de calcio por litro) resulta perjudicial, debido a las formaciones calcáreas que se producen, que afectan tanto a la productividad primaria como a los peces al dañar sus branquias. Una alcalinidad de aproximadamente 75 mg CaCO₃/L se considera adecuada para un buen desarrollo de la productividad natural (Daw & Gray, 2005).

2.1.1.6. *Dureza*

La cantidad de cationes metálicos determina la dureza del agua, que pueden estar como carbonatos o bicarbonatos y entre los principales metales se encuentran el calcio, magnesio, hierro, bario, estroncio. En virtud de que la concentración de iones calcio y magnesio es mayor que el resto de los cationes, se considera que la dureza está representada por el contenido de estos iones que se expresa como carbonato de calcio, CaCO₃ (Millán *et al.*, 2003).

De acuerdo con el valor de dureza total del agua representado por la concentración de CaCO₃, se pueden clasificar las aguas como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.- Clasificación de las aguas según el valor de dureza total.

| Tipo de agua | ppm CaCO₃ |
|---------------------|-----------------------------|
| Muy blanda | 0 – 15 |
| Blanda | 16 – 75 |
| Semidura | 76 – 150 |
| Dura | 151 – 300 |
| Muy dura | > 300 |

Por lo tanto, la dureza del agua debe ser caracterizada antes de utilizarla en un proceso determinado, con la finalidad de identificar los niveles de sales y si estos se encuentran en niveles aceptables, o en su defecto someter a un proceso de ablandamiento previo. Aguas con dureza intermedia son menos productivas en términos de biomasa, pero pueden sustentar una flora y fauna más variada, por lo tanto la dureza no influye directamente sobre los peces pero si determina su distribución con respecto a la disponibilidad de alimento (Bistoni, 1999).

2.1.1.7. *Sólidos totales disueltos*

La cantidad de materia disuelta en un medio acuoso determina la concentración de sólidos disueltos totales, los cuales afectan adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente minimizando la penetración de luz en la columna de agua y la absorción selectiva de los diferentes largos de onda que integran el espectro visible. Los análisis de sólidos disueltos son también importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas usadas.

2.1.2. *Contaminación de agua*

Se entiende como contaminación del agua, a cualquier cambio físico, químico o fisicoquímico natural o provocado que afecta directamente a los organismos. El tipo de contaminación varía de acuerdo al nivel de desarrollo que tenga el lugar donde ocurre. En zonas poco industrializadas, la fuente son los desechos humanos (uso urbano) y

de animales (ganadería con materia orgánica y organismos patógenos), así como los productos químicos empleados en la agricultura (Withers, 2002). En el caso de zonas con alto nivel de industrialización, la fuente de contaminación es el calor, metales tóxicos, ácidos, pesticidas y compuestos químicos orgánicos e inorgánicos desechados por las industrias (Dean, 1972).

La Agencia de protección al Ambiente (EPA por sus siglas en inglés; 2003) ha identificado cinco fuentes de contaminación de aguas superficiales.

- Urbana: Desarrollo y construcción de áreas urbanas, carreteras, calles, estacionamientos, puentes, etc.
- Agrícolas: Cultivos, ganadería, granjas avícolas, de cerdos, conejos, entre otros.
- Industrial: Fabricación de productos en papeleras, industrias textiles y alimentarias desechos de las industrias químicas.
- Marinas: Áreas para el resguardo y servicio de embarcaciones.
- Hidro-modificaciones: Alteraciones, actividades de restauración en las orillas de ríos, canalización y construcción de represas.

Existen dos elementos de contaminación en las aguas residuales sin tratar; el nitrógeno que proviene de los desechos de los humanos, animales y de fertilizantes, y los coliformes fecales que son bacterias que provienen del intestino de los mamíferos, que llegan a los cuerpos de agua de la áreas urbanas y sub-urbanas como aguas residuales sin tratar o tratadas inadecuadamente (Withers, 2002). Además los sedimentos arrastrados por las corrientes reducen la capacidad de retención en las presas, aumenta la turbidez y disminuye el potencial como hábitat acuático (Fuentes Robles, 2013).

2.1.2.1. Materia Orgánica

Las fuentes potenciales de materia orgánica son las plantas de tratamiento de aguas, residuos industriales y desechos de animales o humanos. En aguas superficiales la presencia de materia orgánica es consumida de manera natural por las bacterias, por lo que la población de bacterias aumenta con relación a la cantidad de materia

orgánica. A través del cauce del río las bacterias consumen lentamente la materia orgánica que se incorpora de los efluentes, lo que favorece la depuración de las aguas de manera natural (Withers, 2002).

Pero durante el proceso de descomposición las bacterias consumen el oxígeno que esta disuelto en el agua y al aumentar la población de bacterias aerobias, algas y plancton el requerimiento de oxígeno es mayor. Como consecuencia al disminuir la concentración de oxígeno disuelto, se afectan directamente a los organismos que dependen de él para sus actividades metabólicas, provocando asfixia e incluso la muerte de los peces y otros organismos acuáticos (Smith, 1999). Por otro lado, la minimización de oxígeno disuelto favorece el metabolismo de las bacterias anaerobias (no requieren oxígeno), que como parte de sus desechos desprenden olores desagradables y gases tóxicos que afectan la calidad del agua (Kramer, 1987).

2.1.2.2. *Nutrientes Inorgánicos*

Los compuestos químicos de mayor importancia en los ecosistemas acuáticos son el nitrógeno y el fósforo, que a diferencia de los compuestos orgánicos que estimulan la proliferación de bacterias, estos promueven el desarrollo de plantas acuáticas. Se puede llegar a generar grandes biomásas, ya que al igual que los animales, las plantas necesitan nitrógeno como elemento necesario para la síntesis de proteínas (Jarvie *et al.*, 2006).

El nitrógeno está contenido en forma de amoníaco (NH_4) y nitratos (NO_3). Para ello existen bacterias especializadas en oxidar el amoníaco y convertirlo en nitrito (NO_2) y nitrato, que pueden ser utilizados por las plantas acuáticas. Cuando hay una cantidad excesiva de nutrientes se propicia a un crecimiento excesivo de plantas acuáticas, algas y bacterias, proceso conocido como eutrofización, el cual se genera en diferentes embalses debido a la poca velocidad de flujo que permite la producción excesiva de biomasa (Smith, 1999; Camargo & Alonso, 2007).

Los principales efectos adversos provocados por la eutrofización son los cambios en la composición de especies de fitoplancton, las cuales pueden ser tóxicas, y a su vez cambian la conformación de macroalgas, biomasa y composición de las especies.

Además, se eleva el pH y la cantidad de oxígeno disuelto disminuye a través de la columna de agua lo que propicia la mortalidad de las especies acuícolas de importancia económica y por último la aparición de cuerpos de agua eutrofizados disminuye su valor estético (Smith, 1999; Carpenter *et al.*, 1998).

Los detergentes son otra fuente de contaminación, debido al contenido de fósforo que induce el crecimiento de plantas acuáticas, y una vez que dichas plantas cubren la superficie impiden la penetración de la luz, disminuyendo así la fotosíntesis y los niveles de oxígeno disuelto que induce a la mortandad de los peces (De Vicente, 2003).

2.2. Factores biológicos

2.2.1. Plancton en aguas continentales

El fitoplancton se caracteriza por organismos suspendidos en la parte superior de la columna del agua y su capacidad de movimientos resulta muy débil para contrarrestar el efecto de las corrientes del agua. Estos organismos forman parte de la productividad primaria del sistema y conforman la base de alimentación para el zooplancton (Downing *et al.*, 1990).

En aguas superficiales se encuentran principalmente tres grupos de zooplancton: cladóceros, copépodos y rotíferos. Sin embargo, existen algunos otros como los protozoos, ostrácodos, anfípodos, ácaros y otros grupos que forman parte de esta comunidad aunque en menor proporción (Gutiérrez, 2008). Cada uno de los grupos de zooplancton requiere de características medioambientales específicas para su óptimo desarrollo: Copépodos están presente en ambientes con nivel medio y alto de eutrofización o perturbación, cladóceros de manera contraria requiere ambientes oligotróficos, por lo que suele estar ausente en ambientes eutrofizados y la presencia de rotíferos está relacionada con temperaturas más elevadas en comparación con los cladóceros (Merayo & González, 2009). Cabe señalar que si bien se tiene esta generalización, a nivel de especie no necesariamente se tienen estas afinidades.

2.2.2. *Tilapia*

Las especies de “Tilapia” pertenecen a la familia Cichlidae y están clasificadas en el Orden Perciformes. Habitan normalmente en aguas dulces y salobres de África, el Medio Oriente, las zonas costeras de la India, América Central, del sur y el Caribe, incluyendo Cuba. Posteriormente, durante la segunda mitad del siglo veinte se encuentran en zonas tropicales y subtropicales de todo el mundo gracias a la introducción por la mano del hombre (Pérez & Capote, 2000).

Generalmente, vive en aguas someras y los adultos tienden a migrar hacia aguas más profundas. Al ser una especie omnívora ingiere una gran diversidad de organismos tales como plancton, invertebrados, larvas de peces, detritos e incluso materia orgánica en descomposición. Por otro lado posee la capacidad de adaptación a diferentes temperaturas, rápido crecimiento, alta conversión alimenticia, tolerancia a baja calidad del agua y resistencia a parásitos y enfermedades. Por todas estas características, es posible cultivar y manejar la tilapia con relativa facilidad (De la mora *et al.*, 2003).

De acuerdo con datos de SAGARPA (2015) en Michoacán existen alrededor de 5,700 embarcaciones ribereñas, así como 404 unidades de producción acuícola, con las que tiene la capacidad de producir más de 36 mil toneladas de productos pesqueros con valor superior a los 867 millones de pesos. Entre 2013 y 2014 la producción pesquera de Michoacán creció de 15,934 toneladas a 36,811 (8,240 de captura y 28 mil de acuicultura, de las cuales 1,800 toneladas son de trucha) y su valor global aumentó de 285 millones de pesos en 2013 a 867 millones en 2014, gracias al esfuerzo de 17 mil 098 pescadores que comercializan entre otras especies mojarra, trucha, carpa, guachinango y sierra.

2.3. **Actividad acuícola y pesquera**

Una de las alternativas acuícolas utilizadas con fines de producción de organismos acuáticos principalmente peces, son las jaulas flotantes que permiten mantener los organismos por largos periodos de tiempo para incrementar su peso (Yi & Lin, 2001).

El cultivo en jaulas se ha venido aplicando en cuerpos de agua continentales como lagos, reservorios y grandes embalses naturales o artificiales. El uso de jaulas flotantes como alternativa de producción se ha expandido debido a que las operaciones de cultivo requieren menos inversión de capital, permiten una mayor flexibilidad de manejo y tienen costos de producción más bajos que el cultivo en estanques y canales (FAO, 2005). Las tilapias pueden ser cultivadas en altas densidades en jaulas que mantienen una libre y constante circulación de agua.

Para seleccionar los sitios de cultivo se deben considerar diferentes factores principalmente: (1) calidad del agua, (2) condiciones del sitio y (3) posibilidades para el establecimiento. En el primer factor se involucra la temperatura, oxígeno disuelto, turbidez, contaminación, flujos y corrientes de agua. Para el segundo, corresponden a características propias del lugar como la profundidad, tipo de sustrato y condiciones climáticas (tormentas o vendavales). Por último tomar en cuenta la consideración de aspectos legales y sociales, tales como acceso, seguridad y posibles conflictos con actividades pesqueras o recreativas (Peña & Zambrano, 2003).

En las últimas décadas la producción de peces provenientes de la pesca (Figura 1), y de la acuicultura, ha alcanzado niveles que nunca antes se habían registrado. Por lo que se ha convertido en una actividad esencial en el suministro de alimentos con alto valor proteico para una población mundial que no ha dejado de crecer. Por otro lado, la necesidad de alimentos origina un alto grado de sobreexplotación de los recursos, situación que enfrenta a la industria pesquera con un futuro de inciertas consecuencias (Figueroa, 1996).

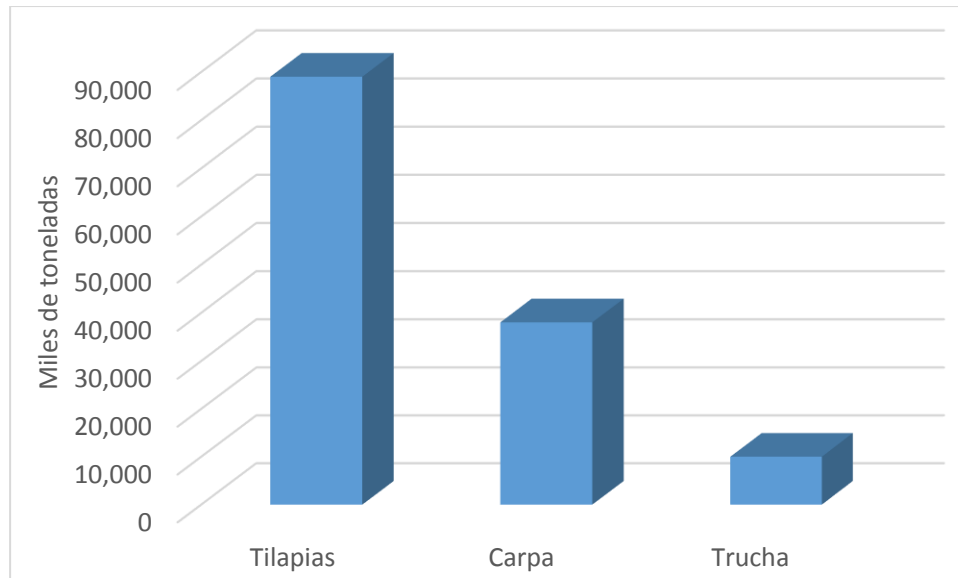


Figura 1. Producción y Distribución de Crías en México (Torres, 1999).

2.3.1. Normativa de Pesquerías

Un rasgo común que encontramos, es que el principal problema de la sobreexplotación de los recursos pesqueros se debe a la condición de libre acceso que existe en este sector y, por consiguiente, de la definición poco clara de los derechos de propiedad. El libre acceso y la competencia por los recursos conducen a que los agentes no consideren los posibles efectos que sufrirá la captura futura (Rojas-Carrillo, 2006).

En el aspecto de los sistemas acuáticos, mediante el agotamiento y la sobreexplotación de importantes pesquerías en todo el mundo, repercute en economías y en sociedades del mundo. La pesca afecta a las especies que son objeto de captura, de igual manera modifica a los ecosistemas (WU, 1995). Las capturas de determinadas especies pueden modificar aspectos como la composición, sexo, edad, crecimiento de las poblaciones, lo que influye en las poblaciones de las especies dependientes y asociadas: una reducción significativa de los depredadores que ocupan un nivel alto en la cadena trófica puede generar una excesiva abundancia de especies situadas en niveles inferiores, modificando los flujos de biomasa y de energía del ecosistema. Por otra parte, determinadas artes de pesca pueden alterar y destruir hábitats sensibles, como zonas de reproducción (Torres, 1999).

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La condición actual de aprovechamiento de los recursos acuáticos y pesqueros de la presa Melchor Ocampo impone la necesidad de establecer alternativas de manejo del embalse y producción acuícola para mejorar el aspecto económico de los pescadores.

4.- OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Caracterizar aspectos químicos y biológicos de la presa Melchor Ocampo, con el propósito de implementar alternativas de producción acuícola con la participación de los integrantes de la asociación de pescadores de La Palma, Municipio de Angamacutiro, Michoacán.

4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar de manera espacial y temporal la calidad del agua del embalse.
- Definir la composición y estructura del zooplancton y su relación con las variables fisicoquímicas
- Determinar los aspectos reproductivos de la tilapia en un ciclo anual
- Identificar los puntos que cumplan con las condiciones ambientales para ubicar la alternativa acuícola en el embalse.
- Estructurar una propuesta con alternativas de implementación del cultivo de la tilapia dirigida a los pescadores del embalse

5.- METODOLOGÍA

5.1. Localización

La presa se localiza al Noreste del Estado de Michoacán, delimitada por las coordenadas $20^{\circ} 08' 59''$ de latitud norte y en los $101^{\circ} 42' 30''$ de longitud oeste, a una altitud media de 1,685 metros sobre el nivel del mar (figura 2). Pertenece al municipio de Angamacutiro y tiene una superficie de 1,300 hectáreas, con una profundidad media de 5 m.

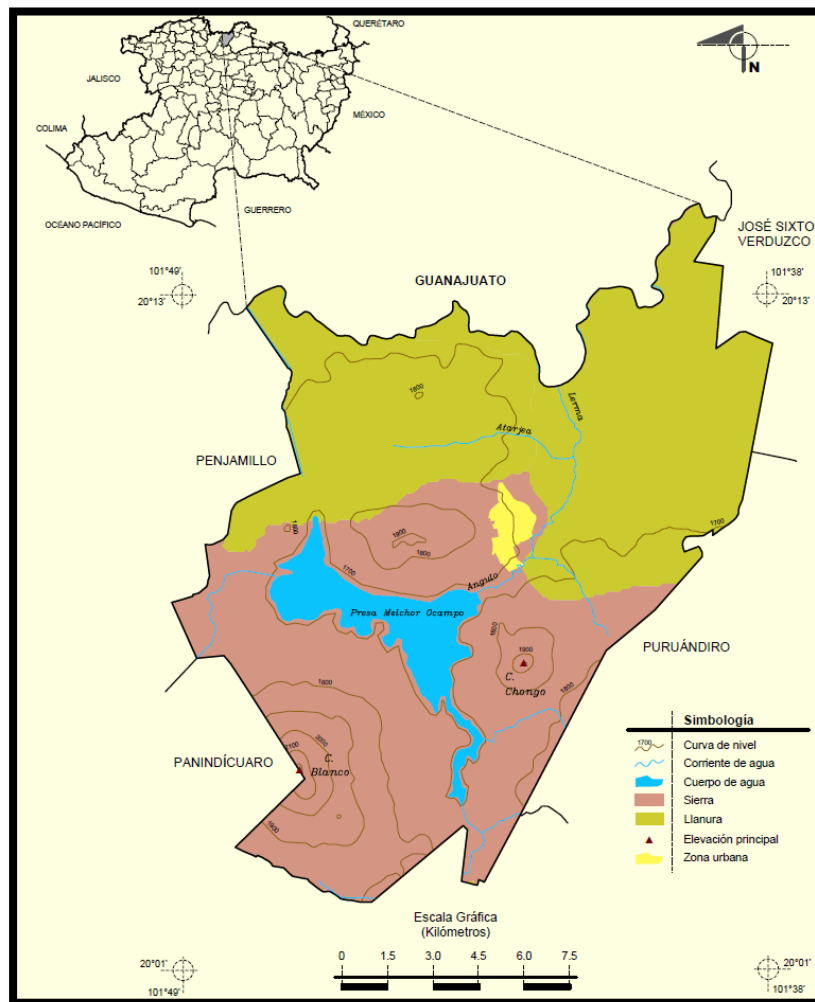


Figura 2. Localización de la presa Melchor Ocampo

5.2. Descripción ambiental

La presa se presenta en una zona de clima templado con lluvias en verano, registrando una precipitación pluvial anual entre 700 a 800 mm e intervalos de temperaturas de 16 a 22 °C. Es parte de la región administrativa número VIII Lerma-Santiago-Pacífico, en la Región Hidrológica 12 Lerma-Santiago-Pacífico y específicamente en la denominada Zona Hidrológica río Lerma-Chapala en la Subcuenta del río Angulo. En cuanto a las actividades pecuarias algunas zonas se explotan para el desarrollo de praderas cultivadas, otras son para el aprovechamiento de pastizales y vegetación natural la cual es aprovechada por el ganado caprino.

5.3. Establecimiento de sitios de muestreo

Los sitios de muestreos se determinaron considerando los diferentes impactos que se presentan en el embalse como los afluentes que se incorporan, entrada de agua negras, efluentes y la dirección de la corriente a través de la presa Melchor Ocampo (figura 3). Además se consideraron la profundidad y morfología del embalse, esto con la finalidad de identificar la distribución de las características medioambientales y con ello cubrir la necesidad de obtener un panorama general del sistema.



| Sitio | Ubicación |
|-------|---------------------------------|
| 1 | 20° 08' 62" N 101° 40' 32" W |
| 2 | 20° 08' 13" N 101° 44' 45" W |
| 3 | 20° 07' 56" N 101° 46' 29" W |
| 4 | 20° 07' 12" N 101° 45' 98" W |
| 5 | 20° 07' 20" N 101° 45' 04" W |
| 6 | 20° 07' 68" N 101° 43' 61" W |
| 7 | 20° 05' 61" N 101° 44' 25" W |

Figura 3. Distribución de los sitios de muestreo a través de la presa Melchor Ocampo

5.4. Registro de parámetros fisicoquímicos del agua

Se llevaron a cabo muestreos mensuales durante un año iniciando con el mes de marzo de 2015 a febrero de 2016. En cada uno de los sitios se realizó el registro de parámetros fisicoquímicos en superficie y a cada metro hasta el fondo, tales como son la temperatura (°C), conductividad eléctrica (mS/cm), salinidad (%), sólidos totales disueltos (mg/l), pH, NH₄ (mg/l de N), NO₃ (mg/l de N), Cl⁻ (mg/l), oxígeno disuelto (mg/l), porcentaje de saturación, turbidez (NTU) utilizando un multisensor (Hydrolab DS5), y transparencia por medio del disco de Secchi. Adicionalmente se colectaron muestras de agua (1 litro), para analizar en el laboratorio otros parámetros adicionales, las cuales se colocaron en hieleras para preservarlas a 4 °C y aislarlas de la luz del sol. Las variables que se determinaron fueron alcalinidad y dureza total de acuerdo a

los protocolos de APHA (1999). El análisis de las variables ambientales se hizo con la finalidad de caracterizar la calidad del agua y establecer la dinámica que presenta el sistema, además de identificar las variables fisicoquímicas que no cumplen con los requerimientos para la producción de tilapia de acuerdo con los valores recomendados por CONAPESCA (2009).

5.5. Evaluación de plancton.

La toma de muestra del plancton se realizó utilizando una red cónica con abertura de malla de 120 micrómetros. A través de esta se filtraron 50 litros de agua, posteriormente se concentran los organismos colectados en el copo de la red, finalmente se colocan en un frasco de plástico que contiene alcohol al 70 % para su preservación, para su posterior traslado al laboratorio. Para su separación, cuantificación e identificación se realizó la división de la muestra mediante el Aparato de Folsom, en el cual se coloca la muestra y se agita uniformemente y posteriormente se divide en dos partes para facilitar y disminuir la cantidad de organismos a contar. A continuación se realizó la identificación y el conteo mediante un Microscopio Invertido LIB-305 y utilizando las claves de Rosenberg *et al.*, (1993) y Pennak, (1955).

5.6. Evaluación biológica de los peces

Los individuos de tilapias analizados se obtuvieron a partir de la pesca comercial, basados en la metodología propuesta por Ruíz *et al.* (2006), se registró la longitud total por medio de un ictiómetro de madera de 60 cm y el peso con una balanza digital marca Ohaus con capacidad para 2 000 g y precisión de 1.0 g. Posteriormente se les extrajeron las gónadas, mismas que se colocan en un frasco etiquetado y con alcohol al 70 % para ser fijadas y transportadas al laboratorio para su posterior análisis. En el laboratorio se determinó sexo y estadio de maduración gonádica por observación directa de acuerdo con la clasificación de Nikolsky (1963), la cual se determina por VI estadios. En las gónadas con estadio de maduración gonádico V, que es cuando los óvulos están formados, se cuantificaron los mismos para determinar la capacidad

reproductiva que tiene la tilapia de acuerdo a su peso. Las gónadas se pesaron con una balanza digital con capacidad para 200 g y con precisión de 0.1 g.

El índice gonadosomático (IGS) se calculó para cada organismo en términos porcentuales de acuerdo con la siguiente expresión (Vazzoler, 1996):

$$\text{Ec. 1.- } \text{IGS} = (\text{Pg} / \text{P}) * 100$$

Dónde: **Pg** = peso de ambas gónadas y **P** = peso del organismo.

Se calculó la relación longitud-peso por medio de la fórmula $W=aL^b$, donde *a* es el factor de condición y *b* el coeficiente de isometría, (Ricker, 1975), dado que puede ser usada para la conversión de observaciones de longitud en estimados de biomasa (Mendes *et al.*, 2004). Se determinó de acuerdo al sexo y para todos los organismos anualmente. Esta relación ayuda también para comparar el crecimiento de las especies de peces entre regiones, como un índice práctico de la condición del pez y porque los parámetros (*a*, *b*) son importantes en los estudios de evaluación del stock (De La Cruz-Agüero y Cota-Gómez, 2006).

5.8. Aspecto social.

El aprovechamiento de los ecosistemas acuáticos a través de las actividades pesqueras nace como una actividad complementaria de apoyo social a las comunidades rurales, con lo cual se pretende incrementar el consumo de proteína animal y mejorar así los niveles nutricionales de la población. Sin embargo, para hacer una administración sustentable del recurso se requiere de actividades de investigación cuyo objetivo sea la caracterización fisicoquímica y biológica del cuerpo de agua y la participación de los usuarios directos del recurso. Esto fortalecerá las actividades productivas, no solo las pesqueras, y permitirá la identificación de las diferentes alternativas de producción y el incremento de la rentabilidad económica, a través de la

mejora en la eficiencia productiva y reducir los posibles impactos ecológicos dentro de los ecosistemas acuáticos.

La incorporación de los investigadores con la asociación de pescadores consistió en asistir a las reuniones de trabajo que tienen establecidas cada mes (último domingo de cada mes) con el propósito de transferir la información obtenida de los muestreos mensuales y proponer alternativas de manejo sustentable de manera conjunta sobre el manejo de la pesquería.

Para la recopilación de información sobre los aspectos socioculturales y económicos de los integrantes de la asociación de pescadores se aplicaron 110 encuestas semi estructuradas analizándose desde la perspectiva social (edad, sexo, estado civil, tiempo dedicado a la pesca), económica (artes de pesca, kilogramos de peces capturados por día, precio de venta y actividades económicas alternativas) y de funcionamiento interno (disponibilidad para realizar acciones en beneficio de la organización, asistencia a reuniones mensuales), las cuales se aplicaron de modo aleatorio con el propósito de que cada miembro de la asociación tuviera la misma oportunidad de ser encuestado. Con los datos obtenidos se realizaron análisis estadísticos para identificar promedios, rangos e intervalos que permitieron interpretar las principales características socioeconómicas de la asociación de pescadores.

Finalmente se realizó un informe sucinto y accesible para los pescadores, acerca de la dinámica del embalse indicándoles el área que puede ser aprovechado en cuestiones pesqueras y donde se puede establecer las alternativas acuícolas (jaulas flotantes, encierros, entre otros).

5.9. Establecimiento de la alternativa acuícola.

Para la identificación de los sitios que cumplan con las características necesarias para el establecimiento de las jaulas como alternativa acuícola, se tomó como base la caracterización de los parámetros de calidad de agua, además de las condiciones del sitio considerando la profundidad, las principales corrientes de agua. Por último, las posibilidades de establecimiento, es decir, las condiciones de tipo social y aspectos legales, posibilidad de acceso y seguridad.

5.10. Análisis de la información.

Los datos obtenidos de los análisis fisicoquímicos, así como la información de la identificación y cuantificación de los organismos del plancton se sometieron a diferentes análisis exploratorios, para determinar las variables predictivas más importantes y describir la relación entre los factores bióticos y abióticos en el embalse. Previo a los análisis los valores de los parámetros fisicoquímicos fueron transformados en logaritmo, excepto el pH, utilizando la fórmula $\log(x+1)$ para reducir la influencia de datos extremos (Zimmer *et al.*, 2000). Además, considerando que un gran número de predictores, en relación con la cantidad de sitios de muestreo, puede incorporar problemas de interpretación por variables redundantes o por carecer de un buen ajuste del modelo, se incorporaron sólo algunas variables ambientales. Para determinar que variables eran las que mejor describían los sitios se aplicó un proceso de selección por medio del empleo de un análisis de componentes principales (valores >0.3 no son considerados). Además, se detectaron las relación entre las variables por medio del coeficiente de correlación de la rho de Spearman (>0.8 ; Waite *et al.*, 2012).

Se realizó una clasificación de los sitios utilizando la medida de disimilitud de Bray-Curtis y el método jerárquico aglomerativo de Ward (Romesburg, 1984). Para los cálculos se utilizó el paquete Vegan (Oksanen *et al.*, 2015) de la plataforma R (R Core Team, 2015).

Dentro del proceso de clasificación, la iniciativa es identificar el número de grupos posibles de ser interpretados con base en los descriptores utilizados y el contexto del problema analizado. Pero la selección de este número de grupos tiende a ser arbitraria, ya que constituye una de tantas hipótesis susceptibles de establecer. Con el fin de incorporar objetividad se cuenta con diversos criterios y pruebas que ayudan a establecer el número de grupos más probable. Cabe destacar que los métodos generan algunos resultados coincidentes y otros contradictorios. Para procurar el número óptimo de grupos funcionales, se aplicó el paquete Nbclust (Charrad *et al.*, 2014) del programa R (R Core Team, 2013).

También, se implementó la ordenación de los sitios de muestreo con respecto a las variables ambientales y valores del plancton. Para ello se utilizó la técnica de gradiente directo por medio del Análisis de Redundancia basado en distancias (RDA, por sus siglas en inglés; Legendre & Anderson, 1999). Este análisis fue seleccionado porque un análisis de correspondencia sin tendencia, aplicado con anterioridad, mostró cambios de especies menores a dos unidades, lo cual representa el criterio recomendado para elegir un modelo lineal sobre uno unimodal (Lepš y Šmilauer, 2003). Se utilizó la distancia de Bray-Curtis y el RDA se realizó con una matriz de correlación utilizando el paquete vegan del programa R (R Core Team, 2013). Todo el desarrollo del proyecto se muestra en la figura 4.

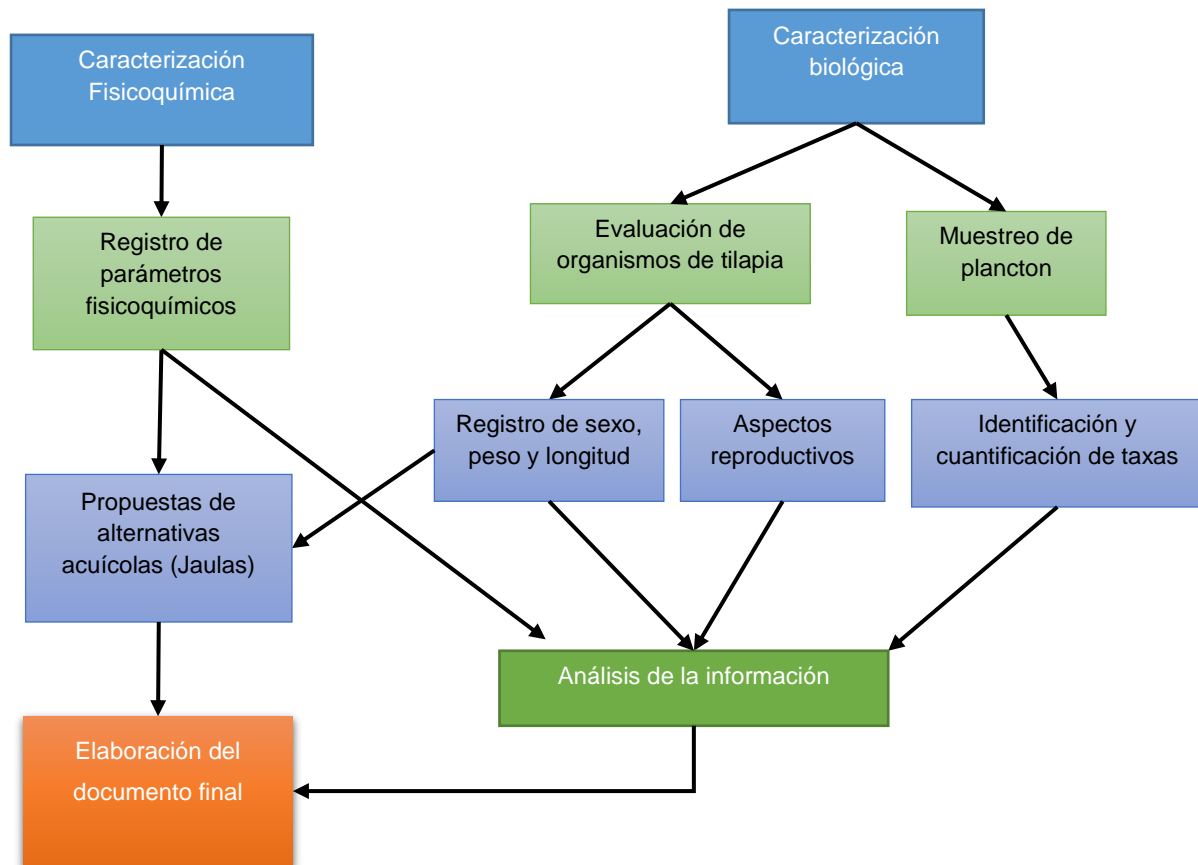


Figura 4. Diagrama de flujo sobre el desarrollo del proyecto en la presa Melchor Ocampo.

6. RESULTADOS

6.1. Parámetros fisicoquímicos del agua

En las variaciones de temperatura se registraron como mínima 16.5 °C y máxima 28 °C. Las temperaturas más elevadas se presentaron en los meses de junio a septiembre (≥ 25 °C), temporada que coincide con las precipitaciones durante el verano, de manera contraria las temperaturas bajas durante los meses de diciembre a marzo (< 20 °C). La concentración de oxígeno disuelto (OD) presentó valores de 3.83 hasta 15 ppm. Para el pH el intervalo fluctuó entre 7.4 y 11, lo que indica que el agua presenta condiciones básicas. En el caso de la conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos presentaron cantidades similares durante el periodo de muestreo con intervalos de 0.27 a 0.412 mS/cm y 0.13 a 0.222 mg/L, respectivamente. La profundidad del embalse de manera general varió desde 2 m en los sitios someros hasta 10 m en las zonas profundas, lo cual está relacionado directamente con la fluctuación del volumen del sistema. Para alcalinidad se tuvieron valores mínimos de 85 y máximos de 150 mg/L y la dureza de 9.54 a 58.58 mg/L. Por último la transparencia del disco de Secchi osciló entre 30 y 65 cm (tabla 2).

De acuerdo a las características ambientales el embalse presentó tres zonas diferentes en base a su comportamiento. Los sitios 1 y 2 presentan condiciones similares al ser los más someros y estables, además de no tener contacto directo con la entrada del río Angulo. Por el contrario, los sitios 5 y 6 cuentan con mayor profundidad, oxígeno disuelto y transparencia con respecto al resto a causa de la dinámica del agua al ser los más cercanos a la cortina. Por lo tanto, los sitio 3 y 4 se consideran como la zona de transición entre el ambiente lótico y léntico del sistema. Por último, en el sitio 7 se registraron los menores valores de oxígeno disuelto principalmente en la temporada de menor volumen, debido a la presencia de materia orgánica en descomposición, aquí se tiene la entrada del afluente principal.

Tabla 2. Registro de los parámetros fisicoquímicos de los siete sitios de muestreo de la presa Melchor Ocampo. Se presentan los valores promedios y mínimos-máximos. OD = Oxígeno Disuelto y STD = Sólidos Totales Disueltos.

| | Temperatura °C | | OD mg/l | | pH | | Conductividad (mS/cm) | | Salinidad ‰ | | STD mg/l | | Alcalinidad mg/l | | Dureza Mg/l | | Transparencia cm | |
|----------------|-------------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------------------|------|----------------|------|-------------|------|---------------------|--------|----------------|-------|---------------------|----|
| Marzo | 19.03 | | 7.66 | | 9.77 | | 0.33 | | 0.16 | | 0.21 | | 111.71 | | 44.08 | | 47.14 | |
| | 18.14 | 19.65 | 6.52 | 9.60 | 9.68 | 9.92 | 0.33 | 0.34 | 0.16 | 0.17 | 0.21 | 0.22 | 97.50 | 122.00 | 28.79 | 58.58 | 30 | 60 |
| Abril | 22.31 | | 8.46 | | 10.37 | | 0.33 | | 0.16 | | 0.21 | | 106.00 | | 55.33 | | 38.57 | |
| | 22.12 | 22.70 | 7.44 | 10.32 | 10.26 | 10.48 | 0.33 | 0.34 | 0.16 | 0.17 | 0.21 | 0.22 | 95.00 | 113.00 | 49.49 | 58.58 | 30 | 40 |
| Mayo | 23.27 | | 9.19 | | 10.54 | | 0.33 | | 0.16 | | 0.21 | | 98.29 | | 43.86 | | 34.29 | |
| | 21.46 | 24.23 | 3.83 | 11.75 | 10.20 | 10.68 | 0.33 | 0.33 | 0.16 | 0.16 | 0.21 | 0.21 | 89.00 | 105.00 | 26.26 | 57.57 | 30 | 45 |
| Junio | 26.30 | | 8.23 | | 10.31 | | 0.37 | | 0.10 | | 0.18 | | 97.57 | | 23.37 | | 39.29 | |
| | 25.50 | 27.10 | 5.26 | 12.13 | 9.72 | 10.62 | 0.36 | 0.38 | 0.10 | 0.10 | 0.15 | 0.19 | 92.00 | 104.00 | 19.19 | 29.29 | 30 | 50 |
| Julio | 24.64 | | 9.37 | | 10.24 | | 0.31 | | 0.10 | | 0.15 | | 104.86 | | 32.75 | | 38.57 | |
| | 24.00 | 26.20 | 8.10 | 12.00 | 10.17 | 10.33 | 0.30 | 0.33 | 0.10 | 0.10 | 0.15 | 0.15 | 85.00 | 115.00 | 25.76 | 40.40 | 35 | 40 |
| Agosto | 26.14 | | 10.23 | | 10.15 | | 0.31 | | 0.11 | | 0.15 | | 105.86 | | 27.35 | | 56.43 | |
| | 24.90 | 27.30 | 7.20 | 14.30 | 10.00 | 10.30 | 0.27 | 0.34 | 0.10 | 0.20 | 0.13 | 0.19 | 94.00 | 113.00 | 21.72 | 41.41 | 40 | 65 |
| Sept | 27.09 | | 11.86 | | 10.18 | | 0.36 | | 0.03 | | 0.15 | | 94.57 | | 17.03 | | 37.14 | |
| | 26.20 | 27.90 | 10.10 | 13.20 | 10.04 | 10.41 | 0.32 | 0.41 | 0.00 | 0.10 | 0.13 | 0.19 | 88.00 | 102.00 | 14.65 | 19.70 | 30 | 45 |
| Octubre | 23.67 | | 10.89 | | 9.97 | | 0.31 | | 0.19 | | 0.15 | | 139.14 | | 11.98 | | 44.29 | |
| | 22.20 | 24.20 | 6.00 | 14.50 | 9.59 | 10.14 | 0.31 | 0.32 | 0.10 | 0.20 | 0.15 | 0.16 | 132.00 | 150.00 | 9.54 | 14.84 | 30 | 50 |
| Nov | 22.54 | | 12.84 | | 8.81 | | 0.34 | | 0.16 | | 0.21 | | 130.48 | | 16.35 | | 42.86 | |
| | 23.26 | 21.28 | 9.50 | 15.00 | 8.40 | 9.11 | 0.33 | 0.34 | 0.16 | 0.17 | 0.21 | 0.22 | 123.48 | 148.96 | 14.31 | 18.02 | 35 | 50 |
| Dic | 19.44 | | 8.70 | | 8.45 | | 0.34 | | 0.17 | | 0.22 | | 130.48 | | 18.32 | | 53.57 | |
| | 19.22 | 19.84 | 4.30 | 11.80 | 8.00 | 8.70 | 0.34 | 0.34 | 0.17 | 0.17 | 0.22 | 0.22 | 122.50 | 135.24 | 14.84 | 20.67 | 40 | 60 |
| Enero | 18.68 | | 9.41 | | 8.16 | | 0.34 | | 0.17 | | 0.22 | | 135.52 | | 27.86 | | 53.57 | |
| | 17.49 | 19.76 | 6.50 | 13.70 | 7.40 | 8.62 | 0.34 | 0.35 | 0.17 | 0.17 | 0.22 | 0.22 | 132.30 | 138.18 | 24.91 | 31.27 | 40 | 60 |
| Feb | 17.02 | | 9.35 | | 8.32 | | 0.33 | | 0.17 | | 0.22 | | 128.52 | | 25.57 | | 50.00 | |
| | 16.49 | 17.32 | 6.90 | 14.50 | 7.87 | 8.88 | 0.30 | 0.35 | 0.17 | 0.17 | 0.22 | 0.22 | 107.80 | 137.20 | 23.67 | 29.68 | 40 | 60 |

Al realizar el análisis de componentes principales se encontró una varianza acumulada de 81% al tercer componente. Los parámetros que contribuyen más a la variabilidad de la información y definen a los componentes principales son la dureza (0.83), profundidad (0.77), saturación de oxígeno disuelto (0.67), temperatura (0.46), oxígeno disuelto (0.44), alcalinidad (0.43), la transparencia (0.36), la conductividad (0.31) y sólidos totales disueltos (0.27). Por su parte, el análisis de correlación muestra la relación importante entre el porcentaje de saturación de oxígeno y la concentración del oxígeno disuelto (0.86), lo que indica que ambas variables tienen un comportamiento similar. Para evitar redundancia y colinearidad, en los análisis subsecuentes no se consideró el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto. Por lo tanto, las variables ambientales que se consideraron fueron temperatura, OD, conductividad, STD, alcalinidad, dureza, transparencia y profundidad.

Al realizar el análisis de agrupamientos (Clúster), existe la formación de dos grandes grupos delimitados por la temporalidad del sistema que se relaciona al volumen de agua (figura 5). El primero durante los meses de febrero a julio (menor volumen) y el segundo de agosto a enero (mayor volumen). El primer grupo está subdividido en dos más que dependen de las variaciones de conductividad y sólidos totales disueltos respectivamente. El segundo grupo de igual manera se subdivide, definiendo un subgrupo relacionado a la profundidad y el OD y el segundo subgrupo relacionado con las variaciones de alcalinidad, transparencia, temperatura y dureza.

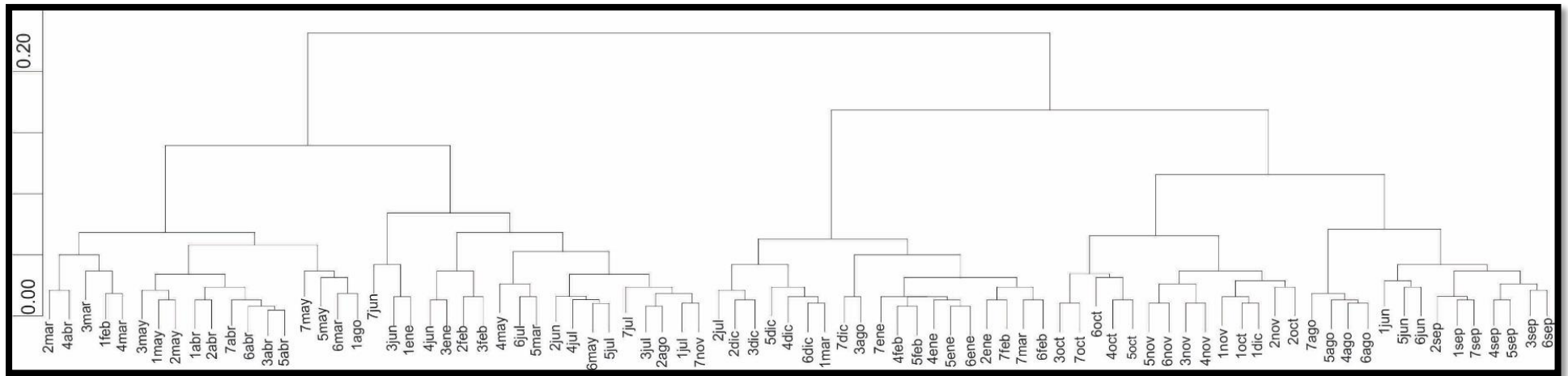


Figura 5. Análisis de cluster de los siete sitios de muestreo de acuerdo a las variables fisicoquímicas durante el ciclo anual. Primero se tiene el sitio con el número y luego las tres primeras letras del mes.

Considerando que las lluvias se presentan durante el verano, la presa comenzó a recuperar nivel a partir del mes de julio y hasta noviembre que es cuando se presenta el mayor volumen, que se reflejó a través de la profundidad. Posteriormente, a mediados de diciembre comienza a disminuir el nivel a causa de la extracción de agua para la siembra de trigo en el distrito de riego 087 Rosario-Mezquite (figura 6). Por el alto volumen extraído durante los meses de diciembre a abril y aunado con la temporada de estiaje, esto provoca que el volumen disminuya hasta que comienza a recuperarse nuevamente en el verano.

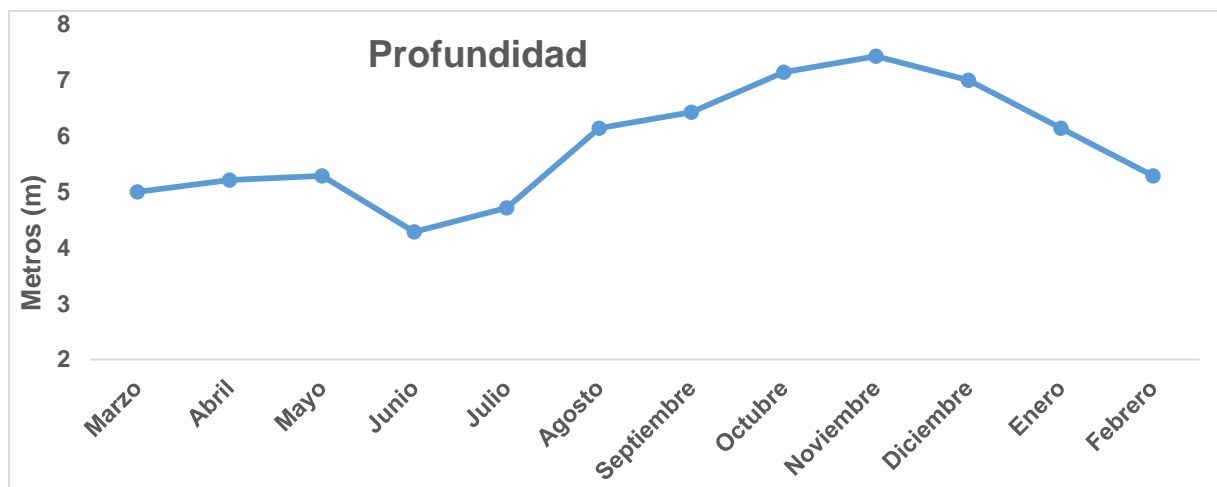


Figura 6. Comportamiento de la profundidad promedio a través del ciclo anual e identificación de las dos temporalidades en cuanto al volumen de agua

Por la influencia del volumen de agua en el sistema, se realizó el análisis clúster de manera individual en las dos temporadas identificadas (figuras 7 y 8). Aquí se presentaron algunas similitudes entre los sitios a pesar de la variación del volumen a través del año y se ratificó la división del embalse. Destacó la agrupación de los sitios 1, 2 lo que indica que las condiciones ambientales son más estables en esta zona. Por otro lado se tienden a asociar los sitios 5 y 6. En el resto de los sitios varío su acomodo por su carácter de transición (sitios 3 y 4) o la influencia del río Angulo (sitio 7) que presenta mayor o menor flujo de agua.

En el periodo de menor volumen un subgrupo está prácticamente definido por los meses de abril y mayo, que tienen una profundidad similar. El siguiente subgrupo tiene

dos divisiones, por un lado febrero y por el otro los meses de junio y julio. Estos coinciden con una tendencia a la disminución de la profundidad y en el caso de los meses de junio y julio, se tienen los menores volúmenes de la presa. Por su parte, en el periodo de mayor volumen se presentó relación directa de los grupos con los meses, debido a que el sistema se espera que sea más estable. La relación que existe del mes de agosto con diciembre y enero está dada por su similitud en valores de conductividad, dureza, transparencia y profundidad.

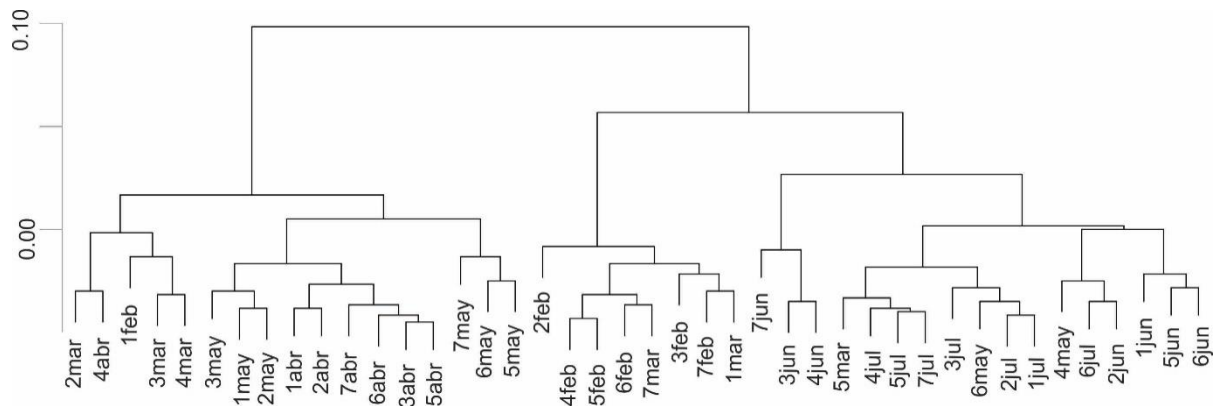


Figura 7. Análisis Clúster de los meses con menor volumen de agua (febrero a julio) y la agrupación espacio temporal relacionadas con las variables fisicoquímicas de los siete sitios de muestreo

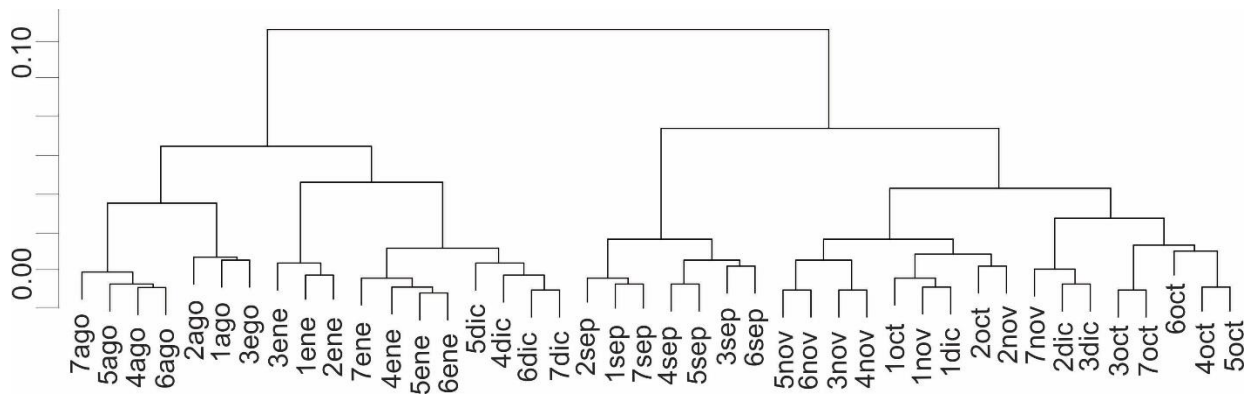


Figura 8. Análisis Clúster de los meses con mayor volumen de agua (agosto a enero) y la agrupación espacio temporal en base a las variables fisicoquímicas de los siete sitios de muestreo

6.2. Distribución y abundancia del zooplancton

6.2.1. Distribución temporal del zooplancton

La composición del zooplancton en la presa Melchor Ocampo está integrada por siete géneros, tres de ellos pertenecen al orden Cladóceras (*Bosmina*, *Diaphanosoma* and *Daphnia*) dos copépodos, un calanoideo (*Diaptomus*) y un cyclopoideo (*Thermocyclops*) y un rotífero (*Asplanchna*). En promedio, el orden de predominancia del zooplancton durante todo el año es de la siguiente manera: *Bosmina* (50.96 ind/L), *Diaptomus* (13.2 ind/L), *Asplanchna* (11.5 ind/L) y al final *Thermocyclops* (2.26 ind/L). Durante el periodo de estiaje, por efecto de la concentración, se registra mayor número de organismos en promedio en la zona léntica (151 ind/L) y la zona lítica (50 ind/L). Por el contrario, en los meses con mayor volumen, por efecto de dilución y además de que el sistema tiende a ser más estable, la distribución y abundancia es menor y similar en la zona léntica y lítica con un promedio de 40 y 37 ind/L, respectivamente.

Temporalmente, el género *Bosmina* mantuvo predominio durante los meses de enero a abril, septiembre a noviembre y sus menores valores en el verano. *Diaptomus* predomina durante julio y agosto. La población de *Asplanchna* aparece durante el periodo de mayo a noviembre, con la mayor proporción únicamente en el mes de junio con respecto al resto de los organismos. Por último *Thermocyclops* aparece durante todo el ciclo anual pero en cantidades pequeñas con excepción de mayo, donde presenta un incremento considerable de su población (figura 9).

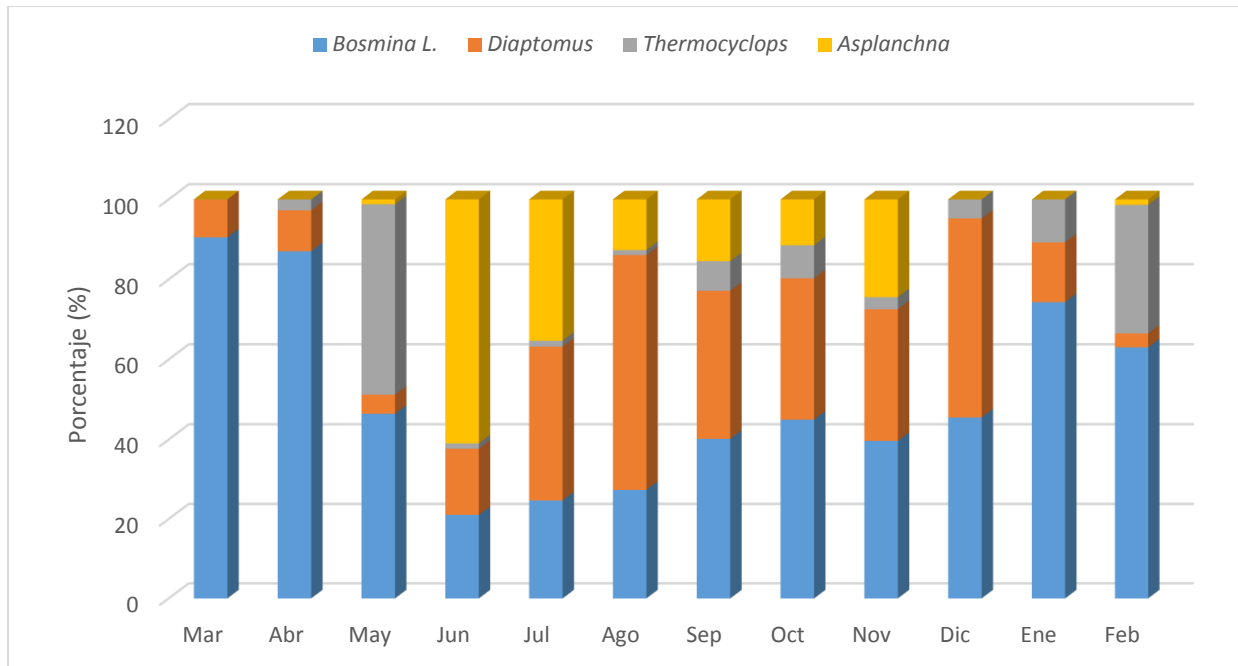


Figura 9. Abundancia relativa de las diferentes especies de zooplancton registradas durante el ciclo anual de muestreo en la presa Melchor Ocampo.

6.2.2. Distribución espacial de la comunidad de zooplancton y calidad del agua

La distribución espacial de las especies con respecto a las variables ambientales, determinó que en los sitios 1, 2, 3 y 4 (zona léntica y de transición) presenten, en promedio anual, el mayor número de individuos por litro de agua (125, 76, 87 y 91 ind/L, respectivamente). Los sitios 5, 6 y 7 (zona lótica) presentaron en promedio 35, 57 y 39 ind/L, respectivamente. Estos resultados se atribuyen a que los organismos tienen movimiento reducido, por lo que su abundancia y establecimiento está influenciado por la hidrodinámica del sistema, además de que los sitios someros y lénticos tienden a ser más productivos.

El análisis de redundancia (RDA) describe que *Asplanchna* presentó una relación positiva con la temperatura, principalmente con los valores máximos durante el verano (junio y julio) en los sitios 1, 4 y 7 y relación negativa con los sólidos totales disueltos. *Bosmina* está relacionada positivamente con la dureza durante la primavera (marzo y abril) en el sitio 6. También se relaciona con la transparencia y en menor grado con la

temperatura (figura 10). *Diaptomus* se localiza en el centro de la gráfica, lo que significa que no están muy relacionados con alguna variable en específico. En el caso la población de *Thermocyclops* está directamente relacionada con la profundidad y con la dureza en los meses de febrero y mayo en ambos extremos de la presa (figura 10).

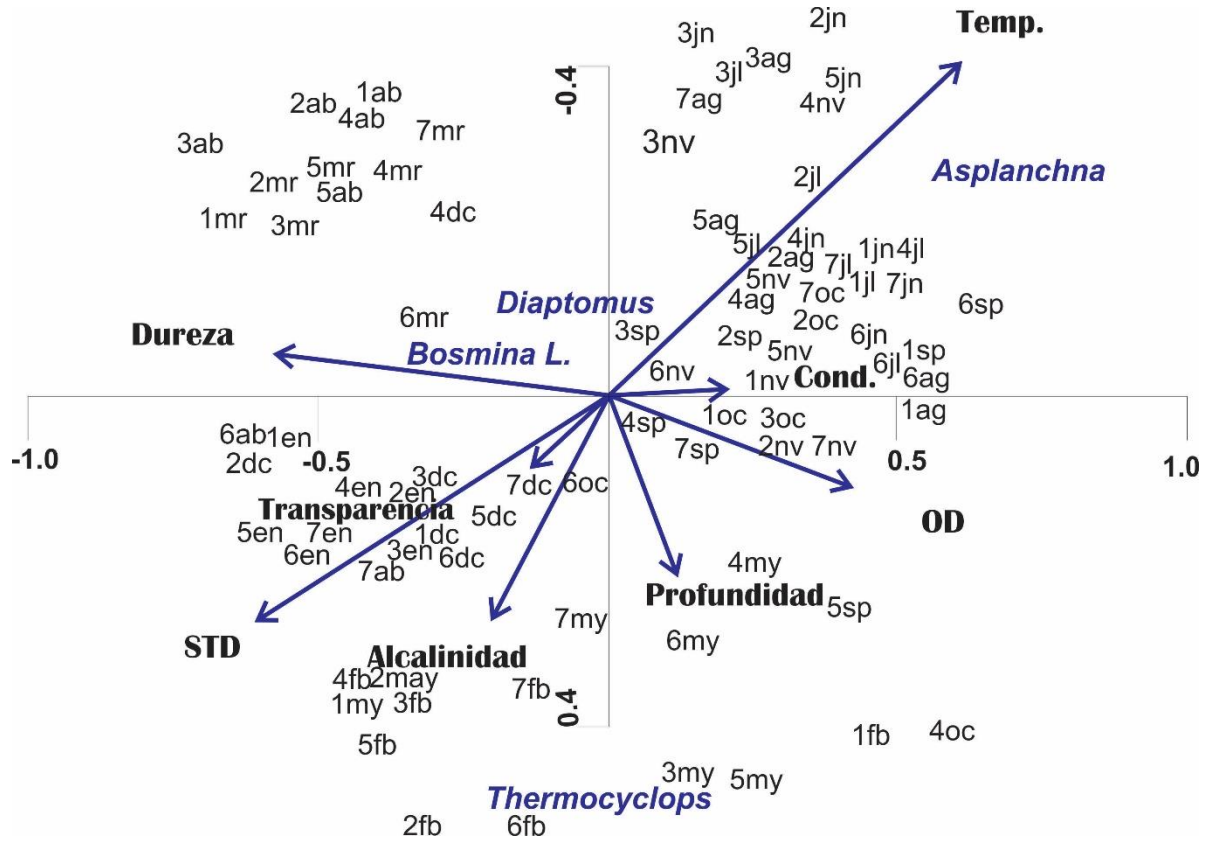


Figura 10. Análisis de redundancia de los siete sitios de muestreo en los diferentes meses de acuerdo a las variables fisicoquímicas y los organismos del plancton.

6.3. Evaluación biológica de los peces

Se obtuvieron 741 organismos de tilapia (*Oreochromis aureus*) de la captura comercial durante el ciclo de muestreo, incluyendo 57 % de machos y 43 % hembras, lo que corresponde a una proporción anual de 1.32 machos por cada hembra. La diferencia de proporciones se presenta debido a que durante los meses de junio a septiembre, alrededor del 90% de los organismos muestreados fueron machos, durante el resto de los meses existe una tendencia a mantener una proporción semejante.

En la figura 11 se muestra la distribución del peso promedio mensual, donde se observa que durante los primeros meses de muestreo (marzo y abril) los registros permanecieron por debajo de los 140 g. Esta no es la talla comercial de los organismos, y si se comercializan es a precios muy bajos. Por otro lado, biológicamente no son organismos sexualmente maduros y no han tenido su primera reproducción, lo cual muestra una sobreexplotación del recurso sin dar oportunidad a que desarrollen nuevas generaciones a través de la reproducción.

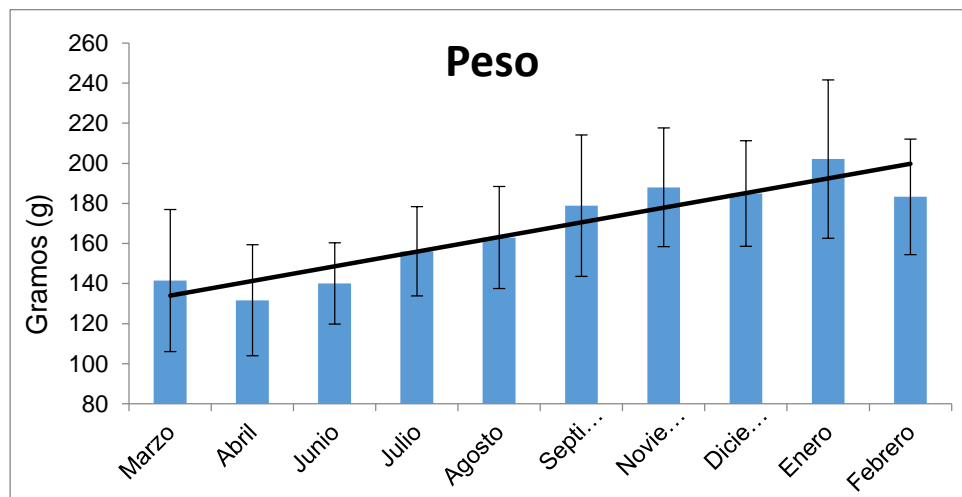


Figura 11. Distribución de promedios del peso de tilapia *O. aureus* capturadas durante un ciclo anual.

A causa del cambio en la abertura de malla de (2 $\frac{3}{4}$ a 3 $\frac{1}{4}$), durante el mes de mayo no se presentó actividad pesquera en este periodo y se reanudó nuevamente en junio. A partir de entonces aumentaron de manera constante los promedios mensuales del peso, hasta llegar por encima de los 200 gramos.

La longitud total está relacionada con el peso, y de manera coincidente la longitud menor fue registrada en los meses de marzo abril e incluso junio, con promedios entre 19 y 20 cm. Posteriormente, se detectó un incremento constante hasta llegar a un promedio de 22 cm de longitud (Fig. 12). En la relación longitud peso las constantes de la regresión a y b (el factor de condición y el coeficiente de isometría, respectivamente) fueron relativamente mayores para machos (9.83) que los que se obtuvieron en las hembras (8.69), y el coeficiente de determinación (r^2) resultó con un valor general de 0.817, para las hembras 0.845 y para los machos 0.697. (Figura 13).

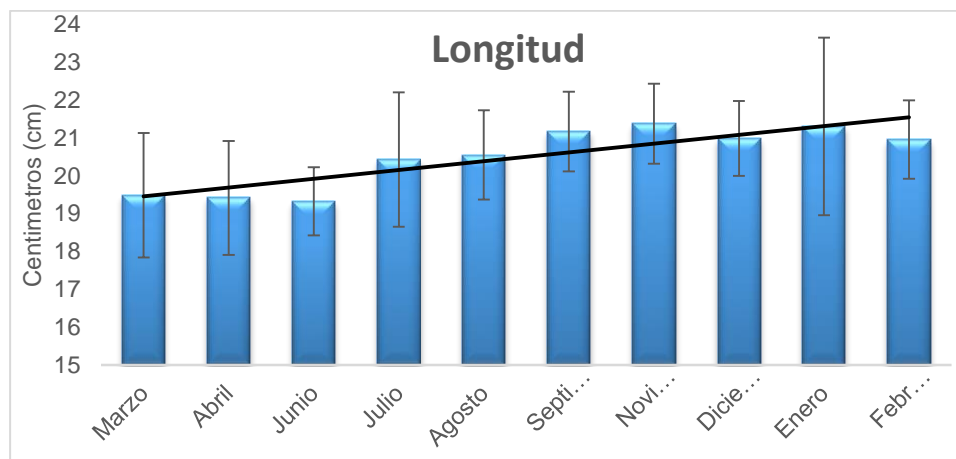


Figura 12. Registro de longitud total promedio de tilapia *O. aureus* de la captura durante un ciclo anual.

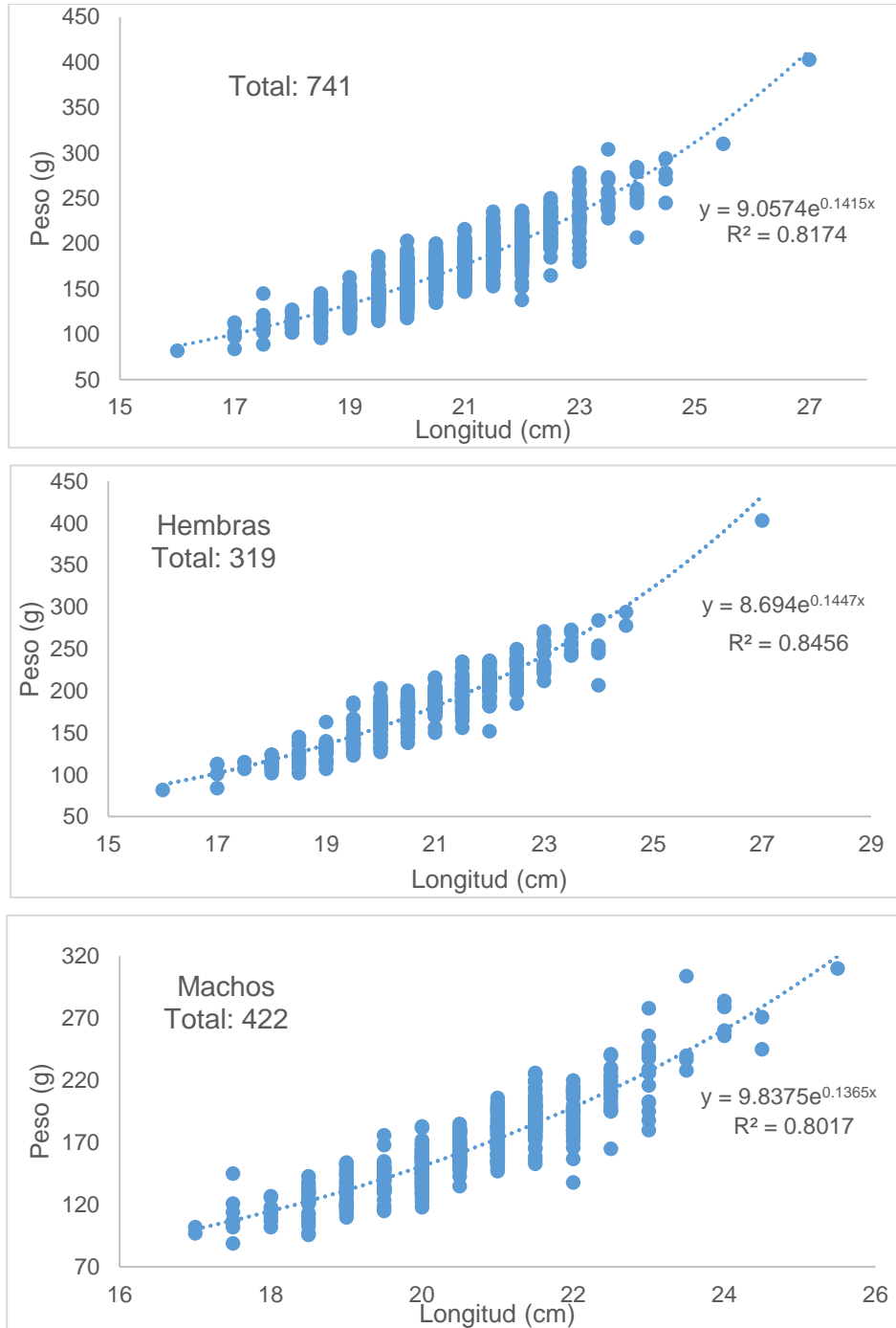


Figura 13. Relación entre el peso y longitud de los organismos muestreados, con coeficiente de determinación.

La evaluación de estadio de maduración gonádica de los organismos se registró tanto en hembras como en machos, tomándolo como indicador del grado de maduración

sexual y para identificar los periodos de reproducción. Se identificó un pico máximo de reproducción durante los meses de junio y julio, periodo en el cual el 83 % de las hebras muestreadas presentaron maduración gonádica V. Posteriormente, se presenta un incremento en la aparición de estadios III y IV lo que indica que las hembras comienzan a madurar nuevamente para volver a reproducirse en noviembre, ya que las condiciones de temperatura, alimento y espacio continúan siendo favorables hasta el mes de octubre (figura 14). Sin embargo, la calidad y viabilidad de cada reproducción dependerá del peso de la hembra y de la cantidad de alimento disponible para los alevines.

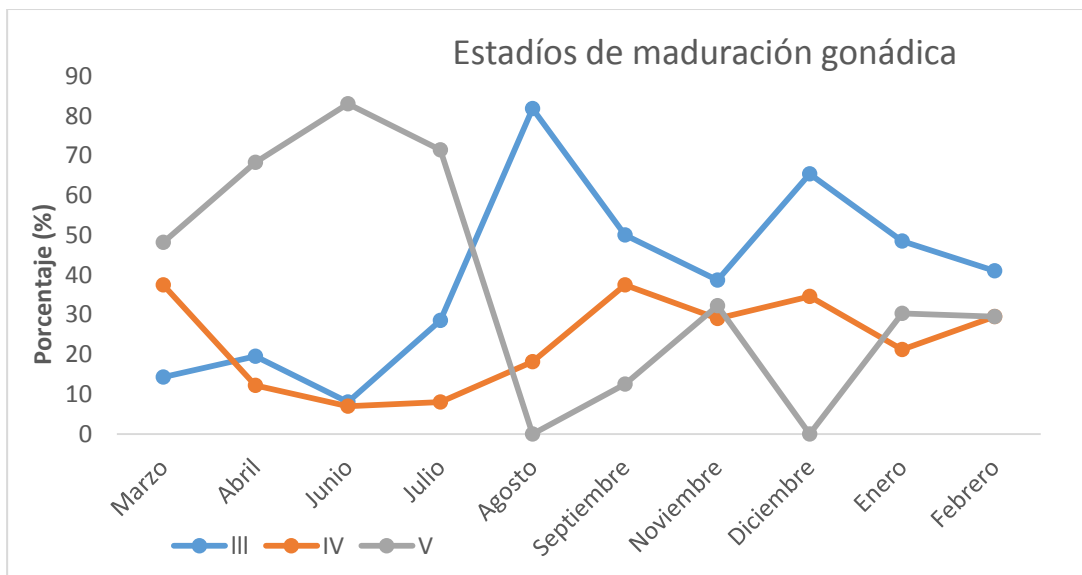


Figura 14. Frecuencia de registro de los estadios de maduración gonádica III, IV y V. durante el ciclo de muestreo

Se obtuvieron hembras maduras desde los 82 gramos con 398 óvulos como mínimo, en comparación con hembras de pesos de 248 gramos con 1,940 óvulos. Se presentó una relación positiva entre el peso y el número de óvulos, aunque el coeficiente de determinación fue bajo (0.17; figura 15).

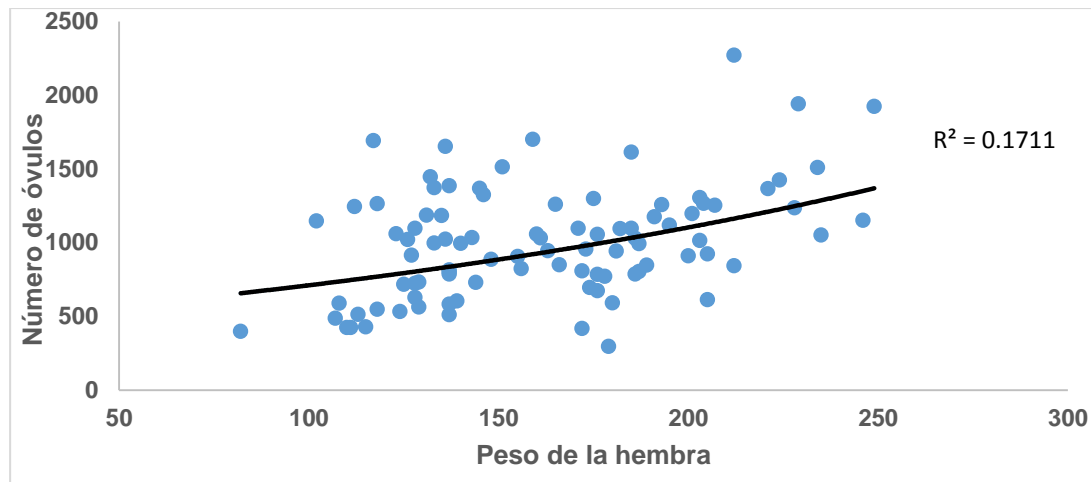


Figura 15. Relación entre el peso de las hembras y la capacidad de producción de óvulos.

Al analizar el comportamiento del Índice gonadosomático (IDG) se observan valores bajos en los meses durante los cuales se registraron las temperaturas menores, periodo en el cual las hembras presentaron un IDG de 0.62 ± 0.58 , en el caso de los machos fue de 0.38 ± 0.3 , posteriormente se observó un incremento en la maduración hasta registrar los valores más altos de mayo a julio con 1.7 ± 0.4 y 0.55 ± 0.4 para hembras y machos respectivamente, lo que indica que en estos últimos meses se presentó un periodo de reproducción importante para esta especie.

6.4. Identificación de sitios para alternativas acuícolas

La alternativa acuícola con mayor viabilidad aplicable en la presa son las jaulas flotantes, con la finalidad de tener otro aprovechamiento del ecosistema aparte de la actividad pesquera. Además de que su implementación, establecimiento y mantenimiento es sencillo y no requiere de una alta inversión, aunque el costo de producción dependerá del tamaño y grado de tecnificación que se quiera trabajar.

En cuanto a las variables ambientales, se consideró a la temperatura (patrones de estratificación vertical y horizontal), oxígeno disuelto y grado de contaminación. Para las condiciones del sitio, se incluyó a la profundidad, flujo de agua y principales corrientes y condiciones climáticas extremas como tormentas y oleaje. En lo referente a las posibilidades de establecimiento se determinaron las condiciones de tipo social

y legal, es decir acceso, seguridad, conflictos con actividades pesqueras y de recreación.

Se identifica una zona que presenta las condiciones medioambientales adecuadas para implementar dichas alternativas, zona que se muestra en la figura 16.

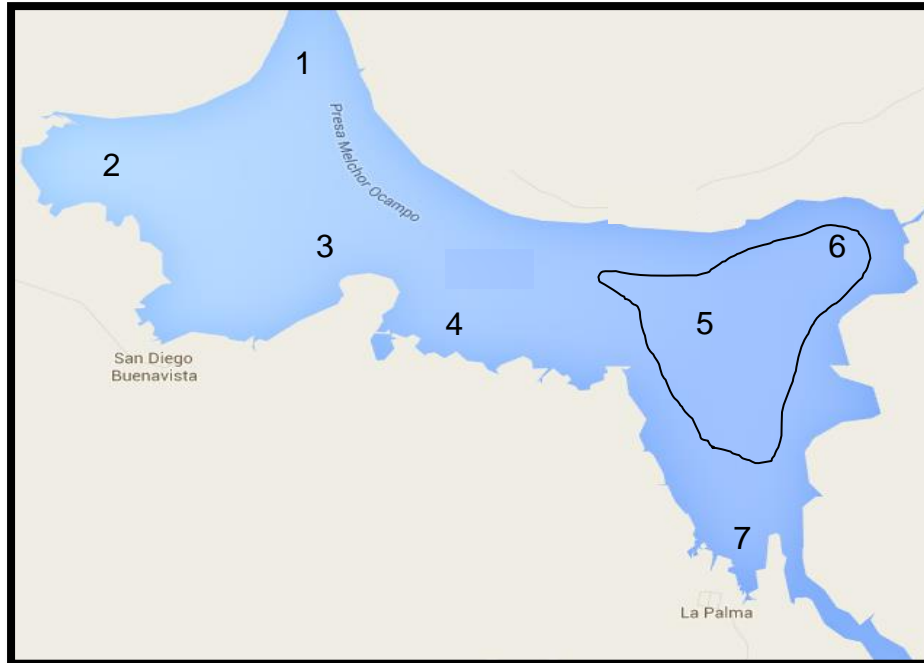


Figura 16. Delimitación de la zona propicia para el establecimiento de alternativas acuícolas (jaulas).

Dos de las variables de mayor importancia para mantener organismos en cautiverio y que estos mantengan un desarrollo óptimo son la temperatura y el oxígeno disuelto. Sin embargo, se debe considerar la profundidad como un tercer factor para que la jaula no este muy cerca del fondo. En la figura 17 se muestran los perfiles de profundidad en los diferentes sitios de ambas variables, en uno de los meses con menor volumen de agua, debido que durante este periodo el sistema presenta mayor susceptibilidad a las variaciones medioambientales.

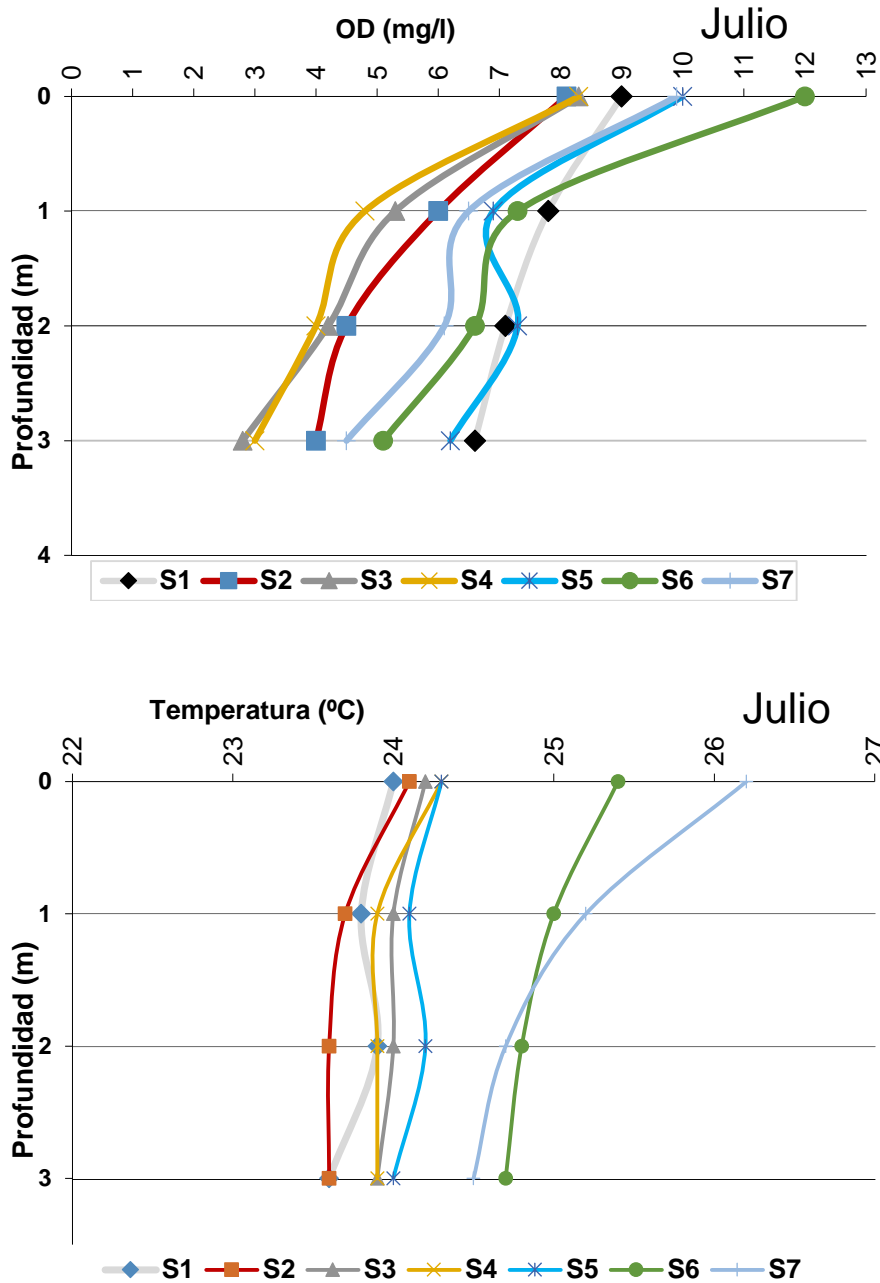


Figura 17. Variación del oxígeno disuelto la temperatura a través de la columna de agua durante el mes de julio. Hasta una profundidad de tres metros

Se puede observar que la concentración de oxígeno disuelto disminuye en función de la profundidad, además específicamente el sitio 7 es el unico que a tres metros presenta condiciones anoxicas. Por su parte, las zonas de los sitios 1, 2, 3 y 4 a pesar

que la concentración mantiene niveles superiores a 4 mg/l, la profundidad es el factor limitante ya que presentan profundidades menores a tres metros durante el mes de junio, aspecto que impide mantener las jaulas establecidas de manera constante. Por otro lado la temperatura se mantiene a traves de todo el sistema y en promedio disminuye dos unidades a tres metros de profundidad. Este cambio sobre los organismos dependera de la temperatura superficial, ya que si la temperatura superficial esta a 20 °C o por debajo, el metabolismo de la tilapa se vera seriamente afectado reflejandose en el crecimiento.

Con base en lo anterior, los sitios 5 y 6 representan una zona adecuada ya que es la parte mas profunda del sistema, al registrar intervalos de profundidad de 5 a 9 m y 4 a 8 m, respectivamente. La influencia de la entrada del río Angulo se refleja en las concentraciones elevadas de oxígeno entre estos sitios, ya que con el movimiento por el alto volumen y la presencia de varias cascadas se oxigena el agua. En las figura 18 se indican los valores de temperatura y OD a una profundidad de tres metros, medida usual para la profundidad de las jaulas. Esto, considerando que la tilapia requiere de una concentración de oxigeno por encima de 4 mg/l y valores de temperaturas cercanos a 27 °C, sin embargo el crecimiento y desarrollo disminuye conforme la temperatura baja.

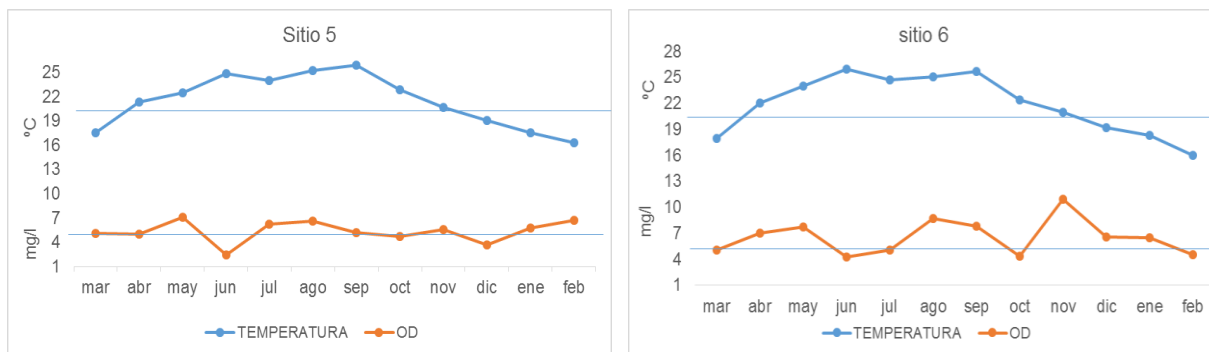


Figura 18. Variaciones de la temperatura y el oxígeno a tres metros de profundidad en los sitio 5 y 6 durante el ciclo anual.

Con respecto a la temperatura, podemos decir que durante los meses de abril a noviembre es el periodo que se debe aprovechar para la producción de los organismos y la velocidad de crecimiento dependera de la cantidad del suministro de alimento. La cosecha se realizaría durante noviembre o máximo diciembre y posteriormente durante los meses de enero a marzo servirían para dar mantenimiento y acondicionar las jaulas

y comenzar nuevamente el ciclo en el mes de abril. De acuerdo con los registros de OD únicamente se deberían tomar medidas precautorias tales como provocar movimientos del agua alrededor de la jaula o considerar la opción de disminuir la densidad de población para evitar que los organismos se estresen o lleguen a morir durante los meses de junio y octubre que es cuando se registran las menores concentraciones de oxígeno disuelto.

Específicamente para el sitio 7, (área donde se descargan las aguas residuales de la comunidad de La Palma) provoca el aumento de la materia orgánica y por ende la actividad microbiana, aspecto que se refleja en una distribución anormal de la concentración de oxígeno en los diferentes meses y a través de la columna de agua, donde a tres metros de profundidad o más ya existen condiciones de anoxia que provocaría la muerte de los peces si se mantuvieran en cautiverio cerca de este sitio (figura 19).

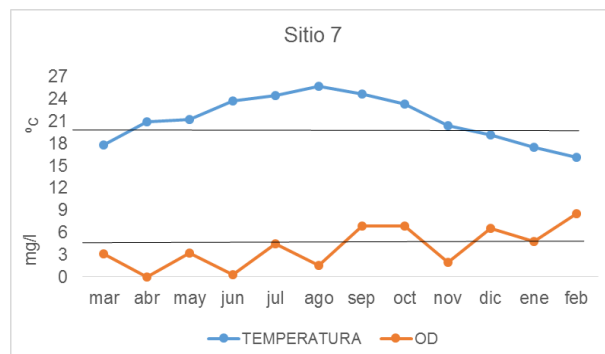


Figura 19. Variaciones de la temperatura y del oxígeno a tres metros de profundidad en el sitio sitio 7 (comportamiento anormal por concentración de materia orgánica y bacterias aerobias).

7. DISCUSIÓN

7.1. Variables ambientales

La dinámica térmica de la presa Melchor Ocampo permite definir al embalse, según Wetzel (1975), como un lago tropical (la temperatura del agua superficial siempre está por arriba de los 4°C). Se considera un sistema poco profundo de acuerdo a la clasificación de Roldán-Pérez & Ramírez-Restrepo (2008). Al no presentar una estratificación térmica general estable, debido a su poca profundidad lo que facilita la mezcla generada por los vientos y corrientes internas por el ingreso de agua del río Angulo, se define como un lago polimíctico cálido (Hutchinson, 1975; Payne, 1986). Esta categoría incluye las Ciénegas y lagunas tropicales, como el lago George en Uganda y la laguna Chingaza en Colombia, los cuales se mezclan en las lluvias por enfriamiento atmosférico y la temperatura de los afluentes (Roldán-Pérez & Ramírez-Restrepo, 2008).

En los sitios 5 y 6 se presenta una termoclina a un metro de profundidad en ciertas temporadas. Esto es a consecuencia de la mayor profundidad y la incidencia de luz solar, que incrementa la temperatura superficial del agua y su influencia disminuye conforme se dirige al fondo. La entrada del río Angulo provoca una zonificación en base a la dinámica del agua (Merayo & González, 2010), donde la zona más cercana se considera zona fluvial (sitios 5, 6 y 7), contrario a la zona lacustre por la reducción gradual de la corriente (sitios 1 y 2). Por lo tanto, los sitios 3 y 4 se pueden considerar zona de transición entre ambas. Específicamente el sitio 7 presenta condiciones diferentes al encontrarse en una pequeña bahía.

Se observó que no existen condiciones anóxicas a través de la columna de agua en la mayoría de los meses, con excepción del pico de estiaje. Esto nos indica que el sistema tiene poca concentración de materia orgánica, que principalmente provienen de actividades antropogénicas, y su tiempo de retención de agua es corto lo que permite la eliminación de elementos (Anderson *et al.*, 2002). La excepción es el sitio 7 donde se presentaron condiciones de anoxia relacionadas a la entrada de aguas

residuales sin previo tratamiento del poblado de La Palma. Como mencionan Hyman *et al.*, (2012) cuando ingresan materiales demandantes de oxígeno para su degradación mediante procesos aerobios, se consume una gran cantidad de oxígeno disuelto. Otros ejemplos de condiciones de anoxia en sitios específicos, a consecuencia de aguas negras, se reportan en la laguna Tres Palos, Guerrero (De la Lanza Espino *et al.*, 2008).

La presa presenta valores de pH que cambian con el tiempo, siendo mayores de abril a septiembre, lo que lo acerca a la clasificación de sistemas alcalinos (pH de 9 a 12; Boros, 2003) y cerca de la neutralidad en el resto del año. Los altos valores de pH se deben tener en consideración, porque pueden indicar cierta alteración del sistema y afectan diferentes características que pueden estar relacionadas con la productividad de los embalses (Álvarez-Cadena *et al.*, 1984). Con un pH alto la disolución de fosfato de hierro disminuye mientras que provoca mayor concentración de carbonatos y bicarbonatos en el agua (Kara *et al.*, 2004). Sin embargo, es habitual que se ocupen también ciertas interacciones con otras variables para que se identifique una tendencia clara en el sistema: por ejemplo, en el papel regulador del fósforo, además de valores altos de pH se deben tener concentraciones bajas de oxígeno disuelto (Álvarez-Cadena *et al.*, 1984). Los datos registrados de dureza indican que se trata de un sistema con aguas blandas en base a la clasificación de Vallentine (1978), variable estrechamente relacionada con la baja alcalinidad (Molina & Castro, 2015). Cuando se presentan dichas condiciones indica que la capacidad para neutralizar ácidos es deficiente (Lawson, 2011), lo que ocasiona la poca disponibilidad de calcio y magnesio en el agua, que son elementos necesarios para el desarrollo de la productividad primaria (Bistoni *et al.*, 1999, Ramírez-Moreno *et al.*, 2008).

La transparencia se relaciona directamente con la incidencia de luz que penetra la columna de agua, aspecto que tiene que ver con diferentes aspectos como la cantidad de productores primarios, sólidos y nutrientes orgánicos e inorgánicos que se encuentran en la columna de agua (Quiroz-Castelan, 2010, García-Rodríguez *et al.*, 2013). Los valores mínimos de transparencia se registran durante el periodo de estiaje y en relación al aumento del volumen por las lluvias se incrementó la transparencia por efecto de la dilución (Elías-Fernández *et al.*, 2006). La turbidez aumenta cuando el

volumen es menor debido a la concentración de los compuestos, posiblemente relacionados a la resuspensión de sedimentos por la acción del viento que mezcla toda la columna de agua, tal como se reporta en el lago de Chapala en temporada de estiaje (Rodríguez *et al.*, 2010).

A pesar de no haber evaluado todas las variables ambientales necesarias para determinar el estado trófico del sistema, se complementan los resultados del presente estudio con la información obtenida por Medina-Ávila (2012), para dar una aproximación. A partir del índice de estado trófico establecido por Carlson (1977), Vázquez *et al.* (2004) en lagos de Los Tuxtlas, identifican que una baja transparencia (20 cm), que está directamente relacionada con la concentración de clorofila (150 mg/L) y un alto valor de fósforo (0.9 mg/L), son parte de los atributos para un sistema que se considera eutrófico. En la presa Melchor Ocampo, Medina-Ávila (2012) identificó una transparencia de 56 cm, con una concentración promedio de clorofila de 9.2 mg/L y de fósforo de 0.244 mg/L durante el año 2011, en el presente estudio identificamos un rango de 30 a 70 cm de transparencia. Con base en estos atributos se puede decir que la presa se clasifica como un sistema mesotrófico.

De manera adicional, los valores registrados de la dureza durante el ciclo de muestreo (12 a 55 mg/L), son bajos si los comparamos con lo que establece Wu (1991), donde los sistemas con valores de 150 a 300 mg/L son consideradas aguas muy productivas. Además, los altos valores de pH (9.59 a 10.68) pueden estar limitando el desarrollo de la productividad primaria durante los meses de marzo a octubre, considerando que Quiroz-Castelan, (2010) establece que un pH entre 7 y 8 es el rango óptimo para favorecer la productividad primaria. Así, mientras más estable permanezca el pH, mejores condiciones se propiciarán para la productividad natural misma que constituye una fuente importante de alimento directo para los organismos de zooplancton (Kara *et al.*, 2004).

7.2. Zooplancton

La composición de las especies de zooplancton está determinada por la concentración de nutrientes, disponibilidad y calidad del alimento (fitoplancton), las condiciones del

hábitat y las variaciones medioambientales (De Infante, 1988; Conde-Porcuna *et al.*, 2002; 2004). El promedio anual de organismos de zooplancton registrado fue de 77 ind/L, cantidad que es representativa de ambientes acuáticos oligotróficos de acuerdo con González *et al.* (2002) y Sendacz *et al.* (2006) en estudios comparativos entre sistemas con diferente estado trófico. Sin embargo, en dichos estudios se utilizó una abertura de malla menor durante el muestreo (60 μm), lo que les permitió coleccionar un mayor número de especies de menor tamaño y más individuos por litro.

De acuerdo con González (2002) y Villabona-González *et al.* (2014) reportan que los rotíferos se desarrollan en aguas con abundante materia orgánica, y junto con los copépodos ciclopoideos dominan en los cuerpos de agua con características eutróficas. La presa Melchor Ocampo, dada la menor concentración de nutrientes, la poca presencia de copépodos ciclopoideos y la mínima o ausente población de rotíferos durante los periodos de marzo a mayo y diciembre a febrero, se pudiera diferenciar de un sistema eutrófico. Pero también se diferencia de uno oligotrófico por la presencia de estas especies, su distribución y abundancia, por lo que se puede inferir que más bien es mesotrófico.

Por su parte, el aumento de la población de rotíferos durante el verano se atribuye principalmente al incremento de temperatura y la incorporación de materia orgánica, a través de las escorrentías que arrastran nutrientes y otros compuestos desde las zonas agrícolas y ganaderas, además de las entradas del río. Francis *et al.* (2010), encuentran que la materia orgánica contenida en el agua representa del 40 al 80 % de la dieta de estos organismos. Otra fuente, es a través de abonos orgánicos que se están aplicando al sistema de manera intencional para incrementar su productividad. Esta actividad se realiza de manera constante al ser colocados en la entrada del río, costales de 50 kilos con estiércol de vaca y cerdo que se mantienen cerrados y sumergidos en el agua para que se tenga una liberación paulatina de la materia orgánica. Así, con la aplicación del estiércol se activa la cadena trófica, ya que contiene alto contenido de carbono-nitrógeno disponible para el fitoplancton que es alimento directo de los organismos del zooplancton (Treece, 2000).

Al determinar la interrelación que existe entre el zooplancton y los parámetros de calidad del agua se encontró que *Asplanchna* está directamente correlacionado con la temperatura figura 19, coincidiendo con lo que menciona Havens & Beaver (2011) que los rotíferos predominan sobre el resto de las especies en cuerpos de agua con condiciones tropicales y subtropicales. El género *Asplanchna* es uno de los rotíferos más comunes, presenta una amplia distribución en sistemas lénticos templados y tropicales (Chapman & Fernando, 1994) se presenta frecuentemente en condiciones con baja concentración de materia orgánica, alta transparencia y poca dinámica del agua (Arellano-Torres et al., 2013). Su importante incremento poblacional en junio y julio se puede relacionar con las estrategias que los rotíferos tienen para colonizar rápidamente los sistemas: reproducción partenogenética, ciclo de vida corto y tamaño pequeño (Merayo & González 2010; Perera, 2015).

En este estudio la abundancia de *Bosmina*, a diferencia de *Asplanchna*, presentó un comportamiento diferente con la temperatura, su población aumentó en los meses fríos. Estos resultados son similares a lo que reporta García *et al.* (2002) en Valle de Bravo, México, donde no existe relación positiva entre la densidad de los rotíferos y la abundancia de cladóceros, específicamente *Bosmina*, aspecto que lo atribuyen a la temperatura y la disponibilidad de alimento (figura 20).

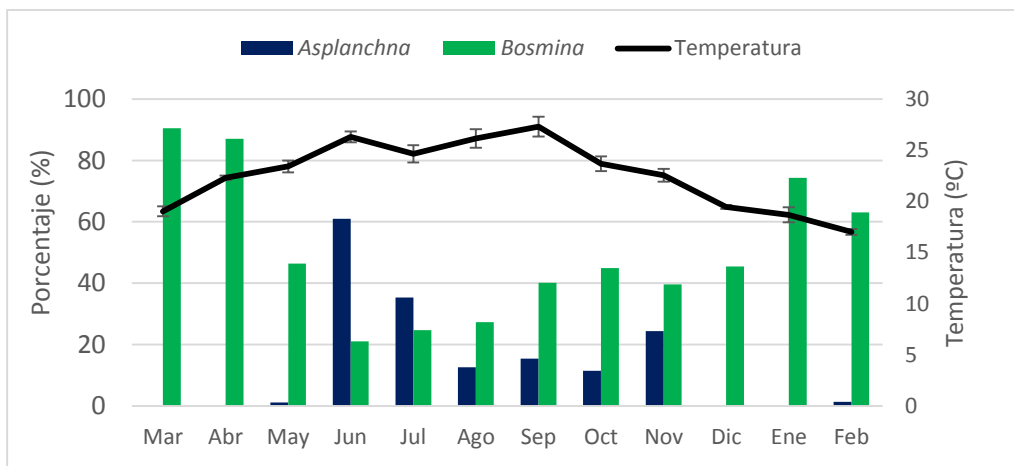


Figura 20. Relación entre la temperatura y los organismos de zooplancton (*Asplanchna* y *Bosmina*)

La relación de los sólidos totales disueltos con organismos de zooplancton se muestra en la figura 21, donde se refleja que los STD se diluyen por el incremento del volumen de agua y por lo tanto su concentración baja. Dejen *et al.* (2004) encontraron que la abundancia de los taxones de zooplancton presenta una relación negativa (pero no con el mismo grado) con respecto a la turbidez, provocada principalmente por los sólidos totales disueltos, en lagos tropicales. Lo que coincide con el incremento de la población *Asplanchna* cuando la concentración de sólidos totales disueltos disminuye.

Además de que algunas especies de rotífera entre los que se encuentra *Asplanchna* son organismos oportunistas que son capaces de aumentar su abundancia en poco tiempo cuando las condiciones son favorables (Merayo & González 2010; Perera, 2015). Por su parte la abundancia de cladóceros como *Bosmina*, es afectada cuando disminuye la concentración de sólidos disueltos, ya que los elementos en suspensión como el fitoplancton son importantes para el desarrollo de estas especies (Dejen *et al.*, 2004). Sin embargo, existen otros factores que pueden afectar como son las lluvias, la conductividad eléctrica e incluso la depredación por organismos zooplantófagos (Hulyal & Kaliwal, 2008).

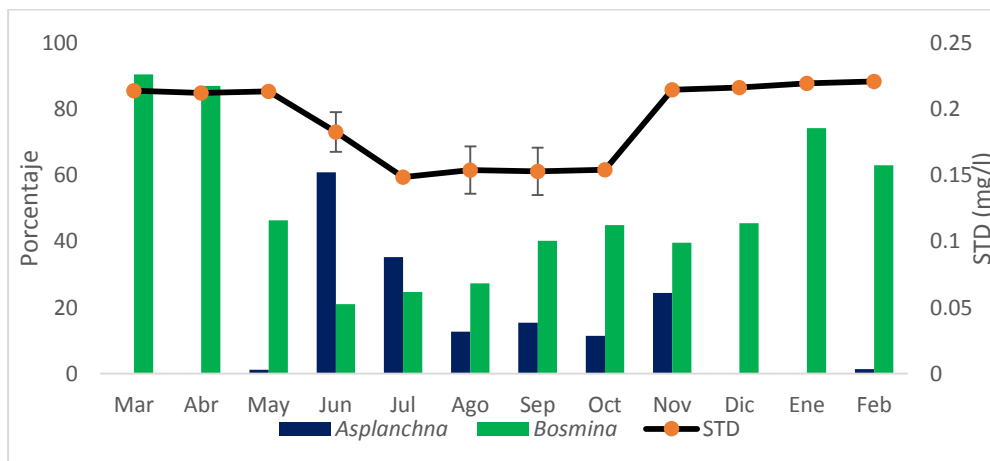


Figura 21. Relación entre los sólidos totales disueltos (STD) y la presencia de *Asplanchna* y *Bosmina*

En el caso de la distribución y abundancia de los Copépodos se registró la mayor abundancia durante el verano influenciados principalmente por la temperatura, su

diversidad se limitó a dos géneros (*Diaptomus* y *Thermocyclops*). Para el caso de la distribución de *Diaptomus* se limita por la disponibilidad de alimento y la depredación de los peces como lo reporta Havens (2002). Por su parte *Thermocyclops* es común encontrarlo en diferentes sistemas acuáticos subtropicales (Arcifa, 1984) y su presencia está relacionada a ecosistemas perturbados con alta concentración de nutrientes (Arellano-Torres *et al.*, 2013), este género se presentó con baja frecuencia y valores mínimos en comparación con el resto de los organismos y se relaciona con los sitios más profundos (Torres-Orozco & Zanatta, 2015).

7.3 Evaluación biológica de los peces

Oreochromis aureus es una especie que tolera un intervalo muy amplio de temperaturas, pero para que su crecimiento, desarrollo y reproducción se realicen de manera adecuada requiere valores de 22 a 30 °C (Azaza *et al.*, 2008). A temperaturas de 20 °C o menos su crecimiento y desarrollo se detienen y no sobrevive en temperaturas de 10 °C (Atwood *et al.*, 2003). Temperaturas menores a 20 °C fueron registradas durante los meses de diciembre a marzo, lo que se espera puede influir directamente en el crecimiento de los organismos y además de propiciar una menor disponibilidad de alimento, porque organismos autótrofos también dependen de la temperatura para desarrollarse (Abucay *et al.*, 1999).

La reproducción es influenciada por diferentes factores tales como disponibilidad y calidad de alimento, fotoperiodo, temperatura, así como la profundidad del agua (Campos-Mendoza *et al.*, 2004; Abdelhamid *et al.*, 2010). Se identifica una reproducción de la especie durante los meses de junio y julio, después se mantiene la maduración hasta el mes de octubre. Esto se da ya que la maduración de los óvulos es asincrónica por grupos, es decir, que presenta diferentes estadios de desarrollo de sus óvulos dentro de la misma gónada (Palacios, 1995). En este periodo de junio a octubre las temperaturas superan los 23 °C, uno de los aspectos clave que determina que las hembras completen su ciclo de maduración sexual. Resultados similares se tienen para la especie en la presa de Aguamilpa, Nayarit, donde, si bien no coinciden

los meses, se tiene una temperatura de al menos 24.62 °C (Peña-Messina *et al.*, 2010). Una vez que la hembra haya madurado continuará reproduciéndose periódicamente mientras existan las condiciones idóneas (Peña-Mendoza *et al.*, 2011).

El mayor porcentaje de machos de *O. aureus* se ha reportado por diferentes autores (Gómez-Márquez *et al.*, 2003; Peña-Mendoza *et al.*, 2005). Esto se atribuye a que durante la reproducción la hembra se encarga del cuidado parental (Coward & Bromage, 2000), razón por la cual durante el periodo de reproducción identificado en los meses de junio y julio las muestras fueron de 100 y 94 % de machos respectivamente, y posteriormente durante agosto y septiembre 93 y 84 %.

Estas proporciones ayudan a corroborar que en este periodo la reproducción es continua. Por el comportamiento de los machos, los cuales permanecen cuidando el nido que normalmente se localizan en zonas someras esperando otras hembras para fertilizar los óvulos, es que se vuelven más vulnerables a la pesca (Gómez-Márquez *et al.*, 2003). A diferencia de los machos, una vez terminada la fertilización de los óvulos las hembras incuban los huevos en la boca y buscan lugares seguros donde incubar y proteger la descendencia tal como lo reporta Ramos-Cruz (1993) y Peña-Mendoza *et al.* (2011). Otro factor que determina la susceptibilidad de los machos es que presentan una mayor velocidad de crecimiento con respecto a las hembras debido a que durante el periodo de incubación las hembras comen poco o no come nada (Peña-Mendoza *et al.*, 2011).

Jiménez (1998) reporta un rango de 625 a 1,983 óvulos maduros en hembras de *O. aureus* entre 13.9 a 28 cm en la presa Adolfo López Mateos, Michoacán. Así como Peña-Messina *et al.* (2010) en el embalse de Aguamilpa, Nayarit, encontró hembras de 22.7 a 29 cm de longitud estándar con 118 a 5,753 óvulos maduros, respectivamente. Comparado con lo que encontramos en la presa Melchor Ocampo donde hembras de 16 cm de longitud total tienen 398 óvulos maduros, mientras que la de 25 cm tuvieron 1,940 óvulos maduros.

Por ello se considera que el comportamiento reproductivo de la tilapia *O. aureus* es similar en estos cuerpos de agua. Además, se corrobora la tendencia que establece Gómez-Márquez *et al.* (2003) en el lago Coatetelco, Morelos, en su estudio de

fecundidad de hembras de *O. aureus*. Donde a mayor longitud de la hembra se incrementa su capacidad reproductiva. A pesar de que el coeficiente de correlación es muy bajo, esto se atribuye a factores tales como el muestreo de organismos con un incremento constante en su peso y longitud, además del tipo de desarrollo de los óvulos (asincrónica) que presenta esta especie.

Entonces al registrar peces pequeños antes del primer pico reproductivo que es el de mayor impacto y posteriormente, organismos de tallas mayores pero en su segunda maduración gonádica (Ramos-Cruz, 1995), esto representó influencia directa en el número de óvulos entre los diferentes periodos reproductivos (Galemoni de Graaf & Huisman, 1999).

7.4. Alternativas acuícolas

La calidad del agua tiene un efecto directo sobre el desempeño del pez enjaulado, su salud y su supervivencia (Kubitza, 2003). Por lo tanto, caracterizar las condiciones medioambientales del sistema es fundamental para el cultivo de peces en jaulas. Especialmente esto se debe hacer en lagos o embalses porque no es posible controlar o corregir los cambios fisicoquímicos del agua una vez establecidas las unidades de producción (Huchette & Beveridge, 2003).

La elección de las jaulas flotantes como alternativa acuícola en la presa es principalmente por las condiciones que requieren. De acuerdo a lo que indica Santiago & Arcilla (1993) es importante que la concentración de oxígeno se mantenga por encima de 3 mg/L, para evitar el estrés en los peces, lo cual se verá reflejado en el crecimiento y la eficiencia de conversión alimenticia (Yi & Lin, 2001). Aún en el caso del pico del estiaje (mayo), donde se presentó un perfil de oxígeno disuelto clinógrado donde la depleción progresó hasta las condiciones anaeróbicas (Margalef, 1983), esta se da hasta debajo de los tres metros. Por lo que se considera que la concentración de oxígeno disuelto no se puede considerar como factor limitante, debido a que el área del embalse donde se presentan las condiciones medioambientales adecuadas para el establecimiento de las jaulas flotantes presenta concentraciones por encima de 9 mg/L en superficie y aún a los 4 metros de profundidad las concentraciones de este elemento están por encima de 3 mg/L.

Debido a que la tilapia a temperaturas de 20 °C o menos deja de crecer (Atwood *et al.*, 2003), la alternativa acuícola se debe establecer principalmente a partir de los meses de primavera hasta antes del invierno, ya que en embalses subtropicales es cuando las condiciones de temperatura se encuentran por encima de los 22 °C, así como lo reporta Peña-Mendoza *et al.* (2005), en la presa Emiliano Zapata, Morelos donde se caracteriza el sistema con temperaturas de 20 a 27 °C, los valores mayores registrados durante marzo a octubre, donde influyen las condiciones climáticas y la variación de volumen a consecuencia de la temporada de lluvias y estiaje. La densidad de carga por m³ se debe establecer de acuerdo al recambio de agua a través de las corrientes, concentración de oxígeno y el alimento disponible (Datta, 2015). Considerando lo reportado por Yi & Lin (2001) que implementaron un cultivo de tilapia en jaulas en condiciones extensivas, la capacidad de carga será de tres peces/m³ de agua en el caso de la presa Melchor Ocampo. Se manejarán densidades bajas, debido a las condiciones de baja productividad primaria, sin embargo, la incorporación de alimento balanceado comercial o elaborado de manera artesanal incrementaría la densidad de peces por unidad de volumen contenido en la jaula.

Luchini, (2006) menciona que la intensificación de los sistemas de producción en jaulas flotantes dependen de la cantidad de alimento que se les ofrece a los peces en relación a su biomasa. Se puede llegar a tener una capacidad de carga de 80 a 150 kg/m³, sin dejar de considerar las condiciones medioambientales. Además, Cordoba & Landivar (2009) agregan otros factores que provocan estrés en tilapias cuando se encuentran en cautiverio, tales como la precipitación, los días nublados y oleaje fuerte.

La finalidad del establecimiento de jaulas flotantes es colocar en ellas a los peces que son capturados con la pesca en condiciones abiertas y que aún no alcanzan la talla comercial, y mantenerlos ahí hasta que dicha talla sea alcanzada. La finalidad es que los pescadores sean más competitivos en el mercado local, regional e incluso nacional. A pesar de que la producción pesquera es capaz de cubrir la demanda local, existen consumidores que buscan organismos de mayor tamaño, entonces el mercado local sería mínimo, por ello se debe conocer la calidad que demandan los mercados alternativos que se pretenden cubrir (Fitzsimmons, 2000). De ello dependerá el peso

de cosecha y como consecuencia el precio del producto debe ser establecido por los productores en base a la inversión de infraestructura e insumos de producción.

7.5. Actividades adicionales

Es importante señalar que la colaboración de los pescadores de la comunidad de La Palma, municipio de Angamacutiro, fue de gran ayuda para el desarrollo de todo el proyecto. Gracias a esta colaboración, se instauró un canal de comunicación permanente con el propósito de capacitarlos de manera continua, sobre las alternativas a implementar para mejorar la producción de tilapia en el embalse. En esta interacción se les presentó, en primera instancia, la problemática que se presentaba en las actividades pesqueras en ese momento, captura de peces de tamaño pequeño (siete u ocho peces por kilogramo), organismos que no habían alcanzado la primera reproducción, precios del producto a la orilla del embalse bajo (siete pesos el kilogramos de tilapia) y como consecuencia sobreexplotación del recurso pesquero. A partir de un importante intercambio de información, se acordó un aumento en la abertura de malla de 3 a 3 ½ pulgadas para el mes de mayo del 2015, con la finalidad de permitir el crecimiento y desarrollo óptimo de los peces antes de ser capturados. Por su parte, al identificar la baja disponibilidad de alimento directo para la tilapia la cual se refleja con valores altos de transparencia disco Secchi, se propuso la acción de aplicar abono (estiércol de vaca y cerdo) con la finalidad de aumentar la disponibilidad de nitrógeno y fósforo y de esta manera favorecer el desarrollo de la productividad primaria e incrementar de esta manera la disponibilidad de alimento para la tilapia aumentando su tasa de crecimiento. Después de lograr tener una producción de calidad comercial, se estableció un punto de venta único por parte de la asociación, para evitar el intermediarismo e incrementar los beneficios económicos directos para los pescadores.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

- De acuerdo con los valores de transparencia >30 cm, dinámica del agua, profundidad, abundancia y diversidad del zooplancton se puede clasificar la presa Melchor Ocampo como un sistema Mesotrófico.
- Considerando los valores de alcalinidad y dureza el agua de la presa Melchor Ocampo se clasifica como aguas blandas.
- El establecimiento y desarrollo de los diferentes taxones del zooplancton está determinado por el dinamismo del sistema y la disponibilidad del alimento.
- Con el incremento de la abertura de malla en las artes de pesca de $2 \frac{3}{4}$ a $3 \frac{1}{2}$ pulgadas, se obtuvieron peces con una talla comercial más competitiva en el mercado; desde un punto de vista ecológico los organismos capturados se encuentran maduros gonádicamente, además de que el número de peces capturados necesarios para obtener el ingreso familiar se reduce al tener peces cada vez más grandes.
- La relación de sexos está integrada por un 57 % de machos y 43 % de hembras, con proporción sexual de 1.3 machos por cada hembra. Donde la capacidad y viabilidad reproductiva de las hembras está directamente relacionado con su peso y longitud.
- Considerando la profundidad, temperatura, concentración de oxígeno disuelto y la posibilidad de establecimiento se considera que la zona que comprendida entre los sitios 5 y 6 presentan las condiciones medioambientales necesarias para el establecimiento de jaulas flotantes, como alternativa de producción acuícola.

8.2. Recomendaciones

1. Se recomienda el análisis de más nutrientes como el fósforo, dada la iniciativa de fertilización que se está implementando en la presa. En este mismo contexto es importante monitorear la productividad primaria y el plancton para determinar si hay un efecto.
2. Se debe considerar la posibilidad de incrementar la abertura de malla hasta 4” con la finalidad de obtener una mejor calidad en el producto pesquero y que este sea más competitivo en el mercado.
3. Debido a que la reproducción fuerte se identifica en el mes de julio se recomienda limitar la pesca con la finalidad de no perturbar el ciclo reproductivo, preservar la especie y aumentar su población.
4. Con relación al zooplancton es necesario identificar las especies hasta nivel de género o especie en conjunto con la evaluación de clorofila.
5. Para el establecimiento de jaulas como alternativa acuícola se recomienda utilizar materiales regionales que permitan disminuir los costos de inversión, además de utilizar los subproductos de los peces para la elaboración de alimentos de manera artesanal.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, F. J. (2007). Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat). pág, 113-144.
- Abdelhamid, A. M., Mehrim, A. I., Manal, I., & El-Sharawy, M. A. (2010). An attempt to improve the reproductive efficiency of Nile tilapia brood stock fish. *Fish physiology and biochemistry*, 36(4), 1097–1104.

- Abucay, J. (1998). Genetic and environmental factors affecting growth and sex ratio in the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. Doctoral dissertation, University of Wales Swansea.
- Abucay, J. S., Mair, G. C., Skibinski, D. O., & Beardmore, J. A. (1999). Environmental sex determination: the effect of temperature and salinity on sex ratio in *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture*, 173(1), 219-234.
- Adamo, P., & Violante, P. (2000). Weathering of rocks and neogenesis of minerals associated with lichen activity. *Applied Clay Science*, 16(5), 229–256.
- Álvarez-Cadena, J. N., Aquino, M. A., Alonso, F., Millán, J. G., & Torres, T. (1984). Composición y abundancia de las larvas de peces en el sistema lagunar Huizache-Caimanero. Parte I Agua dulce 1978. *En Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF.* (Vol. 11, pp. 163–180).
- Anderson, D. M., Glibert, P. M., & Burkholder, J. M. (2002). Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*, 25(4), 704-726.
- Arcifa, M. S. (1984). Zooplankton composition of ten reservoirs in southern Brazil. *Hydrobiologia*, 113(1), 137–145.
- Arellano-Torres, A., Hernández Montaña, D., & Meléndez Galicia, C. (2013). A comparative analysis of three length based methods for estimating growth of the tilapia *Oreochromis aureus* (Perciformes: Cichlidae) in a tropical lake of Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1301-1312.
- Arreguín-Sánchez, F., & Arcos-Huitrón, E. (2011). La pesca en México: estado de la explotación y uso de los ecosistemas. *Hidrobiológica*, 21(3), 431–462.
- Atwood, H. L., Tomasso, J. R., Webb, K., & Gatlin, D. M. (2003). Low-temperature tolerance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: effects of environmental and dietary factors. *Aquaculture Research*, 34(3), 241–251.

- Azaza, M. S., Mensi, F., Ksouri, J., Dhraief, M. N., Brini, B., Abdelmouleh, A., & Kraiem, M. M. (2008). Growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fed with diets containing graded levels of green algae ulva meal (*Ulva rigida*) reared in geothermal waters of southern Tunisia. *Journal of Applied Ichthyology*, 24(2), 202-207.
- Bernal-Brooks, F. W. (2002). La limnología del lago de Pátzcuaro: una visión alternativa a conceptos fundamentales. *Facultad de Ciencias, UNAM*. México.
- Beveridge, M. C., & Stewart, J. A. (1998). Cage culture: limitations in lakes and reservoirs. *Inland Fishery Enhancements*, 263–279.
- Bezault, E., Clota, F., Derivaz, M., Chevassus, B., & Baroiller, J.-F. (2007). Sex determination and temperature-induced sex differentiation in three natural populations of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) adapted to extreme temperature conditions. *Aquaculture*, 272, S3–S16.
- Bistoni, M. A., Hued, A. C., VIDELA, M., & Sagretti, L. (1999). Efectos de la calidad del agua sobre las comunidades ícticas de la región central de Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*, 72, 325–335.
- Boros, E. (2003). Alkaline Lakes. In National Ecological Network. N.p.: Authority for Nature Conservation, Ministry of Environment and Water. [http://www.termesztvedelem.hu/user/downloads/nok/Alkaline%20lakes\(angol\).pdf](http://www.termesztvedelem.hu/user/downloads/nok/Alkaline%20lakes(angol).pdf)
- Boyd, C. E. (1991). Empirical modeling of phytoplankton growth and oxygen production in aquaculture ponds. *Aquaculture and Water Quality*, eds. DE Brune and JR Tomasso, 363–395.
- Brown, G. G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, J. C., Bueno, J., ... & Rodríguez, C. (2001). Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana*, 1, 79-110.

- Camargo, J. A., & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Revista Ecosistemas*, 16(2). Recuperado a partir de <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/457>
- Campos-Mendoza, A., McAndrew, B. J., Coward, K., & Bromage, N. (2004). Reproductive response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to photoperiodic manipulation; effects on spawning periodicity, fecundity and egg size. *Aquaculture*, 231(1), 299–314.
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and oceanography*, 22(2), 361-369.
- Carpenter, S. R., Cole, J. J., Essington, T. E., Hodgson, J. R., Houser, J. N., Kitchell, J. F., & Pace, M. L. (1998). Evaluating alternative explanations in ecosystem experiments. *Ecosystems*, 1(4), 335-344.
- Chapman, G., & Fernando, C. H. (1994). The diets and related aspects of feeding of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) and common carp (*Cyprinus carpio* L.) in lowland rice fields in northeast Thailand. *Aquaculture*, 123(3), 281-307.
- Charrad, M., Ghazzali, N., Boiteau, V., Niknafs, A., & Charrad, M. M. (2014). Package 'NbClust'. *J. Stat. Soft*, 61, 1-36.
- Conde-Porcuna, J. M., Ramos-Rodríguez, E., & Morales-Baquero, R. (2004). El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. *Revista Ecosistemas*, 13(2).
- CONDE-PORCUNA, J. M., RAMOS-RODRÍGUEZ, E., & PÉREZ-MARTÍNEZ, C. (2002). Correlations between nutrient concentrations and zooplankton populations in a mesotrophic reservoir. *Freshwater Biology*, 47(8), 1463-1473.

- Cordoba Pena, J. E., & Landivar Zambrano, J. J. (2009). Evaluación técnica, económica y ambiental de un cultivo industrial de tilapia roja (*Oreochromis spp*) en jaulas flotantes en Colombia.
- Coward, K., & Bromage, N. R. (2000). Reproductive physiology of female tilapia broodstock. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10(1), 1–25.
- Datta, S. (2015). Management of Water Quality in Intensive Aquaculture. *Respiration*, 6, 602.
- Davies-Colley, J. R. (2013). River water quality in New Zealand: an introduction and overview. Ecosystem services in New Zealand: conditions and trends. *Manaaki Whenua Press, Lincoln*, 432–447.
- Daw, T., & Gray, T. (2005). Fisheries science and sustainability in international policy: a study of failure in the European Union's Common Fisheries Policy. *Marine Policy*, 29(3), 189–197.
- De Infante, G., & de Infante, A. G. (1988). *El plancton de las aguas continentales*. Organización de los Estados Americanos.
- De La Cruz Agüero, J., y V. M. Cota Gómez. (2006). Length–weight relationships of 10 deep-sea fish species from the Mexican Pacific Ocean. *J. Appl. Ichthyol.* 22: 319–321.
- De la Lanza-Espino, G., Pulido, S. H., & Pérez, J. L. C. (2000). Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores). Plaza y Valdés. Recuperado a partir de [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=DfXiBOYXb98C&oi=fnd&pg=PA7&dq=.+Organismos+indicadores+de+la+calidad+del+agua+y+contaminaci%C3%B3n+\(Bioindicadores\)&ots=9yMd_Oqk8T&sig=vPM0Qy0PEFvy1B8wyfJrVGatvX0](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=DfXiBOYXb98C&oi=fnd&pg=PA7&dq=.+Organismos+indicadores+de+la+calidad+del+agua+y+contaminaci%C3%B3n+(Bioindicadores)&ots=9yMd_Oqk8T&sig=vPM0Qy0PEFvy1B8wyfJrVGatvX0)
- De la mora, G., Villareal-Delgado, E. L., Arredondo-Figueroa, J. L., Ponce-Palafox, J. T., & Barriga-Sosa, I. de los A. (2003). Evaluación de algunos parámetros de

- calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura, sometido a diferentes cargas de biomasa de peces. *Hidrobiológica*, 13(4), 247–253.
- De Vicente, I., & Cruz-Pizarro, L. (2003). Estudio de la carga externa e interna de fósforo y aplicación de modelos empíricos de eutrofización en las aguas de la Albufera de Adra. *Limnetica*, 22(1–2), 165–181.
- Dean, J. G., Bosqui, F. L., & Lanouette, K. H. (1972). Removing heavy metals from waste water. *Environmental Science & Technology*, 6(6), 518–522.
- Díaz-Vargas, M., Elizalde, E., Quiroz, H., García, J., & Molina, I. (2005). Caracterización de algunos parámetros físico químicos del agua y sedimento del lago Zempoala, Morelos, México. *Acta Universitaria, Universidad de Guanajuato*, 15, 57–65.
- Downing, J. A., Plante, C., & Lalonde, S. (1990). Fish production correlated with primary productivity, not the morphoedaphic index. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47(10), 1929–1936.
- Elías-Fernández, G., Navarrete-Salgado, N. A., Fernández-Guzmán, J. L., & Contreras-Rivero, G. (2006). Crecimiento, abundancia y biomasa de *Poecilia reticulata* en el lago urbano del parque Tezozomoc de la Ciudad de México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 12(2), 155-159.
- Federal, A. C. D. D. J. (s/f). Proyecto de norma oficial mexicana proy-nom-060-pesc-2011, pesca responsable en cuerpos de aguas continentales dulceacuícolas de jurisdicción federal de los estados unidos mexicanos. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros. Recuperado a partir de <http://sipesca.conapesca.sagarpa.gob.mx/work/sites/cona/resources/PDFContent/11253/60.pdf>
- Figuroa, J. L. A. (1996). Estado actual y perspectivas de la acuicultura en México. Recuperado a partir de

<http://www.izt.uam.mx/pexpa/pdf/Estado%20actual%20y%20perspectivas%20de%20la%20acuicultura.pdf>

- Fitzsimmons, K. (2000). Future trends of tilapia aquaculture in the Americas. *Tilapia aquaculture in the Americas*, 2, 252-264.
- Francis, G., Makkar, H. P., & Becker, K. (2010). Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish.
- Fuentes Robles, R. E. (2013). *Modelamiento de impactos del cambio de uso de suelo en la carga de sedimentos y nutrientes en la cuenca lacustre del Lago Rupanco, Región de los Lagos, Chile* (Doctoral dissertation, Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales).
- Galemoni de Graaf, G. J., & Huisman, E. A. (1999). Reproductive biology of pond reared Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture Research*, 30(1), 25-33.
- García, P. R., Nandini, S., Sarma, S. S. S., Valderrama, E. R., Cuesta, I., & Hurtado, M. D. (2002). Seasonal variations of zooplankton abundance in the freshwater reservoir Valle de Bravo (Mexico). *In Advances in Mexican Limnology: Basic and Applied Aspects* (pp. 99-108). Springer Netherlands.
- García-Rodríguez, R., Hendricks, M. P., Cossairt, B. M., Liu, H., & Owen, J. S. (2013). Conversion reactions of cadmium chalcogenide nanocrystal precursors. *Chemistry of Materials*, 25(8), 1233–1249.
- Gómez-Márquez, J. L., Peña-Mendoza, B., Salgado-Ugarte, I. H., & Guzmán-Arroyo, M. (2003). Reproductive aspects of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) at Coatetelco lake, Morelos, Mexico. *Revista de biología tropical*, 51(1), 221–228.
- González, E. J., Ortaz, M., Matos, M. L., Mendoza, J., Peña Herrera, C., & Carrillo, V. (2002). Zooplankton de dos embalses neotropicales con distintos estados tróficos. *Interciencia*, 27(10), 551-558.

- Gutiérrez, E., & others. (2008). Zooplancton de agua dulce especies exóticas, posibles vías de introducción. *Especies Acuáticas Invasoras en México* p. 309-315. Recuperado a partir de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=SIBE01.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=002001>
- Havens, K. E. (2002). Zooplankton structure and potential food web interactions in the plankton of a subtropical chain-of-lakes. *The Scientific World Journal*, 2, 926-942.
- Havens, K. E., & Beaver, J. R. (2011). Composition, size, and biomass of zooplankton in large productive Florida lakes. *Hydrobiologia*, 668(1), 49-60.
- Huchette, S. M. H., & Beveridge, M. C. M. (2003). Technical and economical evaluation of periphyton-based cage culture of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in tropical freshwater cages. *Aquaculture*, 218(1), 219–234.
- Hulyal, S. B., & Kaliwal, B. B. (2008). Water quality assessment of Almatti Reservoir of Bijapur (Karnataka State, India) with special reference to zooplankton. *Environmental monitoring and assessment*, 139(1-3), 299-306.
- Hutchinson, G. E. (1975). A Treatise on Limnology, Vol. II, Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton. *Niche: theory and application*, 3, 185.
- Jarvie, H. P., Neal, C., & Withers, P. J. (2006). Sewage-effluent phosphorus: a greater risk to river eutrophication than agricultural phosphorus? *Science of the Total Environment*, 360(1), 246–253.
- Jiménez, B. M. L. (1998). *Análisis de la pesquería de tilapia Oreochromis spp. (Pisces: Cichlidae) en la presa Adolfo López Mateos, Michoacán-Guerrero*. Tesis Doctoral del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad autónoma de México. México.

- Jiménez-Badillo, M., Nepita-Villanueva, M. R., & others. (2000). Espectro trófico de la tilapia *Oreochromis aureus* (Perciformes: *Cichlidae*) en la presa Infiernillo, Michoacán-Guerrero, México. *Revista de Biología Tropical*, 48(2–3), 487–494.
- Jobling, M. (1995). Development of eggs and larvae. *Environmental biology of fishes*, 357-390.
- Johnson, D. L., Ambrose, S. H., Bassett, T. J., Bowen, M. L., Crummey, D. E., Isaacson, J. S., ... Winter-Nelson, A. E. (1997). Meanings of environmental terms. *Journal of environmental quality*, 26(3), 581–589.
- Johnson, S.L., Gates, M.A., Johnson, M., Talbot, W.S., Horne, S., Baik, K., Rude, S., Wong, J.R., Postlethwait, J.H., 1996. Centromere-linkage analysis and consolidation of the zebrafish genetic map. *Genetics* 142, 1277–1288.
- Kalff, J. (2002). Limnology: inland water ecosystems (Vol. 592). Prentice Hall New Jersey. Recuperado a partir de <http://library.wur.nl/WebQuery/clc/1649338>
- Kara, Y., Kara, I., & Basaran, D. (2004). Investigation of some physical and chemical parameters of water in the Lake Isykli in Denizli, Turkey. *International J. Agriculture and Biol*, 6(2), 275–277.
- Kramer, D. L. (1987). Dissolved oxygen and fish behavior. *Environmental Biology of Fishes*, 18(2), 81–92.
- Kubitza, F. (2003). Water quality in the cultivation of fish and shrimp. *Water quality in the cultivation of fish and shrimp*.
- Lawson, E. O. (2011). Physico-chemical parameters and heavy metal contents of water from the Mangrove Swamps of Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria. *Advances in biological research*, 5(1), 8–21.
- Le Moullac, G., & Haffner, P. (2000). Environmental factors affecting immune responses in Crustacea. *Aquaculture*, 191(1), 121–131.

- Legendre, P., & Anderson, M. J. (1999). Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. *Ecological Monographs*, 69(1), 1-24.
- Lepš, J., & Šmilauer, P. (2003). *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*. Cambridge university press.
- Luchini, L. (2006). TILAPIA: SU CULTIVO Y SISTEMAS DE PRODUCCION. *Dirección de Acuicultura*. SAGPyA. Buenos Aires, Argentina.
- Maestres, R., Rey, G., de las Salas, J., Vergara, C., Santacoloma, L., & Goenaga, S. (2009). Susceptibility of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) to temephos in Atlántico-Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 35(2), 202-205.
- Margalef, R. (1983). *Limnología* (No. 504.45 MAR). Barcelona: Omega.
- Martínez, R. J., & Velásquez, G. C. (1998). Estudio de crecimiento en cinco coloraciones de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) en condiciones del Valle del Cauca. *Universidad Nacional sede Palmira*, 82.
- Mártir-Mendoza A. (2008). Presa Melchor Ocampo, municipio de Angamacutiro, Michoacán. *Ra Ximhai*, 4(2), 247–281.
- Medina-Ávila, J. C. (2012). Limnología de la presa Melchor Ocampo, municipio de Angamacutiro, Michoacán. Tesis de Maestría: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.
- Mendes, B., P. Fonseca y A. Campos. 2004. Weight-length relationships for 46 fish species of the Portuguese best coast. *J. Appl. Ichthyol.* 20:355-361
- Merayo, S., & González, E. J. (2010). Variaciones de abundancia y biomasa del zooplancton en un embalse tropical oligo-mesotrófico del norte de Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 58(2), 603-619.
- Millán, F., Mathison, J., Alvares, M., & Jarbouh, W. (2003). Estudio comparativo de la dureza del agua en el estado Mérida y algunas localidades del centro y occidente de Venezuela. *Ciencia e Ingeniería*, 24(1), 39–46.

- Molina Santiago, J. D., & Castro Suarez, F. A. (2015). *Determinación de la calidad del agua mediante parámetros físico químicos y microbiológicos en la micro cuenca quebrada la estancia en González, Cesar*. Recuperado a partir de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/handle/123456789/923>
- Morales Díaz, A., & Díaz, A. M. (1991). *La tilapia en México: biología, cultivo y pesquerías*. Recuperado a partir de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=UAA.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expression=mfn=005205>
- Nikolsky, G. V. (1963). Ecology of fishes. *In Ecology of fishes*. Academic Press.
- Njiru, M., Okeyo-Owuor, J. B., Muchiri, M., Cowx, I. G., & Van der Knaap, M. (2007). Changes in population characteristics and diet of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) from Nyanza Gulf of Lake Victoria, Kenya: what are the management options? *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 10(4), 434–442.
- Obregón, D. A. A. (2006). Limnología aplicada a la acuicultura-limnology applied to the. *Veterinaria*, 1–24.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., ... & Wagner, H. (2015). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.0-10. 2013.
- Palacios, S. S. (1995). *Estudio biológico pesquero de la tilapia Oreochromis aureus (Steindachner, 1864) en la presa Adolfo López Mateos (el Infiernillo), Michoacán-Guerrero, México* (Doctoral dissertation, Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de México, México).
- Payne, A. I. (1986). *The ecology of tropical lakes and rivers*.
- Peña Messina, E., Tapia Varela, R., Velázquez Abunader, J. I., Orbe Mendoza, A. A., & Ruiz Velazco Arce, J. M. de J. (2010). Growth, mortality and reproduction of

- the blue tilapia *Oreochromis aureus* (Perciformes: *Cichlidae*) in the Aguamilpa Reservoir, Mexico. *Revista de biología tropical*, 58(4), 1577–1586.
- Peña, J. C., & Zambrano, J. L. (2003). Evaluación técnica económica y ambiental de un cultivo de tilapia roja (*Oreochromis* spp) en jaulas flotantes en Colombia. Recuperado a partir de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/4679>
- Peña-Mendoza, B., Gómez-Márquez, J. L., & García-Alberto, G. (2011). Ciclo reproductor e histología de las gónadas de tilapia *Oreochromis niloticus* (Perciformes: *Cichlidae*). *Ciencia Pesquera*, 19(2), 23-36.
- Peña-Mendoza, B., Gómez-Márquez, J. L., Salgado-Ugarte, I. H., & Ramírez-Noguera, D. (2005). Reproductive biology of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: *Cichlidae*) at Emiliano Zapata dam, Morelos, México. *Revista de biología tropical*, 53(3-4), 515-522.
- Peña-Mendoza, B., Gómez-Márquez, J. L., Salgado-Ugarte, I. H., & Ramírez-Noguera, D. (2005). Reproductive biology of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: *Cichlidae*) at Emiliano Zapata dam, Morelos, Mexico. *Revista de biología tropical*, 53(3-4), 515-522.
- Perera, P. A. C. T., Kodithuwakku, S. P., Sundarabarathy, T. V., & Edirisinghe, U. (2015). Insight Ecology>> Volume 4 Issue 1, 2015. *Insight*, 4(1).
- Pérez Mayorga, M. A. (2011). Relación de la cobertura vegetal riparia y la comunidad íctica, en dos periodos hidrológicos en riachos de la cuenca del Río La Vieja, Eje Cafetero de Colombia.
- Pérez, S. J. T., & Capote, M. C. G. (s/f) Nutrición y Alimentación de Tilapia Cultivada en América Latina y el Caribe.
- Posada, C. C., Domínguez, E., Calle, H. G. R., & Sarmiento, R. V. (2005). El índice de escasez de agua ¿Un indicador de crisis o una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico? *Revista de Ingeniería*, (22), 102-109.

- Quiroz Castelán, H., García Rodríguez, J., Molina Astudillo, F. I., Díaz Vargas, M., Trujillo Jiménez, P., & others. (2010). Abiotic conditions of the dam “The Abrevadero” used for cultivation extensive *Oreochromis niloticus* in Morelos, México. *REDVET*, 11(7). Recuperado a partir de <http://www.cabdirect.org/abstracts/20113020404.html>
- RAMÍREZ-MORENO, G. I. O. V. A. N. N. Y., PORRAS, L. V., & AMB, I. (2008). Relación entre las variables fisicoquímicas del agua y la dinámica sistémica del complejo cenagoso La Grande de Beté, Medio Atrato, Chocó, Colombia Relationship between the variable physics and chemistry of the water and the system dynamic of complejo cenagoso La Grande de Beté, Medio Atrato, Chocó, Colombia. *Revista Bioetnia, Volumen 5 N 2 julio-diciembre, 2008, 5(2), 68.*
- Ramos-Cruz, S. (1995). Reproducción y crecimiento de la mojarra tilapia (*Oreochromis aureus*) en la presa Benito Juárez, Oaxaca, México en 1993. *INPSEMARNAP. Ciencia Pesquera*, 11, 54–61.
- Ramos-Cruz, S. Reproducción y crecimiento de la mojarra tilapia (*Oreochromis aureus*) en la presa Benito Juárez, Oaxaca, México, en 1993.
- Ricker, W. E. (1987). *Computation and interpretation of biological statistics of fish populations*. Dept. of Fisheries and Oceans.
- Rodríguez, J. G., Astudillo, F. I. M., Vargas, M. D., & Castelán, H. Q. (2010). Componentes fitoplanctónicos y zoobentónicos en el lago Zempoala, Morelos, México. *Acta Universitaria*, 20(2), 23-30.
- Rojas-Carrillo, P. M., & Fernández-Méndez, J. I. (2006). La pesca en aguas continentales en México, 49.
- Roldán-Pérez G, Ramírez-Restrepo JJ. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia.

- Romesburg, C., & Marshall, K. (1984). Cluster/Clustid-Computer Programs for Hierarchical Cluster Analysis.
- Rosenberg, D. M., Resh, V. H., & others. (1993). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. *Chapman & Hall*. Recuperado a partir de <http://www.cabdirect.org/abstracts/19950506768.html>
- Ruiz Velazco Arce, J. M. de J., Tapia Varela, R., García Partida, J. R., & González Vega, H. (2006). Evaluación de un cultivo semi-intensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en tanques circulares con aguas termales. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 7(11). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/html/636/63612653020/>
- Santiago, A. E., & Arcilla, R. P. (1993). Tilapia cage culture and the dissolved oxygen trends in Sampaloc Lake, the Philippines. *Environmental monitoring and assessment*, 24(3), 243-255.
- Sendacz, S., Caleffi, S., & Santos-Soares, J. (2006). Zooplankton biomass of reservoirs in different trophic conditions in the state of São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 66(1B), 337-350.
- Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental pollution*, 100(1), 179–196.
- span_diag_5.qxd - 5 Fertilization.pdf. (s/f). Recuperado a partir de <http://www.cesasin.com.mx/CentroAmerica/5%20Fertilization.pdf>
- Tarabay, A. B., Villela, R. G., & de la Lanza Espino, G. (1991). Limnological aspects of a high-mountain lake in Mexico. *Hydrobiologia*, 224(1), 1–10.
- Team, R. C. (2015). R: A language and environment for statistical computing [Internet]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2013. *Document freely available on the internet at: http://www.r-project.org.*

- Torres, P. A., Martínez, B. C. R., Mendoza, M. A. O., Naturales, A. R., & Pesca, S. (1999). Desarrollo de la acuicultura en México y perspectivas de la Acuicultura rural. Taller ARPE, FAO-UCT. Recuperado a partir de http://www.gbcbiotech.com/genomicaypesca/pdfs/pesca_mexico/Desarrollo%20de%20la%20acuicultura%20en%20M%E2%80%9Axico%20y%20perspectivas%20de%20la%20acuicultura%20rural.pdf
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Water quality index in surface sources used in water production for human consumption: A critical review. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79–94.
- Torres-Orozco, B., Roberto, E., & Zanatta, S. A. (1998). Species composition, abundance and distribution of zooplankton in a tropical eutrophic lake: Lake Catemaco, México. *Revista de biología tropical*, 46(2), 285-296.
- Treece, G. D., & Davis, D. A. (2000). Culture of small zooplankters for the feeding of larval fish. *Southern Regional Aquaculture Center Publication*, 701, 1–7.
- Vallentine, J. R. 1978. *Introducción a la Limnología*. Omega. Barcelona. 169 p.
- Vázquez, G., Díaz-Pardo, E., Gutiérrez-Hernández, A., Doadrio, I., & de Sostoa, A. (2004). Los ríos y los lagos. *Los Tuxtlas. Unión Europea-Inecol. México*, 201-230.
- Waite, I. R., Kennen, J. G., May, J. T., Brown, L. R., Cuffney, T. F., Jones, K. A., & Orlando, J. L. (2012). Comparison of Stream Invertebrate Response Models for Bioassessment Metrics. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 48(3), 570-583.
- Watson, R., & Pauly, D. (2001). Systematic distortions in world fisheries catch trends. *Nature*, 414(6863), 534–536.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: lake and river ecosystems*. Gulf Professional Publishing. Recuperado a partir de <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=no2hk5uPUcMC&oi=fnd&pg>

[=PP1&dq=Limnology:+Lake+and+river+ecosystems.+San+Diego,+CA&ots=iERLp_LNyP&sig=0neBKF7PUL5CNm90X0XprwUaMB4](#)

- Withers, P. J., & Lord, E. I. (2002). Agricultural nutrient inputs to rivers and groundwaters in the UK: policy, environmental management and research needs. *Science of the Total Environment*, 282, 9–24.
- Wu, R. S. S. (1995). The environmental impact of marine fish culture: towards a sustainable future. *Marine pollution bulletin*, 31(4), 159–166.
- Yi, Y., & Lin, C. K. (2001). Effects of biomass of caged Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and aeration on the growth and yields in an integrated cage-cum-pond system. *Aquaculture*, 195(3), 253–267.
- Zimmer, K. D., Hanson, M. A., & Butler, M. G. (2000). Factors influencing invertebrate communities in prairie wetlands: a multivariate approach. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57(1), 76-85.
- Zohary, T., & Ostrovsky, I. (2011). Ecological impacts of excessive water level fluctuations in stratified freshwater lakes. *Inland Waters*, 1(1), 47–59.

ANEXOS

Anexo 1: Encuesta a Pescadores de la Presa Melchor Ocampo

Fecha: 30/Agosto/2015

Nombre: _____ Sexo _____ Edad: _____

Estudios: _____ Comunidad: _____

Estado civil: _____ Automóvil: Si___ No___

Casa: Propia___ Rentada___ Prestada___

1) ¿Cuántos años tiene como pescador?

2) ¿Cuánto tiempo dedica diariamente a la pesca?

3) ¿Qué artes de pesca utiliza?

a) Redes agalleras b) Trampa para carpa c) Otra _____

4) ¿Cuántas redes y de qué tamaño utiliza en la actividad pesquera?

5) ¿Cuánto le cuesta cada red?

6) En promedio ¿Cuántos kilogramos de peces captura diariamente?

7) Usted pesca para....

a) Consumirlo b) venderlo

8) ¿A qué precio le pagan el kilogramo de tilapia?

- 9) ¿Cuáles son los problemas que enfrenta al vender el producto de la pesca?
a) Precio bajo b) Peso y tallas bajos c) Calidad d) otro_____
- 10) ¿Es suficiente el dinero que obtiene de la pesca para el sustento familiar?
a) Si b) No
- 11) ¿Además de la pesca, realiza alguna otra actividad que le ayude a obtener ingresos económicos?
a) Agricultura b) Ganadería c) Comercio d) Albañilería
- 12) ¿Cuánto le ayudan esas otras actividades al ingreso económico?
a) Menos de la mitad b) La mitad c) Más de la mitad
- 13) ¿Trabaja en otra ciudad en alguna parte del año?
a) Si. ¿Cuál? _____ b) No
- 14) ¿Cuántos miembros tiene su familia?
a) Cero b) Entre 2 – 4 c) Entre 5 – 6 d) 7 o mas
- 15) ¿Cuántos miembros de su familia dependen de usted?
- 16) ¿Cuántos de sus hijos están estudiando y en qué nivel?
___ Primaria ___ Secundaria ___ Preparatoria ___ Universidad
- 17) ¿Estaría dispuesto a participar en actividades que mejoren la actividad pesquera?
a) Si b) No
- 18) ¿Participaría en el establecimiento de un punto de venta?
a) Si b) No