



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**CALIDAD DEL AGUA Y NIVEL TRÓFICO EN EL
BORDO LA PALAPA, MORELOS, MÉXICO**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGO

PRESENTA:

GARCÍA LIMÓN SERGIO

DIRECTOR DE TESIS: Dr. JOSÉ LUIS GÓMEZ MÁRQUEZ

ASESORES: Biól. JOSÉ LUIS GÚZMÁN SANTIAGO

M. en B. GABRIELA SELENE ORTIZ BURGOS

Dr. ISAÍAS HAZARMABETH SALGADO UGARTE

M. en C. ERNESTO MENDOZA VALLEJO

MÉXICO, CDMX, 2021



¡Todos Somos FES Zaragoza!



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos y Dedicatorias

El presente trabajo lo dedico con especial énfasis y cariño a mis padres, a quienes, en todo momento, proyectos y retos vividos hasta el día de hoy. A mi padre quien durante todos estos años me acompaño y ayudo llevándome a la escuela y a todos los lugares que necesitaba o quería a la hora que fuera, quien me dio varios consejos y apoyos en varios momentos de mi vida y a quien le debo el haber podido entrar en esta gran escuela que es la UNAM. A mi madre quien fue el mayor apoyo económico y emocional a lo largo de la carrera, con quien contaba indudablemente para mis necesidades y con quien comparto varios gustos y momentos divertidos, por esto y mucho más les comparto este y futuros triunfos. Muchas gracias por todo.

A mi hermano, con quien a pesar de nuestras diferencias me apoyo durante varios momentos difíciles de la carrera, me dio consejos en varias materias difíciles y con él que sé que cuento cuando lo necesite.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, quien se convirtió en mi casa de estudios y alma mater tanto en el bachillerato como licenciatura, quien a través de diferentes generaciones me mostro diferentes puntos de vista y me guio a lo que me gustaba.

A la Facultad de Estudios Superiores, quien por su formación y programas me dio todo el apoyo que necesitaba hasta llegar a este punto y ayudándome a mi desarrollo profesional.

A todos los profesores de la carrera que me acompañaron a lo largo de los años en las diferentes asignaturas cursadas, y quienes con su sabiduría y experiencia me compartieron sus enseñanzas en las aulas de la facultad.

A mis profesoras de biología, química y ciencias de la salud y a mi profesor de cálculo de 6 semestre del CCH Oriente, quienes me guiaron e hicieron tomar la mejor decisión de mi vida y escoger esta hermosa carrera.

A mi familia materna con la que he vivido grandes momentos de mi vida, tanto difíciles como divertidos y de la cual debo grandes consejos de parte de mis tías.

A mis mejores amigas de la vida Yehimi y Paola, con quien viví los mejores momentos de mi vida en la carrera y fueron el mayor apoyo emocional durante todos estos años. A Paola por ser una gran acompañarme durante momentos de soledad y un gran ejemplo durante la carrera. Y Yehimi por ser la persona más ocurrente y divertida que he conocido jamás y darme las mejores risas en los

mejores y peores momentos, así como también darme los impulsos necesarios para seguir adelante, gracias por toda su compañía y cariño.

A mis amigos Eduardo, Dafne, Michelle, Jess, Diana Paola, Emiliano, Irvin, Nicanor, Pera y Say. Buenos amigos con quienes pase varios momentos importantes que siempre recordare y que fueron grandes compañeros de clase durante la carrera a pesar de no verlos diario, y quienes representaran una gran etapa de mi vida.

A mis amigas de bachillerato Lupita, Layde y en especial Raiza Sacet, por representar un gran cambio en mi vida y ser la mejor etapa del CCH.

A todos y cada una de las personas que conocí y que fueron mis compañeros, con quienes compartí momentos, que, aunque no nos hablamos mucho fueron parte importante durante el transcurso de la carrera.

A la Dra. Bertha Peña Mendoza, por quien escogí esta gran área de la biología y a quien le debo muchas por su gran apoyo y consejos dados durante los peores momentos de la carrera, así como por darme toda su paciencia y conocimiento en clase, y por sobre todo su gran amistad. De todo corazón, gracias por todo.

A mi director de tesis, el Dr. José Luis Gómez Márquez por dejarme ser parte del laboratorio de Limnología y brindarme todo su conocimiento y apoyo, quien desinteresadamente y con mucho agradecimiento me brindó su guía y toda su confianza para lograr esta gran meta que hoy consigo.

A mis asesores el Biól. José Luis Guzmán Santiago y la M. en B. Selene Ortiz Burgos, quienes me dieron su mejor apoyo y grandes y oportunas aportaciones y sugerencias a lo largo del proyecto.

A mis sinodales, por quienes a pesar de las dificultades que hoy vivimos es posible este trabajo.

Por último, dedico este agradecimiento y logro en memoria de mis abuelos, Leonila Pérez, Rodolfo Limón, Antonio García y Rosa Rodríguez. A mis primos, tíos y sobrinas quienes hoy en día ya no se encuentran conmigo y a quienes siempre recordare en mi vida. Les prometo siempre dar lo mejor de mí en todo momento esperando no decepcionarlos esperando siempre ser mejor, tanto personalmente como profesionalmente.

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
ANTECEDENTES	6
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	12
JUSTIFICACIÓN	12
HIPOTESIS	13
OBJETIVOS	13
ZONA DE ESTUDIO	14
MATERIAL Y METODOS	16
Fase de Campo	16
Fase de Laboratorio	17
Clorofila "α"	18
Fase de Gabinete	18
Índice de TRIX	19
Índice de Estado Trófico de Carlson	20
Índice de Estado Trófico de Toledo	21
Parámetros de la Calidad del Agua	22
RESULTADOS	23
Parámetros Físicos y Químicos.....	23
Nutrimentos.....	28
Índices de Estado Trófico	32
Análisis de Correlación de Spearman	33
Análisis de Componentes Principales (ACP).....	36
Análisis de Agrupamiento (Clúster).....	39
DISCUSIÓN	41
CONCLUSIONES	50
BIBLIOGRAFIA	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del microembalse, “La Palapa”, municipio de Ayala, Morelos	14
Figura 2. Variación temporal de la Transparencia respecto a La profundidad	24
Figura 3. Variación mensual de las temperaturas en el microembalse La Palapa	25
Figura 4. Variación mensual en las concentraciones de oxígeno disuelto en el microembalse La Palapa	26
Figura 5. Variación temporal en las concentraciones de Dureza total, Dureza de calcio y Alcalinidad en el microembalse La Palapa	27
Figura 6. Valores mensuales de conductividad en el microembalse La palapa	28
Figura 7. Relación de los ortofosfatos y fosforo total para el microembalse La palapa	29
Figura 8. Valores estacionales de los nitroderivados en el microembalse La palapa	30
Figura 9. Variación estacional de los Sulfatos y Silicatos en el microembalse La palapa	31
Figura 10. Variación temporal de las Clorofilas en relación con la Transparencia y pH en el microembalse La Palapa	32
Figura 11. Variación mensual de los Índices de Estado Trófico para el microembalse La Palapa	33
Figura 12. Bigráfica del Análisis de Componentes principales (PCA) de las variables la calidad del agua del bordo La Palapa	39
Figura 13. Dendrograma de los meses de muestreo de acuerdo a los parámetros de la calidad del agua	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros físicos y químicos <i>in situ</i> de la calidad el agua	17
Tabla 2. Parámetros químicos para evaluación en laboratorio de la calidad del agua	17
Tabla 3. Clasificación del índice del estado TRIX y la calidad del agua	19
Tabla 4. Rango de valores y clasificación del Índice de Carlson (TSI), y la calidad el agua, según el estado trófico y descripción correspondiente	20
Tabla 5. Límites de los diferentes niveles del estado trófico según el sistema de clarificación propuesto por Toledo (1990)	22
Tabla 6. Análisis de Correlación para los índices de Carlson, TRIX y Toledo	34
Tabla 7. Variables de la calidad del agua con correlaciones significativas en nutrimentos	35
Tabla 8. Análisis de Correlación de conductividad, alcalinidad, dureza total y NID..	35
Tabla 9. Valores de los 6 componentes principales del análisis	37
Tabla 10. Pesos de los componentes principales del bordo La Palapa	37

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Formula de Lind para determinación de clorofila "a"	18
Ecuación 2. Índice de TRIX propuesto por Vollenweider et al. (1998)	19
Ecuación 3. Índice de Estado Trófico para Disco de Secchi (Ds)	20
Ecuación 4. Índice de Estado Trófico para el Fósforo total (Pt)	20
Ecuación 5. Índice de Estado Trófico para Clorofila "a" (Chl.a)	20
Ecuación 6. Índice de Estado Trófico de Carlson	20
Ecuación 7. Índice de Estado Trófico modificado por Toledo para Disco de Secchi (Ds)	21
Ecuación 8. Índice de Estado Trófico modificado por Toledo para Clorofila "a" (Chl)	21
Ecuación 9. Índice de Estado Trófico modificado por Toledo para Fosforo Reactivo Soluble (PSR)	21
Ecuación 10. Índice de Estado Trófico modificado por Toledo para Fósforo Total (Pt)	21
Ecuación 11. Índice de Estado Trófico modificado por Toledo	21

RESUMEN

En las últimas décadas el crecimiento demográfico y el desarrollo industrial son las principales fuentes de contaminación tanto en los lagos naturales como en los sistemas acuáticos artificiales (presas o reservorios). En general los microembalses son embalses someros con profundidades máximas entre uno y cinco metros que se forman en la época de lluvias, los cuales se han tipificado como eutróficos (productivos) en la época de dilución e hipereutrófico (altamente productivos) en la época de concentración, en climas cálidos. El presente trabajo tiene como objetivo determinar la calidad del agua y el estado trófico para las épocas de lluvias y secas del microembalse La palapa y analizar la relación entre las variables ambientales del agua del microembalse por medio del análisis estadístico. La contingencia sanitaria provocada por la pandemia del SARS-CoV-II (COVID 19) prolongada desde marzo del 2020 hasta el presente, impidió la asistencia al sitio de estudio, por lo que, los datos presentados en este trabajo fueron recopilados de una base de datos no procesados, ni publicados anteriormente y que fue recopilada por el jefe del laboratorio de Limnología entre los meses de febrero del 2019 hasta enero del 2020. Los resultados obtenidos mostraron que el microembalse La Palapa se clasifica como un sistema acuático polimíctico cálido continuo, con temperaturas del agua entre 18 y 30 °C, aguas bien oxigenadas (>5 mg/L), aguas muy duras y productivas (>40 mg/L CaCO₃), que presenta procesos de eutrofización, debido al enriquecimiento excesivo por fósforo y nitrógeno, lo cual permite proliferación de organismos fotosintéticos, con tendencia a la hipereutrofización, sin diferencias significativas entre las temporadas de lluvias y secas, y con base en los diferentes índices de estado trófico utilizados no se observaron diferencias en el comportamiento del sistema entre ellos. Se determinó que la época de secas cálidas abarca desde el mediados del mes de marzo hasta mediados de junio, la época de lluvias desde finales de junio, hasta inicio de noviembre y la época de secas frías desde inicio de noviembre hasta finales de febrero. De acuerdo con la NOM-001-ECO-1996 el agua del microembalse La Palapa se encuentra dentro de los límites permisibles de la calidad del agua, por lo que su uso en actividades agrícolas y pesqueras es adecuado.

INTRODUCCIÓN

En México existen 13 regiones hidrológicas-administrativas dentro de las cuales existen casi 320 cuencas de drenaje en México, las cuales comprenden 530,310 km² o el 27 % del área superficial total (Tamayo, 1998; Hernández-Avilés y García, 2007; CONAGUA, 2010). Los datos sobre la calidad del agua en México se obtienen a través de la Red Nacional de Monitoreo, la cual en 2019 constaba de 4,655 estaciones de muestreo; 4,056 permanentes y 599 móviles, de las cuales, 2,764 estaban localizadas en cuerpos de agua superficial y 1,292 en cuerpos de agua subterráneas (CONAGUA, 2021).

En la actualidad, México enfrenta un grave problema de escasez de agua dulce en muchas de sus regiones debido a la topografía con la que cuenta y aunado a esto, es un país que cuenta con pocos cuerpos de agua lénticos naturales (70 lagos), con tamaños de superficie que varían entre las 1,000 y más de 10,000 hectáreas, que en conjunto cubren un área de 370,891 hectáreas (De la Lanza y García, 2002). El problema se ha tratado de resolver desde hace mucho tiempo, mediante la construcción de embalses artificiales como presas, bordos, etc., los cuales ocupan el 67.13% de los cuerpos hídricos y cubren 188,781 ha que representan el 14.74% de la superficie inundada de las aguas epicontinentales (Quiroz-Castelán *et al.*, 2009). Los microembalses, bordos o jagüeyes tienen gran importancia ecológica y alta potencialidad de generación de recursos. Esta importancia es particularmente notable en aquellas zonas en que, debido a las condiciones del relieve, no es posible que se presente de manera natural embalses de agua a partir de lluvia y de los escurrimientos (Navarrete-Salgado *et al.*, 2000; Hernández-Avilés *et al.*, 2007).

En las últimas décadas el crecimiento demográfico y el desarrollo industrial son las principales fuentes de contaminación tanto en los lagos naturales como en los sistemas acuáticos artificiales (presas o reservorios). Las alteraciones más notorias en las características ecológicas y Limnológicas de estos ecosistemas, consisten en la acumulación de nutrientes y de sedimentos como consecuencia de una deficiente conservación de los suelos en la cuenca del embalse, el agotamiento del oxígeno disuelto en las capas profundas, la fertilización y el florecimiento de algas

en la columna de agua (Margalef, 1976). El aumento de la cantidad de dióxido de carbono en los sistemas acuáticos provoca reacciones que cambian la composición química de éstos, a través de un proceso conocido como acidificación (Harrould-Kolieb y Savitz, 2009).

Los microembalses cuentan con características limnéticas similares a las de los lagos naturales someros. En general son embalses someros con profundidades máximas entre uno y cinco metros, que se forman en la época de lluvias (Hernández-Avilés *et al.*, 2007), prácticamente no presentan estratificación en la temperatura o de los nutrientes, por lo que no hay barreras físicas. Esta similitud entre las condiciones de estos sistemas y los cuerpos de aguas naturales ocasiona que los organismos que viven en los segundos encuentren un sitio de dispersión y de refugio en los microembalses (López-Blanco y Zambrano-González, 2001).

Estos cuerpos de agua se han tipificado como eutróficos (productivos) en la época de dilución e hipertróficos (altamente productivos) en la de concentración, en climas cálidos. En la fase de concentración, la reducción del volumen puede disminuir la profundidad de penetración de la luz debido a una mayor turbidez (por efecto del aumento de los sólidos en suspensión en la columna de agua) y por lo tanto, de la producción primaria, e incrementar la zona de descomposición, asimismo, la concentración de nitrógeno y fósforo se puede elevar por el acarreo de materiales de la cuenca en el periodo de inundación y por liberación de estos micronutrientes de la materia orgánica a lo largo del año, favoreciendo altos niveles de productividad (Hernández-Avilés *et al.*, 2007).

Por otra parte, la calidad del agua de los sistemas acuáticos está en función de la región hidrológica a la que pertenece y de las sales disueltas que contenga. El tiempo de permanencia del agua de estos ecosistemas depende directamente de tres factores principales: precipitación, evaporación y escurrimiento superficial, así como de procedimientos secundarios como flujo de agua subterránea, pérdidas por filtración y captura de agua por la vegetación aledaña a los jagüeyes (Arredondo-Figueroa y Flores- Nava, 1992; Sugunan, 1997; Hernández-Avilés *et al.*, 2007).

Anualmente México recibe aproximadamente 1,449,471 millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 72.5% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 21.2% escurre por los ríos o arroyos, y el 6.3% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos (CONAGUA, 2016).

En los microembalses, los cambios en los patrones de las precipitaciones afectan la calidad del agua embalsada (Murdoch *et al.*, 2000). Estos sistemas se caracterizan porque durante la época de lluvias, se presenta una etapa de dilución de los materiales en solución y suspensión, con el decremento en la alcalinidad, dureza y conductividad, como consecuencia por el aumento del volumen de agua. Durante las fases de concentración se incrementan estos componentes, al reducirse el volumen por procesos de evaporación, uso de agua para riego y abrevaderos. En la fase de dilución se favorece la cadena de pastoreo, al presentar una zona fótica mayor y una concentración de nutrientes que permite una mayor diversidad fitoplanctónica y zooplanctónica. En cambio, conforme hay una reducción de volumen se incrementan los contenidos de nutrientes y los florecimientos de plancton, predominando la cadena de detritus (Hernández-Avilés *et al.*, 2007).

Como lo mencionan De la Lanza (1990), Arredondo y Ponce (1998) y Romero (1999) entre otros, los análisis Hidrológicos de rutina comunes que ayudan a la interpretación de la capacidad productiva de los cuerpos de agua son los siguientes (Arredondo-Figueroa *et al.*, 2007).

Análisis Físicos: temperatura del agua; determina los procesos fotosintéticos por cambios en el metabolismo; Sólidos Disueltos Totales (TSD), que reflejan los aportes de terrígenos y la Conductividad; se relaciona directamente con los sólidos disueltos y la salinidad.

Análisis Químicos: Los gases disueltos, el O₂ y el CO₂ y sus productos de equilibrio (H₂CO₃, HCO₃⁻¹, CO₃⁻²) participantes en los procesos de síntesis y metabolismo. La alcalinidad, pH y dureza, constituyentes de los parámetros básicos y que tienden a alterar o elevar el pH a la neutralidad. Los nutrimentos necesarios para la producción

primaria y compuestos orgánicos a partir del nitrógeno (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ y NH_3) y fósforo (PO_4^{3-}). Otras pruebas necesarias para evaluar la calidad del agua son la DBO (Demanda bioquímica de oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno), materia orgánica, sulfatos, silicatos y fósforo total.

ANTECEDENTES.

La calidad del agua es una medida de las propiedades físicas, químicas y biológicas del líquido (Peters *et al.*, 2009) que resulta fundamental conocer para poder aprovechar adecuadamente y de forma segura el líquido. Para medirla se definen estándares específicos en función de los usos que pretende dársele (p. ej. agua potable, para uso agrícola o industrial; PNUD *et al.*, 2000). Algunos utilizan parámetros que pueden medirse fácilmente, como la temperatura, conductividad, turbidez, pH y oxígeno disuelto. Otras medidas se enfocan en los nutrientes, sólidos disueltos totales, metales pesados, patógenos y compuestos orgánicos, etc. (SEMARNAT, 2015).

En México el estudio de la calidad del agua y monitoreo de ésta generalmente es llevada a cabo por instituciones y dependencias gubernamentales las cuales llevan un registro anual. Algunas de las dependencias principales en México como SEMARNAT y CONAGUA ponen a disposición pública, los resultados de los monitoreos e informes realizados por estas.

De acuerdo con la CONAGUA y la SEMARNAT en el año 2015, la Región Hidrológica Administrativa a la que pertenece el estado de Morelos (Región Hidrológica-Administrativa no. IV, Balsas.) contaba con una calidad del agua muy afectada. Aunque el porcentaje de los cuerpos hídricos contaminados por DBO (Demanda bioquímica de oxígeno) y DQO no era tan altos respecto a las demás regiones hidrológicas-administrativas (19% y 50% respectivamente de los cuerpos de agua están contaminados o fuertemente contaminados), los resultados de los sólidos suspendidos totales (SST) mostraban ser los más altos con un 16% de los cuerpos hídricos, siendo la región con mayor porcentaje de cuerpos hídricos contaminados por SST (SEMARNAT, 2015).

Fraile y colaboradores (1995) reportaron el estado trófico de dos embalses (Cernadilla y Valparaíso) usando y comparando los Índices de Carlson y el Índice de la OCDE, obteniendo como resultados con base en la clasificación trófica de límites fijos propuesta por la OCDE (1982), que ambos sistemas se clasifican como mesotróficos, siendo Valparaíso el que más se acerca a la oligotrofia. Los valores

del índice de CARLSON (1977) son inferiores a 50, por lo que los embalses se clasifican como mesotróficos.

Drovandi y colaboradores (2005) en su diagnóstico preliminar del estado trófico de las aguas del embalse el Carrizal en Argentina, presentó estados que pueden calificarse como de eutrófico a hipereutrófico, de acuerdo al índice de estado trófico (TSI) calculado. Ello se ve corroborado por los resultados de otros parámetros, como los de Clorofila a, que se confirma haciendo referencia a la importante densidad de algas que se pudo medir, con valores de hasta 1102 células/ml, acompañado por una baja diversidad de especies del fitoplancton, con alta dominancia de algunas de las especies presentes. Para los parámetros físico-químicos del agua se obtuvo como resultado valores de oxígeno disuelto entre 10 y 15 mg/L, temperaturas entre 20 y 28 °C, conductividad de 1,2 y 1,8 mS/cm, nutrientes con valor de 14,7 mg/L y D.Q.O. alrededor de 20 mg/L.

Echaniz y Vignatti (2009) realizaron la determinación del estado trófico y de la capacidad de carga del embalse Casa de Piedra, reportando parámetros de conductividad media de 942.7 $\mu\text{S/cm}$, pH alcalino de 8.3 unidades, agua bien oxigenada con valores de 7.1 – 8.75 mg/L^{-1} y con transparencia de 1.2 m. Usando el IET (o TSI) y de acuerdo a los parámetros propuestos por Carlson y Simpson, se categorizó al sistema en un estado mesotrófico.

Rosas (2009) registró las características físico-químicas para las temporadas de secas y lluvias teniendo como resultado una transparencia 0.29m y 0.25m, conductividad entre 1,317 y 14,33 $\mu\text{S/cm}$, pH variable ligeramente ácido de 6.1 unidades y ligeramente alcalino de 8.7, alcalinidad de 35 y 30 $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$ y oxígeno disuelto de 5.22 y 12.6 mg/L respectivamente. Respecto al estado trófico, utilizando el IET de Carlson determinó un estado trófico de hipereutrofia. En cuanto a los organismos fitoplanctónicos, en las dos épocas del año la división dominante fue la Chlorophyta con 46% y 66%, y Cyanophyta con 31% y 30 % respectivamente.

García-González (2011) registró los parámetros físico-químicos para realizar un análisis de correlación entre los factores y la reproducción de los organismos, registrando para el sistema una profundidad máxima de 4 m, una transparencia

máxima y mínima de 0.47 m y 0.23 m respectivamente, en la temperatura registro un intervalo de 31.2°C para la máxima y 20°C para mínima, en cuanto a la conductividad se registró un incremento constante de 853 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el mes de agosto a 1488 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el mes de abril, respecto a los valores de oxígeno disuelto se observó una máxima de 11 mg/L y un mínimo de 2.1 mg/L, el nitrógeno en forma de amonio varió de 0.22 a 0.91 mg/L, en el comportamiento de la dureza total se observó que los valores aumentan desde inicio del estudio (temporada de lluvias) hasta la época cálida seca, observando el valor máximo en el mes abril (763 mg CaCO_3/L) y los valores menores en septiembre (496 mg CaCO_3/L); en cuanto a la alcalinidad, los valores máximos se registraron en diciembre (456 mg CaCO_3/L) y los valores menores en el mes de octubre (116 CaCO_3/L), considerando que el sistema acuático es productivo.

Rivera-Cervantes y Hernández-González (2011) reportaron varios parámetros físico-químicos obteniendo los siguientes resultados: Temperatura media de 25.7°C, profundidad mínima de 1.3 m y máxima de 3.6 m, transparencia de 0.35 m, oxígeno disuelto de 8.51 mg/L, alcalinidad con valores de 53 a 185 mg CaCO_3/L , dureza de 399 a 688 mg CaCO_3/L , pH ligeramente alcalino de 8.13 unidades, para nitratos, nitritos y amonio obtuvo un promedio de 0.403, 0.006 y 0.433 mg/L respectivamente, en fósforo total obtuvo valores de 0.098 a 1.386 mg/L. Usando el IET de Carlson determinaron que el cuerpo de agua se encuentra en un nivel eutrófico.

Gómez-Márquez *et al.* (2013) en su estudio registraron aguas bien oxigenadas con un promedio de 6.94 mg/L, poco transparente con 0.30 m durante el periodo de secas y la máxima en la época de lluvias con 0.67 m, pH ligeramente alcalino 8.48 unidades, aguas duras con un intervalo de 230 a 750 mg/L, productivos con una alcalinidad entre 100 y 240 mg/L, conductividad de 702 a 1213 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con sólidos disueltos totales de 540 mg/L con un comportamiento homogéneo entre ambos sitios de monitoreo, pero heterogéneo entre los meses de muestreo. La profundidad media de este sistema fue de 3.45 m, con valores mínimos (1.50 m) durante la época de secas y máximos (5.50 m) durante las lluvias. Con respecto al análisis

taxonómico, registro 16 especies pertenecientes a tres principales grupos del zooplancton: Rotífera, Cladóceras y Copépodos. Los copépodos (dos especies) fueron dominantes cuantitativa y cualitativamente en la mayoría de las muestras, representando el 80% de la densidad total del zooplancton, seguidos por los cladóceros (tres especies) (16%) y por los rotíferos (once especies) (4%).

Orozco (2013) examinó en el bordo La Palapa los factores físico-químicos del agua para ver la influencia de estos en los organismos. Respecto a los factores físico-químicos el sistema contó con una profundidad máxima de 4.3 m, la transparencia del agua obtenida fue de 0.2 m a 0.42 m, en la temperatura del agua los valores oscilaron de 23 a 27.9 °C, la conductividad mostró el valor máximo en el mes de marzo 2012 con 1564 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y el valor mínimo en el mes de julio con 961 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respecto al oxígeno disuelto se encontró el valor mínimo de 4.9 mg/l y el máximo de 14.9 mg/l, la dureza total fue mayor a la alcalinidad obteniendo valores mínimos de 405 mg CaCO_3/L y valores máximos de 692 mg CaCO_3/L , la alcalinidad con la que cuenta el sistema propicia a que el agua del sistema se considere con buena productividad por los valores obtenidos ya que el valor mínimo se obtuvo en 176 mg CaCO_3/L y el valor máximo obtenido fue de 330 mg CaCO_3/L .

Carrasco-Vargas y colaboradores (2014) en la presa El Abrevadero registraron aguas poco oxigenadas la mayor parte del año (2.55mg/L), con un pH alcalino (8.55), cálidas (entre 20.8 a 25°C) y poco transparentes (43.3cm). Respecto a los organismos Fitoplanctónicos reconoció un total de 32 géneros, de los cuales 11 se presentaron durante la mayoría de los meses. Los géneros predominantes por Clase fueron Chlorophyceae: *Ankistrodesmus sp.*, *Chlamydomonas sp.*, *Coelastrum sp.*, *Cosmarium sp.*, *Oocystis sp.*, *Scenedesmus sp.* y *Ulothrix sp.*; Cyanophyceae: *Anabaena sp.*, *Merismopedia sp.* y *Microcystis sp.*; Bacillariophyceae: *Cyclotella sp.*, *Melosira sp.* y *Navícula sp.*; Euglenophyceae: *Phacus sp.* y *Trachelomona sp.*, lo cual muestra una alta diversidad fitoplanctónica en el sistema.

Granados-Ramírez y colaboradores (2014) en su libro Inventario de cuerpos de agua del estado de Morelos describe los parámetros físico-químicos, organismo y microorganismos del bordo La Palapa, teniendo como principales organismos

fitoplanctonicos: a) Div. Chlorophyta, b) Div. Cyanophyta. c) Div. Chrysophyta y d) Div. Euglenophyta. De los organismos zooplanctónicos a los grupos: a) Phylum Rotífera. b) Suborden Cladocera y c) Subclase Copépoda. En peces: a) Familia Poeciliidae y b) Familia Cichlidae. Respecto a los parámetros físico-químicos los divide en dos periodos, los de la época de secas y época de lluvias, reportando los promedios anuales respectivamente de: Temperatura; 23.4 y 28.5 °C. Oxígeno disuelto; 5.22 y 12.6 mg/L. pH; 6.1 y 8.7 unidades. Alcalinidad total; 35 y 30 mg/L. Dureza total; 640 y 920 mg/L. Conductividad; 1317 y 1433 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Clorofila a; 65 y 232 $\mu\text{S}/\text{L}$. También describe el estado trófico del sistema clasificándolo como Hipertrófico.

García-Rodríguez y colaboradores (2015), realizaron un estudio de la variación fitoplanctónica en un lago urbano del municipio de Cuernavaca, reconociendo 30 especies incluidas en 22 géneros. Para la Clase Chlorophyceae se reconocieron 17 especies, siete para Bacillariophyceae, cuatro para Cyanophyceae y dos para Euglenophyceae. Los valores de densidad registrada por Clase taxonómica fueron mayores para las clorofíceas con 6 046 488 org/mL, seguida de las cianofíceas con 1 188 576 org/mL, las bacilariofitas y euglenofitas presentaron las densidades más bajas con 188 710 org/ml y 53 014 org/mL, respectivamente. Determinaron un estado de hipertrofia para el cuerpo de agua, con una concentración de oxígeno disuelto media de 5.7 mg/L, pH alcalino de 9.28, poco transparentes la mayor parte del año (con una media de 0.285 m) y con una temperatura promedio de 26.7°C.

Ruiz-Pérez (2017) registró un total de 26 especies que permanecen a los Copéodos, Cladóceros y Rotíferos. En el grupo de los copéodos se registraron 2 especies, los Cladóceros 2 especies, los Rotíferos con 22 especies. Respecto a los parámetros de la calidad del agua se registró una temperatura promedio de 25.05°C, transparencia promedio de 0.48 m, profundidad 3 m, pH ligeramente alcalino de 8 unidades, una conductividad que va de 753.5 a 1738.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, oxígeno disuelto de 3.9 a 12.2 mg/L, una dureza y alcalinidad de 260.5 y 382.5 mg/L respectivamente, también se realizó los SST obteniendo un valor promedio de 710 ppm.

Retana (2019) determinó la calidad del agua y su relación con la comunidad zooplánctica en el microembalse La Palapa, describiendo los valores de los factores físico-químicos del sistema: temperatura de 19.3 a 29.2°C, transparencia de 0.25 a 0.47m, profundidad entre 2.3 y 4.1 m, pH ligeramente alcalino entre 7.98 unidades a 8.88 unidades, oxígeno disuelto alrededor de 7.2 a 16.0 mg/L, conductividad de 1226 a 1604 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la alcalinidad y la dureza total tuvieron un valor medio de 194 y 282 mg/L de CaCO_3 respectivamente. De los 28 géneros que componen la comunidad fitoplanctónica; 16 son Chlorophyta, 7 son Cyanobacteria, Euglenophyta y Bacillariophyta 2 géneros cada una y 1 Cryptophyta (Chroomonas). Respecto al zooplancton, registro un total de 24 especies pertenecientes a los tres grupos del zooplancton: Copépodos, Cladóceros y Rotíferos.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Si los bordos son sistemas acuáticos someros y pequeños que dependen de las condiciones climáticas para su permanencia o temporalidad; entonces, ¿la calidad del agua y el estado trófico dependerán del aporte del afluente, la presencia de ganado como área de abrevadero y de la época de lluvias y secas?

JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso natural crítico debido a que de él dependen todas las funciones de los ecosistemas y sobre el cual se sustentan todas las actividades sociales y económicas del ser humano. La calidad del agua es tan importante como la cantidad para satisfacer las necesidades ambientales y humanas básicas. Agua de mala calidad tiene costos económicos asociados incluyendo la degradación de los ecosistemas, problemas de salud, impacto en actividades como la agricultura, la ganadería o el turismo y desde luego se eleva el costo de su tratamiento (Ertug y Hoekstra, 2012).

Descriptivamente los jagüeyes, bordos o microreservorio, son depresiones del terreno o pequeñas y medianas presas artificiales, que permiten almacenar el agua proveniente de los escurrimientos superficiales y destinarla a fines pecuarios, agrícolas o a suplir las necesidades humanas. Son sistemas que permanecen relativamente estancados y son un tanto inestables, con variaciones en el nivel de agua dependiendo del régimen pluvial, con una profundidad media menor a los 8 metros y de forma cóncava. Esta profundidad tiende a provocar una turbiedad que origina una menor transparencia del agua, la cual frecuentemente resulta de color pardo por la presencia de materia orgánica, por el crecimiento de algas y por la presencia de sólidos suspendidos (Cervantes, 1984; Fernández *et. al.*, 2017).

Actualmente los cambios en las condiciones climáticas han afectado de manera significativa a los sistemas acuáticos, por eso mismo, la determinación de los principales parámetros físico-químicos y biológicos asociados a la calidad del agua de los pequeños embalses, se ha vuelto indispensable para establecer su

posibilidad de uso y establecer la causa u origen de contaminantes que pudieran estar presentes, asegurando de esta manera un mejor uso y aprovechamiento del microembalse.

HIPÓTESIS

Los parámetros de la calidad del agua de los bordos de acuerdo con Arredondo y Flores-Nava (1992) se ve influenciados temporalmente por las condiciones climáticas del lugar donde se ubican. En lo que se refiere al estado trófico desde el 2010 se reporta, en algunos estudios, que el bordo La Palapa se encuentra en un estado eutrófico. Por lo tanto, de acuerdo a las referencias consultadas, el sistema acuático cuenta con variaciones significativas en las concentraciones de los nutrimentos entre las diferentes épocas del año y, por lo tanto, se considera que en la época de lluvias el cuerpo de agua se clasifique como eutrófico y en la temporada de secas sea hipereutrófico y que sea altamente productivo por efecto del tiempo de retención del agua por la necesidad de agua para el riego agrícola.

OBJETIVOS

General.

1. Determinar la calidad del agua y el estado trófico para las épocas de lluvias y secas del microembalse La palapa.

Particulares.

1. Reconocer y analizar la calidad del agua del microembalse por medio de los parámetros físico y químicos.
2. Determinar el estado trófico del microembalse La palapa con base en los índices de Carlson (1977), Toledo modificado (1990) y TRIX (1998).
3. Analizar la relación entre las variables ambientales del agua del microembalse por medio del análisis estadístico.

ZONA DE ESTUDIO

El microembalse “La Palapa” se encuentra en el municipio de Ayala, estado de Morelos con coordenadas geográficas 18°43'17.07" latitud Norte y 98°54'44.56" longitud Oeste, a 1,220 metros sobre el nivel del mar (Figura 1).

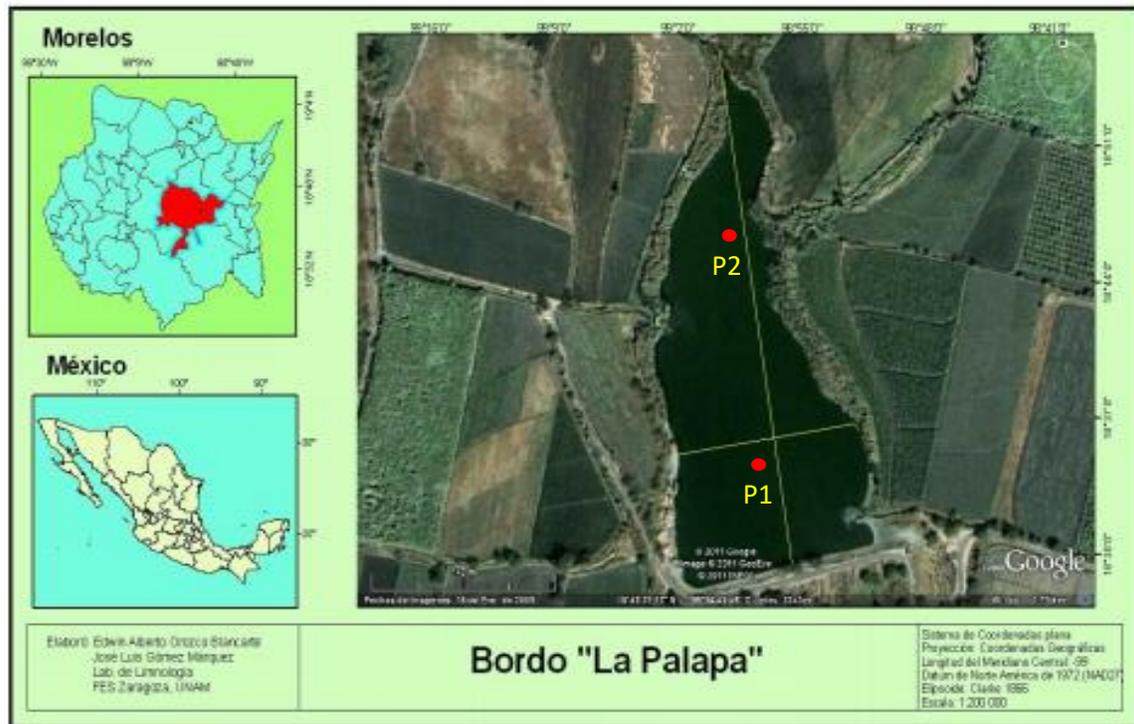


Figura 1. Ubicación del microembalse, “La Palapa”, municipio de Ayala, Morelos.

El municipio limita al norte con los municipios de Yautepec, Cuautla y Yecapixtla; al sur con Tepalcingo y Tlaquitenango; al este con Temoac, Jantetelco y Jonacatepec y al oeste con Tlaltizapán y Yautepec, teniendo una extensión territorial de 378.72 kilómetros cuadrados y representa el 7.74% con respecto a la superficie del estado (INEGI, 2010).

El municipio de Ayala se beneficia con la fluencia de la microcuenca del río Cuautla, del río Ayala que se favorece con los escurrimientos de las barrancas El Hospital y Calderón. Los tipos de suelo que predominan en el municipio son Chernozem, Castañozem, Feozem háplico, Litosol y Vertisol pélico, compuesto generalmente de rocas sedimentarias clásicas.

El clima que predomina en esta zona es Aw''(w) (i')g, cálido subhúmedo, este estrato climático, se localiza en alturas sobre el nivel del mar menor a 1,400 m., Su precipitación y temperatura media anual es de 800 mm y 24° C respectivamente (García, 2004).

La vegetación es, Selva Baja Caducifolia, principalmente encontramos, quintonil, (*Maranthus hybridus*), chirimoyo, (*Annona cherimolia*), anona (*Annona squamosa*), nanche (*Byrsonima crassifolia*), bonete (*Pileus mexicana*), pápalo (*Porophyllum tagetoides*), verdolaga (*Portulaca oleraceae*), guayaba (*Psidium guajaba*), ciruela (*Spondias mombin*), pitayo (*Stenocereus dumortieri*), canelillo (*Vitex pyramidata*, *querengue*), cazahuate (*Ipomoea murucoides*), amate (*Ficus cotinifolia*), guaje colorado (*Leucaena esculenta*), mezquite (*Prosopis laevigata*), palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), guamúchil (*Pithecellobium dulce*), framboyanes (*Delonix regia*) y tepehuaje (*Lysiloma acapulcense*),

La fauna también es muy variada, entre ellos se tiene al murciélago vampiro (*Desmodus rotundus*), murciélago lengüilargo (*Glossophaga soricina*), conejo (*Sylvilagus floridanus*), rata de campo (*Sigmodon hispidus*), ratón (*Liomys irroratus*), tlacuache (*Didelphis marsupialis*), zorra (*Urocyon cinereoargenteus*), zorrillo (*Spilogale angustifrons*), mapache (*Procyon lotor*), armadillo (*Dasyopus novemcinctus*), coyote (*Canis latrans*), zopilote (*Coragyps atratus*), gavilán (*Accipiter nisus*), iguana (*Iguana iguana*). Entre los peces se cuenta con bagre (*Ictalurus balsanus*) y mojarra tilapia (*Oreochromis niloticus*) (INEGI, 2017).

MATERIAL Y MÉTODOS

La contingencia sanitaria provocada por la pandemia del SARS-CoV-II (COVID 19) prolongada desde marzo del 2020 hasta el presente, ha impedido la asistencia al sitio de estudio. Por lo que, los datos presentados en este trabajo fueron recopilados de una base de datos no procesados, ni publicados anteriormente y que fue recopilada por el jefe del laboratorio de Limnología entre los meses de febrero del 2019 hasta enero del 2020. Sin embargo, el procedimiento propuesto consiste en 3 fases; de Campo, laboratorio y gabinete. De los cuales, la fase de campo y laboratorio se describen de acuerdo a los realizados por Retana (2019), Rivera y Hernández (2011), Rosas (2009) y Ruiz (2017).

Fase de Campo

En dos estaciones ubicadas en la parte central y profunda, y otra en la parte somera del sistema. Se tomó la hora del muestreo, temperatura ambiental con un termómetro y la visibilidad o transparencia con el disco de Secchi. Con apoyo de una botella Van Dorn de dos litros de capacidad se procedió a la toma de muestras a 0.30 m de la superficie y cada metro de profundidad, según la profundidad máxima registrada en el sistema. Posteriormente se llenaron las botellas de polietileno de 1 litro y, por último, se registró la profundidad del sistema con el disco de Secchi.

Todas las botellas, hasta su utilización en la determinación de los parámetros químicos se conservaron a 4°C durante su transporte al laboratorio.

De las botellas de un litro se analizaron los parámetros *in situ* (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros físicos y químicos *in situ* de la calidad el agua

Parámetro	Método
Oxígeno disuelto	Oxímetro marca HANNA modelo HI 9196
pH, Temperatura. Conductividad y los Solidos totales	multiparámetro marca HANNA modelo HI 991300
Alcalinidad	Indicadores
Dureza Total	Complejométrico
Dureza de Calcio	Complejométrico

(APHA-AWWA-WPCF, 1992; Contreras, 1984)

Fase de laboratorio

De las muestras recolectadas y conservadas a 4°C, se realizaron los parámetros de la calidad del agua con base en los siguientes métodos (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros químicos para evaluación en laboratorio de la calidad del agua.

Parámetro	Método
Nitritos	Ácido sulfanílico
Nitratos	Ácido FenolDisulfónico
Amonio	Azul de indofenol (Fenato)
Ortofosfatos	Cloruro estanoso
Fosfatos	Fosfomolibdato con digestión
Silicatos	Molibdosilicato
Sulfatos	Turbidimétrico
Clorofila a	Colorimétrico

(APHA-AWWA-WPCF, 1992; Contreras, 1984)

Clorofila a

Para la determinación de clorofila “a” se utilizó el método propuesto por Lind (1979) y APHA, AWWA y WPCF (1992). Se filtraron al vacío entre 200 y 250 ml de la muestra de agua con un filtro Millipore de 0.45 µm, posteriormente este se colocó en un tubo de centrifuga y se adicionaron de 2 a 3 ml de acetona al 90%, después se maceró el filtro y se completó el volumen de cetona a 10 ml. Las muestras resultantes se colocaron en obscuridad durante 2 horas a temperatura ambiente y después se centrifugaron a durante 10 minutos a 4000 rpm.

Posteriormente se extrajo el sobrenadante con una pipeta Pasteur y se colocó en una celda de vidrio para su lectura en el espectrofotómetro a longitudes de 750 nm (para correcciones por error de turbidez), 665 nm, 645 nm y 630 nm, que son las máximas absorbancias de la clorofila “a”. Se utilizó un blanco de acetona al 90%.

Se restó la extracción a 750 nm de las extracciones a 665, 645 y 630 nm, y el valor final se usó para la determinación de la concentración para la clorofila “a” en µm/L a partir de la siguiente ecuación.

Ecuación 1. *Formula de Lind para determinación de clorofila “a”*

$$\text{Clorofila } a = 11.64E_{665} - 2.16E_{645} + 0.10E_{630}$$

Los valores obtenidos se multiplicaron por el volumen de la extracción en mL y se dividió por el volumen de agua en litros.

Fase de gabinete

La determinación del estado trófico del sistema se realizó por medio de tres pruebas del Índice del Estado Trófico (IET), el índice de Carlson (Carlson, 1977), el índice de TRIX (Muciño-Márquez *et al.*, 2017) y el índice de Toledo (Toledo *et al.*, 1983).

Índice de TRIX.

El estado trófico TRIX es un índice multivariado denominado índice del estado trófico TRIX propuesto por Vollenweider *et al.* (1998). Corresponde a un índice multivariado que para su cálculo considera dos factores, compuesto por dos variables cada uno (Ecuación 2). El primer factor corresponde al de productividad, en el cual se incluye la concentración de clorofila “a” (Chl.a) y el porcentaje de saturación de oxígeno (%OD). El segundo factor corresponde al nutricional, que considera el nitrógeno inorgánico disuelto (NID), el fósforo total (PRS), K y m son constantes de ajuste para el índice (Dirección General de Aguas, 2018).

Ecuación 2. Índice de TRIX propuesto por Vollenweider *et al.* (1998)

$$TRIX = \frac{[\log_{10}((Chl.a) \times | \%OD | \times NID \times FT) + K]}{m}$$

Chl.a = concentración de clorofila “a”

|%Od| = valor absoluto de la desviación del por ciento de saturación de oxígeno disuelto, es decir, [100 - %Od]

NID = nitrógeno inorgánico disuelto N como: [N-NO₃ + N-NO₂ + N-NH₄]

Pt = fósforo total

K = 1.5

m = 12/10 = 1.2

Tabla 3. Clasificación del índice del estado TRIX y la calidad del agua

Escala TRIX	Estado de la calidad del agua	Características del agua
2 – 4	Alta	Pobrementemente productiva, nivel trófico bajo
4 – 5	Buena	Moderadamente productiva, nivel trófico medio
5 – 6	Mala	Entre moderada y alta en cuanto a productividad
6 – 8	Pobre	Altamente productiva, nivel trófico el más alto

Fuente: Vollenweider *et al.* (1998).

Índice del Estado Trófico (IET o TSI) (Carlson, 1977)

El IET se obtuvo a través de una transformación logarítmica de los valores obtenidos del disco de Secchi (Ds), concentración de clorofila "a" (Clo. A) y la concentración del fósforo total (Pt). Esto se hará bajo el supuesto de que el material particulado suspendido controla la profundidad de visibilidad del disco de Secchi y que la concentración algal en el agua es la principal fuente de variación de este material (Carlson, 1977).

Ecuación 3. Índice de Estado Trófico para Disco de Secchi (Ds)

$$TSID_s = 60 - 14.41(\ln(Ds))$$

Ecuación 4. Índice de Estado Trófico para el Fósforo total (Pt)

$$TSIP_t = 14.42(\ln(Pt)) + 4.15$$

Ecuación 5. Índice de Estado Trófico para Clorofila "a" (Chl.a)

$$TSIClo.a = 9.81(\ln(Clo.a)) + 30.6$$

Ecuación 6. Índice de Estado Trófico de Carlson

$$TSI = \frac{(TSID_s + TSIP_t + TSIClo.a)}{3}$$

Tabla 4. Rango de valores y clasificación del Índice de Carlson (TSI), y la calidad el agua, según el estado trófico y descripción correspondiente

Estado	Rango TSI	calor	Descripción
Hipereutrófico	> 70		Productividad limitada por la disponibilidad de luz, abundantes macrófitas, anoxia en hipolimnion.
Eutrófico	50 – 70		(50-60) Eutrofia, algas azules dominan, muchas macrófitas. (60-70) Eutrofia, algas abundantes, problemas con oxigenación en el hipolimnion.
Mesotrófico	40 – 50		Disminución de la transparencia, algas aumentan, oxigenación en hipolimnion puede disminuir durante el verano.
Meso Oligotrófico	30 – 40		Aumenta productividad primaria.
Oligotrófico	< 30		Agua transparente, muy buena oxigenación en el hipolimnion.

Índice de Estado Trófico modificado por Toledo (1985)

El índice de estado trófico propuesto por Toledo *et al.* (1985), se basa en el índice planteado por Carlson (1977) y en el trabajo desarrollado por Vollenweider (1976); las variables utilizadas en este índice son la transparencia al disco de Secchi (DS), la concentración del fósforo total (PT), el fósforo soluble reactivo (PSR) y la clorofila “a” (CHL). El Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo (1985) es mucho más apropiado para determinar el estado trófico de lagos y embalses tropicales que el IET de Carlson, ya que este último fue desarrollado para evaluar lagos y embalses de zonas templadas (Santos y Florencio, 2001).

Ecuación 7. Índice de Estado Trófico modificado por Toledo para Disco de Secchi (Ds)

$$IET (DS) = 10 \left(6 - \frac{0.64 + \ln DS}{\ln 2} \right)$$

Ecuación 8. Índice de Estado Trófico modificado por Toledo para Clorofila “a” (Chl)

$$IET (CHL) = 10 \left(6 - \frac{2.04 - 0.695 \ln CHL}{\ln 2} \right)$$

Ecuación 9. Índice de Estado Trófico modificado por Toledo para Fosforo Reactivo Soluble (PSR)

$$IET (PSR) = 10 \left(6 - \frac{\ln \left(\frac{21.67}{PSR} \right)}{\ln 2} \right)$$

Ecuación 10. Índice de Estado Trófico modificado por Toledo para Fósforo Total (Pt)

$$IET (PT) = 10 \left(6 - \frac{\ln \left(\frac{80.32}{PT} \right)}{\ln 2} \right)$$

Ecuación 11. Índice de Estado Trófico modificado por Toledo

$$IET = \frac{IET(DS) + 2[IET(PT) + IET(PSR) + IET(CHL)]}{7}$$

Tabla 5. Límites de los diferentes niveles del estado trófico según el sistema de clarificación propuesto por Toledo (1990)

Criterio	Estado Trófico	Transparencia	Fósforo total	Clorofila a
IET	Ultraoligotrófico	≥ 7.8	≤ 0.006	≤ 0.51
IET	Oligotrófico	7.7 – 2.0	0.007 – 0.026	0.52 - 3.81
IET	Mesotrófico	1.9 – 1.0	0.027 – 0.052	3.82 – 10.34
IET	Eutrófico	0.9 – 0.3	0.053 – 0.211	10.35 – 76.06
IET	Hipereutrófico	< 0.3	> 0.211	> 76.06

Parámetros de la calidad del agua

Se realizó un análisis exploratorio de datos (Salgado, 1992) para determinar el comportamiento de las variables físico-químicos, así como para comprobar los supuestos de normalidad y homocedasticidad para la aplicación de los métodos paramétricos (t-Student, ANOVA de una vía) o no paramétricos (U de Mann-Whitney, Kruskal-Wallis), para determinar si hay o no diferencias significativas en las variables entre estaciones y de manera temporal. Se aplicó el análisis de correlación de Pearson o de Spearman (en función de los supuestos de los métodos) y el Análisis de Componentes Principales para relacionar las variables físicas, químicas y biológicas que rigen el comportamiento del sistema en base a los parámetros más relevantes y se construyó un Dendrograma por medio del análisis de agrupamiento (Cluster) para corroborar y establecer de mejor manera las relaciones principales de las variables físicas y químicas entre los meses de muestreo.

RESULTADOS

Parámetros Físicos y Químicos

Se aplicó la prueba U de Mann-Whitney a los parámetros físicos-químicos, para determinar si había diferencia entre estaciones, obteniendo los siguientes valores: temperatura del agua (W= 74; P= 0.117), oxígeno disuelto (W= 73; P= 0.058), pH (W= 46; P= 0.148), conductividad (W= 88; P= 0.939), alcalinidad (W= 77; P= 0.294), dureza total (W= 73; P= 0.058), y dureza de calcio (W= 81; P= 0.528); la prueba no mostró diferencias significativas entre las estaciones de muestreo y por lo tanto, se decidió tomar el promedio de ambas estaciones.

Al no existir diferencias estadísticas significativas entre estaciones, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis ($P < 0.05$) para comprobar si existía diferencias significativas de los parámetros entre los meses de muestreo, obteniendo los siguientes valores: la temperatura del agua (H= 21; P= 0.030), oxígeno disuelto (H=19; P= 0.049), alcalinidad total (H= 21; P= 0.030), dureza de calcio (H= 21; P=0.030), dureza total (H= 20; P= 0.036), pH (H=19; P= 0.049) y conductividad (H=20; P= 0.039) mostraron diferencias estadísticas entre todos los meses de muestreo para todos los parámetros de la calidad del agua.

El área de estudio se encuentra ubicado en un clima cálido subhúmedo, con vegetación de selva baja caducifolia, lo cual quiere decir que la zona cuenta con dos épocas o temporadas muy marcadas que rigen su comportamiento a lo largo del año, época de secas y época de lluvias (Figura 2). Durante la temporada de lluvias (durante los meses de junio a octubre) el volumen de precipitación cambia completamente el paisaje e influye de manera significativa en el sistema hídrico, durante esta temporada, el microembalse sufre un proceso de dilución de los nutrientes y aumenta su volumen en gran medida. El periodo de secas (de los meses de marzo a junio) es considerada una época de concentración de los nutrientes ya que, durante este tiempo, el volumen de agua del sistema se ve afectado considerablemente por el aumento en la temperatura superficial, la pérdida por la evaporación del sistema, infiltración, así como por el uso del recurso hídrico

por los pobladores para actividades agropecuarias aledañas al sistema, afectando de esta manera al ecosistema con una constante concentración de los nutrientes. Por lo tanto, el comportamiento del microembalse se vio regido por la dinámica de disolución y de concentración de los nutrientes.

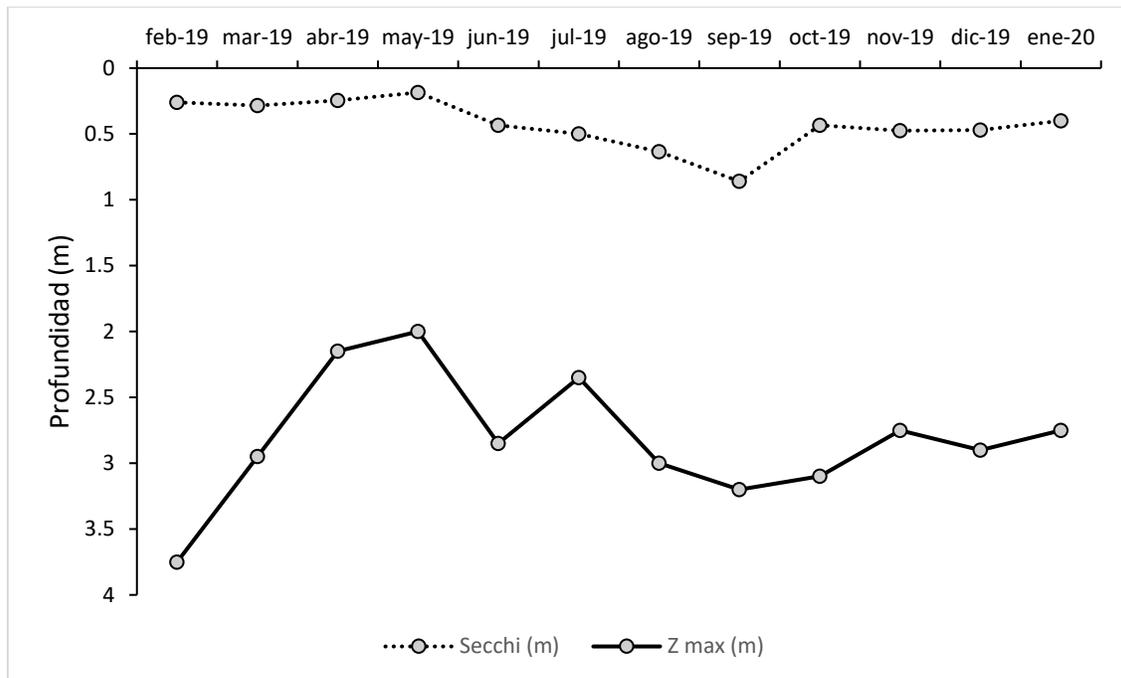


Figura 2. Variación temporal de la Transparencia respecto a La profundidad.

Con respecto a la relación entre el oxígeno y la temperatura, esta es de tipo inversamente proporcional y durante los meses de estudio las concentraciones de oxígeno mostraron un comportamiento de un perfil de curva clinograda (Figura 4) con las mayores concentraciones durante los meses más fríos, y los valores más bajos durante la temporada de secas, presentando la concentración más alta y la más baja durante el mes de febrero, llegando a valores cercanos a la anoxia en la zona más profunda. Respecto a la temperatura, los valores más altos se alcanzan en los meses al final de la temporada de secas e inicio de lluvias y los más bajos en los meses fríos, presentando en todos los meses de muestreo un comportamiento de estratificación en la columna del agua durante el tiempo del muestreo, por lo que es posible que el bordo muestra un comportamiento polimíctico cálido continuo (Figura 3).

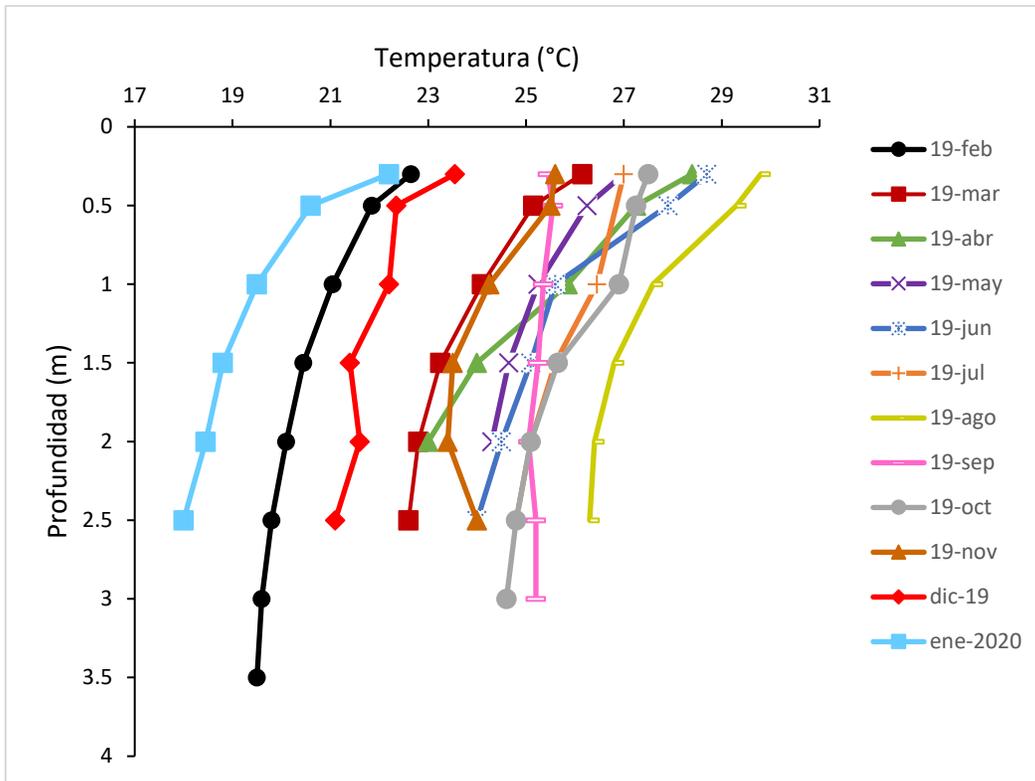


Figura 3. Variación mensual de las temperaturas en el microembalse La Palapa.

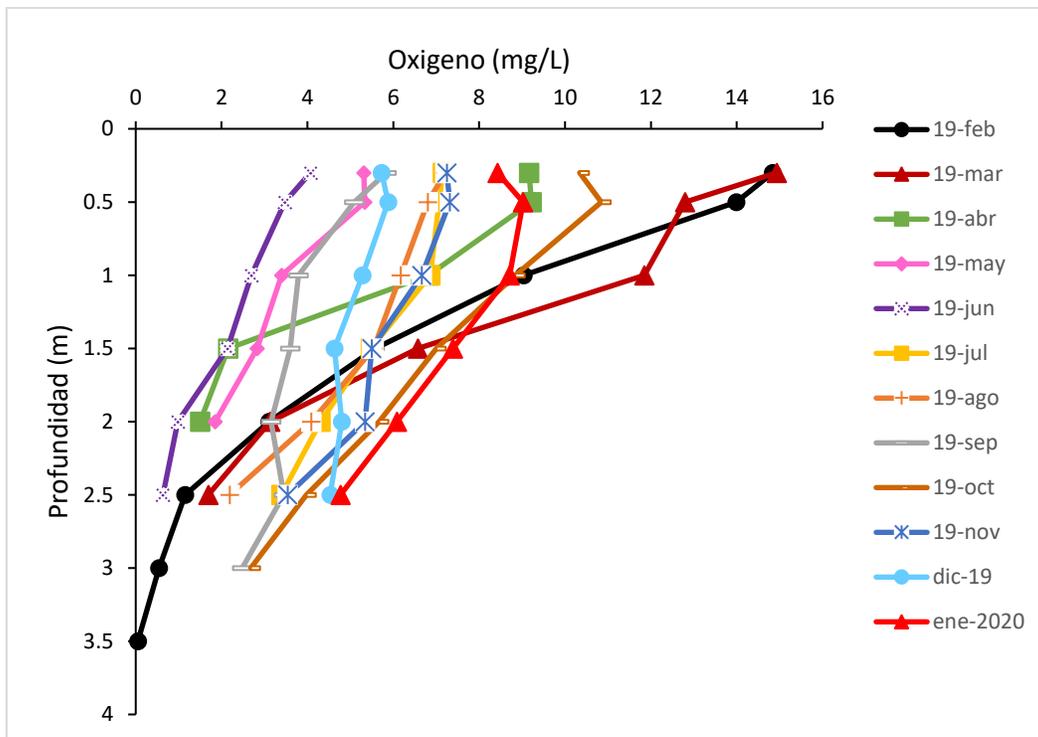


Figura 4. Variación mensual en las concentraciones de oxígeno disuelto en el microembalse La Palapa.

La dureza total es la suma de los carbonatos de calcio más los de magnesio, y la alcalinidad son todas las sustancias hidrosolubles como los carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes en los sistemas. Los valores de alcalinidad obtenidos de las muestras de agua indican que la mayor parte de las sustancias hidrosolubles en el sistema La Palapa son carbonatos de calcio, ya que, al comparar los valores de alcalinidad con los de la dureza de calcio, las concentraciones son casi similares a lo largo del año. Respecto a los valores de dureza total en el sistema, muestran que el agua del sistema tiene un tipo de aguas muy duras, por lo que se clasifican también como aguas productivas, alcanzando la máxima concentración en el mes de enero, correspondiente a la etapa de concentración y la concentración más baja y siendo la excepción de la clasificación en febrero, donde baja a agua dura (Figura 5).

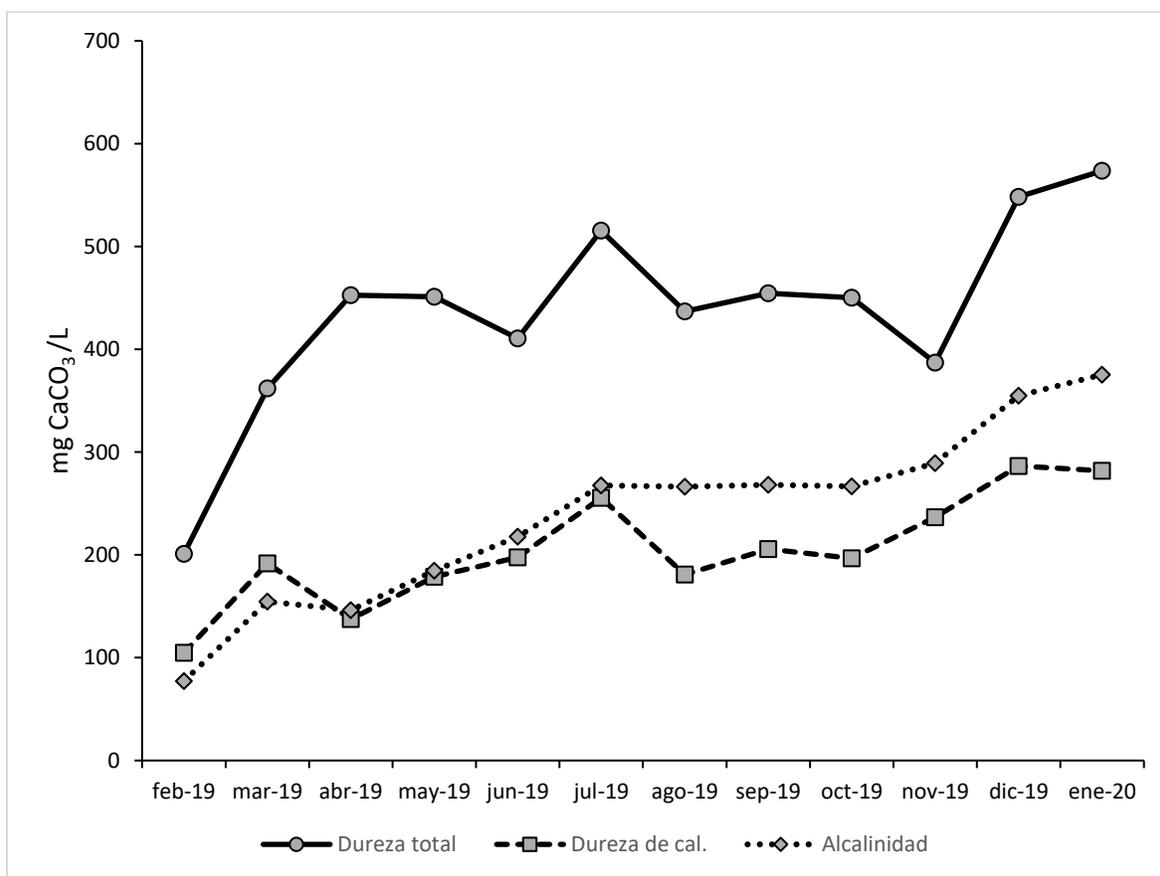


Figura 5. Variación temporal en las concentraciones de Dureza total, Dureza de calcio y Alcalinidad en el microembalse La Palapa.

La conductividad depende de la concentración total de sustancias disueltas en la columna de agua, por lo tanto, es un estimado de contenido de sólidos disueltos. En el microembalse La Palapa los valores de conductividad indican que el sistema de acuerdo a la clasificación del agua de Bauder, *et al.* (2013), cuenta con una condición entre ligera y moderada en sales y de acuerdo a la clasificación de agua para la agricultura cuenta con una calidad de agua normal, contando con los valores más altos durante la temporada de lluvias (Figura 6), indicando, por lo tanto, que el sistema no presenta contaminación.

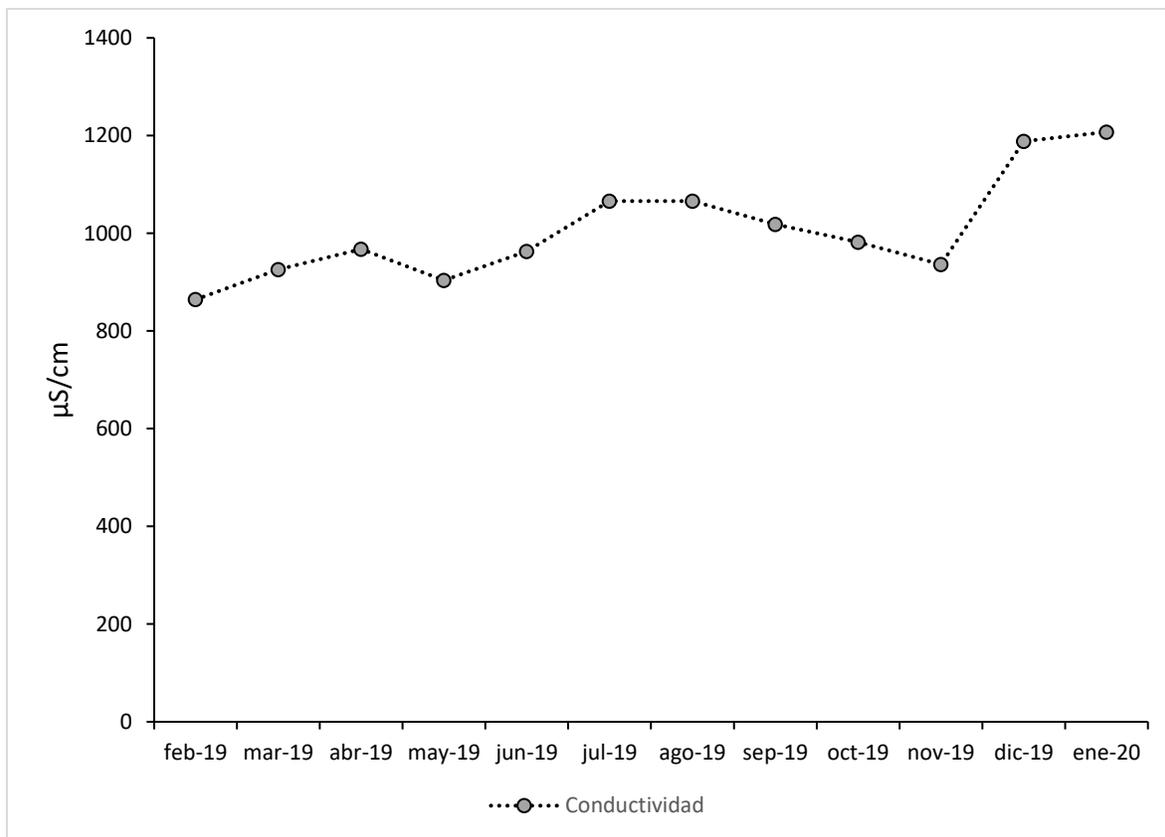


Figura 6. Valores mensuales de conductividad en el microembalse La palapa.

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de los organismos. Las altas concentraciones de los ortofosfatos y fósforo total en el sistema superan en algunos meses (junio, septiembre y noviembre) el doble de la concentración normal para cuerpos fertilizados, por lo que indican que el cuerpo acuático está siendo fertilizado por compuestos externos elaborados a base de fósforo, en este caso el aumento en estos nutrimentos se atribuye a los fertilizantes y pesticidas utilizados por los pobladores en los cultivos cercanos al sistema. Las mayores concentraciones ortofosfatos (fósforo reactivo disuelto) y fósforo total se registró durante los meses lluvias (Figura 7), lo cual contrasta con la disminución de organismos fotosintéticos y acarreo de nutrientes por lixiviación.

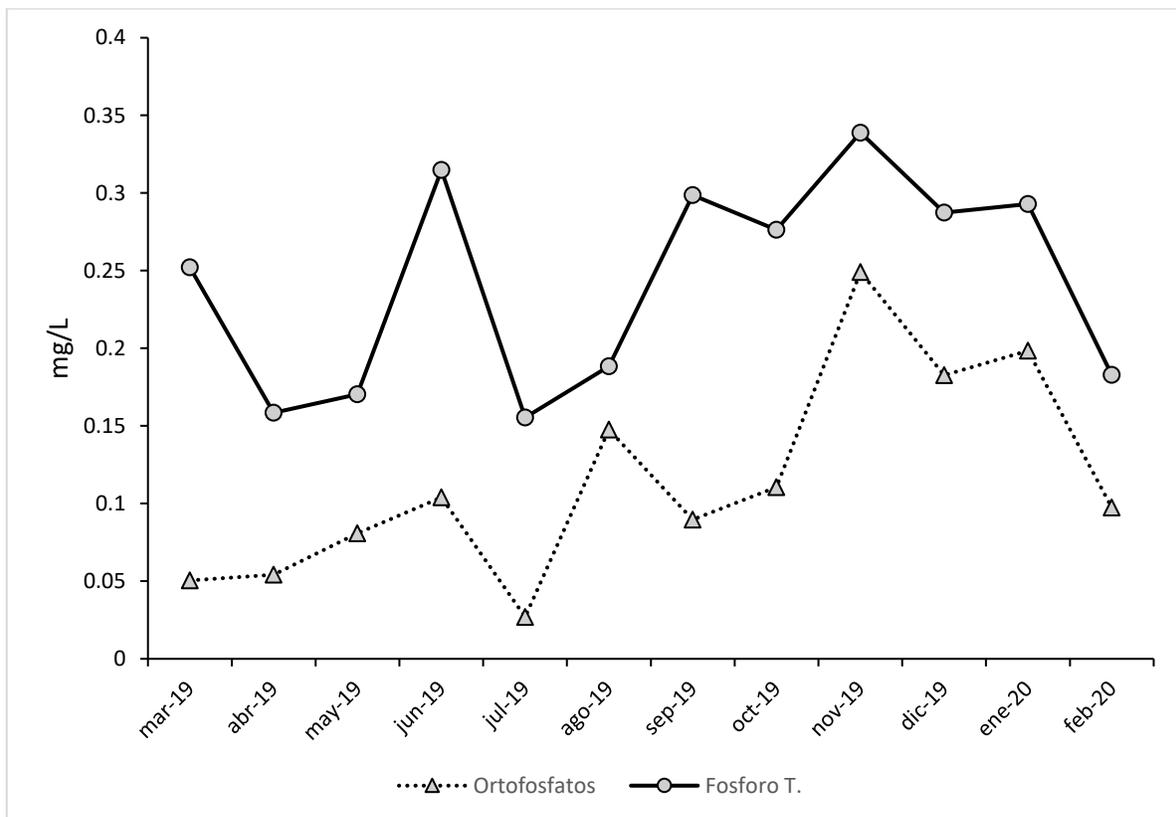


Figura 7. Relación de los ortofosfatos y fosforo total para el microembalse La Palapa.

Los compuestos de nitrógeno registrados dentro de los sistemas acuáticos son los nitratos, nitritos y amonio. La determinación de sus concentraciones sirve de manera fundamental como indicadores de la condición y de contaminación de un sistema en toda la columna del agua. Las concentraciones para las tres formas del nitrógeno fueron menores de 1 mg/L a lo largo de todo el año de muestreo, lo que nos indica que el sistema cuenta con una alta productividad primaria durante todo el año, sin contaminación aparente por materia fecal o materia orgánica en descomposición y en caso especial de los nitritos con concentraciones menores a 0.1 mg/L indican que son agua bien oxigenadas, al ser aguas bien oxigenadas, los nitratos se ven favorecidos y aumentan sus concentraciones, por lo que muestra las mayores concentraciones de los tres parámetros. Las máximas concentraciones registradas de los tres nutrientes, fue en los meses de lluvias (Figura 8).

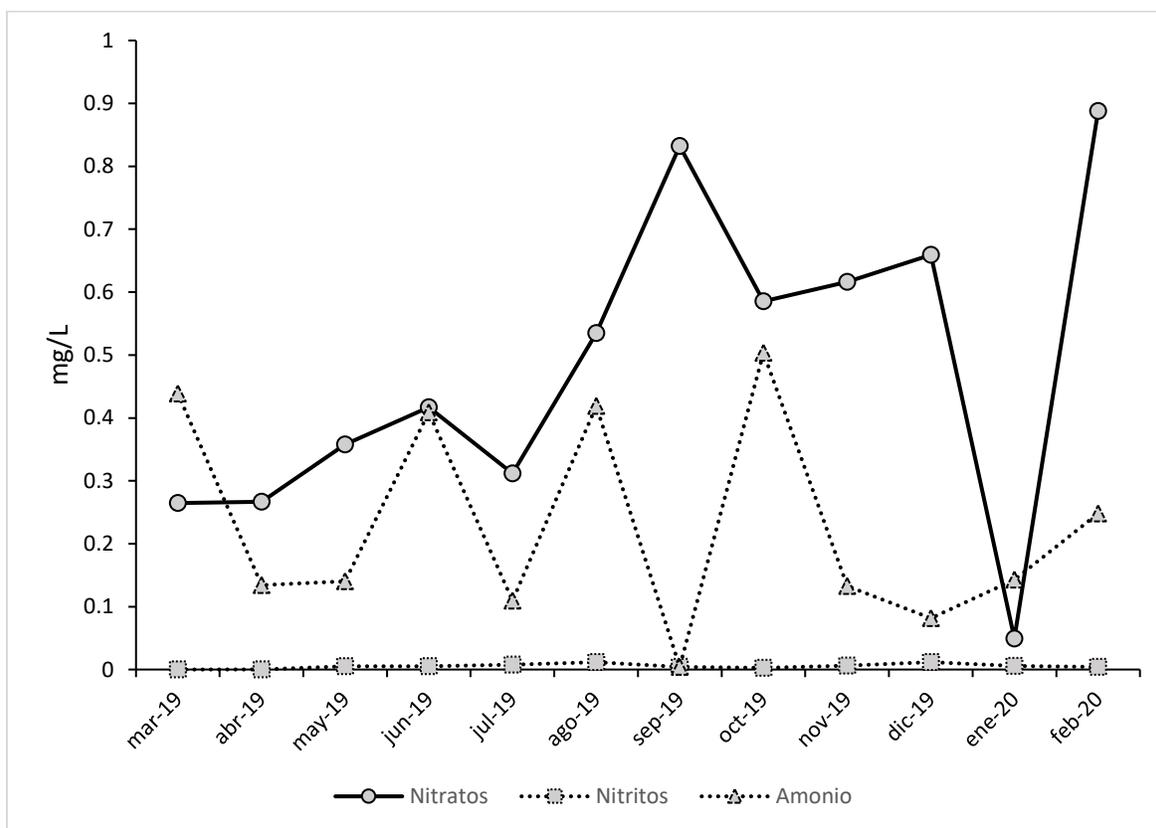


Figura 8. Valores estacionales de los nitroderivados en el microembalse La palapa.

Los sulfatos cuentan con una concentración muy variable a lo largo del año, presentando los valores más bajos durante la época de secas, y los valores más altos durante la temporada de lluvias y época fría; sin embargo, esta variación no afecta al sistema, al ser un sistema bien oxigenado las concentraciones de sulfatos se ven favorecidas y al oscilar entre los 10 a 80 mg/L cuenta con una buena calidad, característica de aguas naturales. Respecto a los silicatos, los valores obtenidos muestran un comportamiento muy estable a lo largo del año, presentando los valores más altos entre los meses fríos y secas y alcanzando los valores más bajos en la época de lluvias, al mostrar un comportamiento lineal, se puede determinar que los organismos que aprovechan este nutrimento como las diatomeas, presentan un valor constante en sus poblaciones a lo largo del año y solo disminuyendo durante los meses fríos (Figura 9).

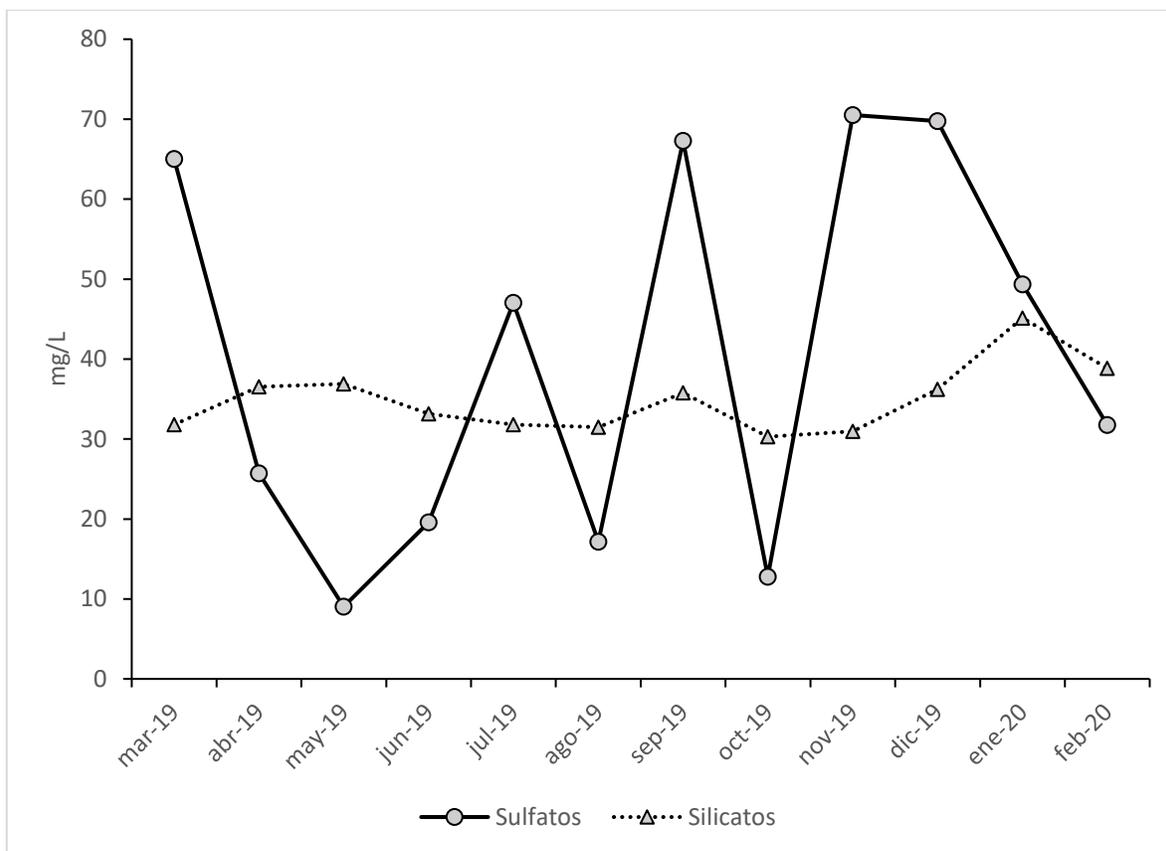


Figura 9. Variación estacional de los Sulfatos y Silicatos en el microembalse La palapa

Durante el año de estudio los valores de pH muestran una variación en sus concentraciones entre los meses de febrero a junio, junio a octubre y octubre a enero, estas variaciones corresponden a las temporadas de secas cálidas, temporada de lluvias y secas frías respectivamente. El proceso de acarreo ocurrido durante la época de lluvias y la posterior disminución del volumen de agua y de la temperatura durante de secas frías, provoca una concentración inicial de las sales las cuales al aumentar la temperatura para los meses de secas cálidas aumentan la concentración del pH de manera significativa y que disminuye de manera gradual durante los meses de lluvias por el aumento de los volúmenes de agua. Respecto a las clorofilas estas mostraron una mayor concentración entre los meses de febrero a abril, temporada donde se presentó una disminución en el volumen del agua, un aumento del pH y un decremento de la transparencia del sistema, lo cual propicia que haya una mayor concentración de organismos fotosintéticos en la capa fótica en el microembalse durante estos meses (Figura 10).

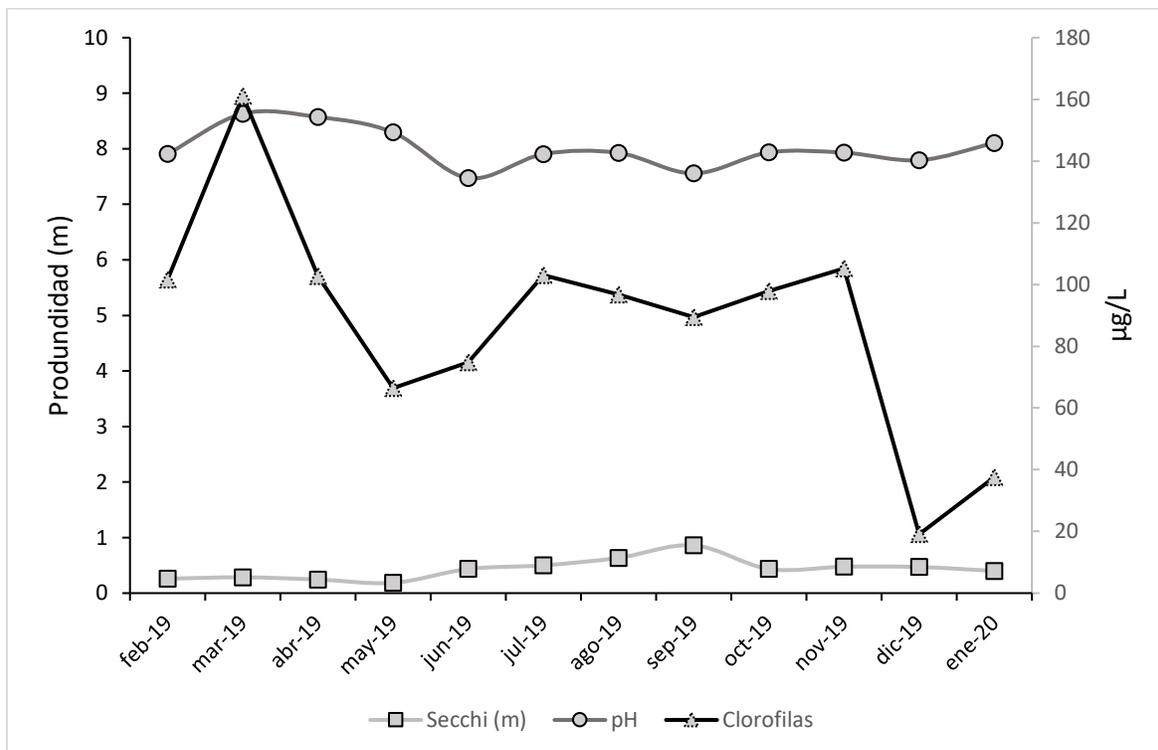


Figura 10. Variación temporal de las Clorofilas en relación con la Transparencia y pH en el microembalse La Palapa.

Índices de Estado Trófico

El estado trófico de un sistema se ve afectado por el proceso de la eutrofización que se lleva a cabo por el enriquecimiento de las aguas por el aporte de nutrientes. De acuerdo con los índices de estado trófico de Carlson y TRIX el microembalse La Palapa cuenta con una variación de hipereutrófia a lo largo del año, excepto por el índice de Carlson el cual indica una disminución a eutrófico en el mes de octubre y diciembre. Respecto con el Índice de Toledo este indica que el sistema cuenta con una clasificación general de eutrófia, pero con aumentos a la hipereutrófia en los meses de enero, junio, agosto y noviembre. También, de acuerdo con los tres índices se registra una disminución en las concentraciones de los nutrientes durante los meses de octubre y diciembre, pero TRIX y Toledo indican una disminución significativa en el mes de mayo. (Figura 11).

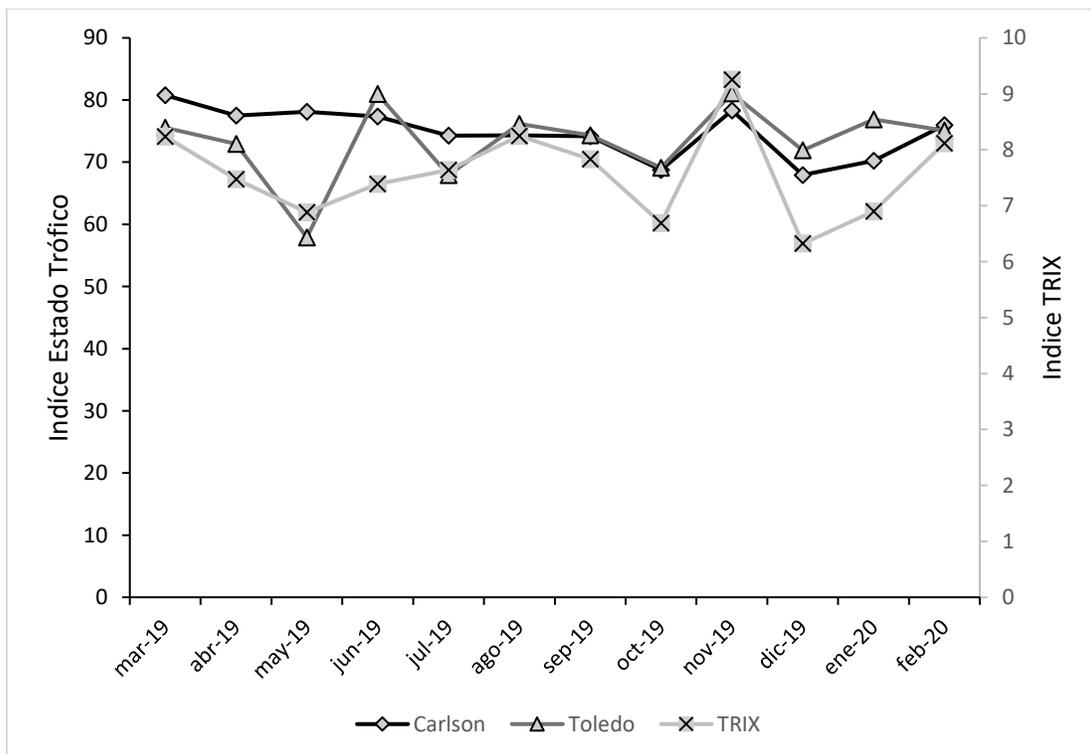


Figura 11. Variación mensual de los Índices de Estado Trófico para el microembalse La Palapa.

Análisis de Correlación de Spearman

El Análisis de Correlación de Spearman (o *rho* de Spearman) es un coeficiente no paramétrico alternativo al coeficiente de correlación de Pearson cuando este no cumple los supuestos de normalidad, siendo una medida de asociación lineal que utiliza los rangos (números de orden) de cada grupo de sujetos y compara dichos rangos (Restrepo *et al.*, 2007; Mondragón, 2014).

Por medio del programa estadístico Statgraphics 19 centurión se realizó el análisis obteniendo los siguientes datos.

Índices de Estado Tráfico

El análisis de correlación para los índices de estado tráfico mostró las siguientes correlaciones entre las variables.

Tabla 6. Análisis de Correlación para los índices de Carlson, TRIX y Toledo

	Carlson	TRIX	Toledo
TRIX	Spearman= 0.6578 $\rho= 0.0201$	---	---
Carlson	---	Spearman= 0.6578 $\rho= 0.0201$	---
Conductividad	Spearman= -0.7409 $\rho= 0.0058$	---	---
Alcalinidad	Spearman= -0.6815 $\rho= 0.0147$	---	---
Dureza total	Spearman= -0.5581 $\rho= 0.0593$	Spearman= -0.5756 $\rho= 0.0502$	---
Fósforo Total	Spearman= -0.2211 $\rho= 0.4899$	Spearman= 0.0547 $\rho= 0.8660$	Spearman= 0.5815 $\rho= 0.0474$
Ortofosfatos	---	---	Spearman= 0.4561 $\rho= 0.1362$
NID	---	Spearman= 0.2307 $\rho= 0.4706$	---
Transparencia	Spearman= -0.3356 $\rho= 0.2862$	Spearman= 0.1748 $\rho= 0.5869$	Spearman= 0.3158 $\rho= 0.3173$
Clorofilas	Spearman= 0.2688 $\rho= 0.3982$	Spearman= 0.0615 $\rho= 0.8494$	Spearman= -0.2215 $\rho= 0.4890$

El índice de Carlson mostró tener una correlación inversa con las variables del factor edafológico (conductividad, alcalinidad y dureza) y una correlación directa con el índice de TRIX, mientras que con las otras variables que se usan en la determinar del índice de Carlson ninguna mostró tener una correlación estadística significativa. Para el índice de TRIX, el análisis determinó una correlación inversa significativa con la dureza total, mientras que para las otras variables tampoco mostro alguna correlación estadística significativa con alguna de ellas. Con el índice de Toledo se determinó una correlación directa significativa con el fósforo total mostrando ser la variable que mayor peso tiene e influye en la determinación del índice.

Nutrientos

Para los nutrientes cada uno de estos se evaluó su correlación contra las demás variables de la calidad del agua obteniéndose valores de correlación de:

Tabla 7. Variables de la calidad del agua con correlaciones significativas en nutrientes

	Z máx.	Conductividad	Alcalinidad	Fósforo T.	Oxígeno	Temperatura
Nitratos	Spearman= 0.6756 $\rho= 0.0159$	---	---	---	---	---
Nitritos	---	Spearman= 0.5872 $\rho= 0.0447$	Spearman= 0.5968 $\rho= 0.0405$	---	---	---
Ortofosfatos	---	---	Spearman= 0.6219 $\rho= 0.0308$	Spearman= 0.6449 $\rho= 0.0236$	---	---
pH	---	---	---	---	Spearman= 0.7486 $\rho= 0.051$	---
Secchi	---	---	---	---	---	Spearman= 0.5784 $\rho= 0.0488$

El análisis de correlación para los nutrientes mostró que las variables amonio, sulfatos y silicatos no presentan ninguna correlación significativa respecto a las demás variables de la calidad del agua, mientras que los nitratos tienen una correlación directa con la profundidad. Los nitritos muestran una correlación directa con dos variables del actor edafológico, las cuales son la alcalinidad y

conductividad. Los ortofosfatos o fósforo reactivo disuelto (FRD) también tienen una correlación directa con la alcalinidad y con el fósforo total. En lo que respecta al oxígeno y la temperatura, aunque no mostraron tener alguna correlación con algún nutrimento, el oxígeno sí mostró una correlación con el pH y la temperatura con la transparencia del sistema.

Alcalinidad, Conductividad, Dureza total y NID

Tabla 8. Análisis de Correlación de conductividad, alcalinidad, dureza total y NID

	Conductividad	Alcalinidad	NID
Conductividad	---	Spearman= 0.8562 $\rho= 0.0004$	---
Alcalinidad	Spearman= 0.8562 $\rho= 0.0004$	---	---
Dureza total	Spearman= 0.8274 $\rho= 0.0009$	Spearman= 0.8123 $\rho= 0.0013$	Spearman= -0.6354 $\rho= 0.0264$
Z máx.	---	---	Spearman= 0.7634 $\rho= 0.0039$
Nitratos	---	---	Spearman= 0.8161 $\rho= 0.0012$

La conductividad, alcalinidad y dureza total al ser variables que corresponden al factor edafológico cuentan con una alta correlación directa entre ellas, siendo la conductividad con la alcalinidad la más alta. La dureza total tiene una correlación inversa con el nitrógeno inorgánico disuelto (NID), mientras que el NID muestra una alta correlación directa con la profundidad y los nitratos.

Clorofila

Para las clorofilas el análisis de correlación no mostró asociación estadística significativa con alguna de las variables, por lo que se determinó que todas las variables de la calidad del agua pueden influir de la misma forma a la proliferación de los organismos fotosintéticos del sistema.

Analisis de componentes principales (ACP)

El método de componentes principales tiene por objeto transformar un conjunto de variables, a las que se denomina originales, en un nuevo conjunto de variables denominadas componentes principales. Estas últimas se caracterizan por estar no correlacionadas entre sí y, además, pueden ordenarse de acuerdo con la información que llevan incorporada. (Anónimo, s.f.; De la Fuente, 2011). Por medio del programa estadístico Statgraphics 19 centurión se realizó el análisis obteniendo los siguientes datos.

El análisis de componentes principales mostró que para el sistema La Palapa existen seis componentes que explican el comportamiento del sistema en relación con las épocas de muestreo. Los seis componentes principales en conjunto representan el 86.6% de la variabilidad de los datos originales (Tabla 9).

Tabla 9. Valores de los 6 componentes principales del análisis

Componente	Eigenvalor	Porcentaje de varianza	Porcentaje acumulado
1	6.33651	31.683	31.683
2	3.67387	18.369	50.052
3	2.39357	11.968	62.020
4	2.16858	10.843	72.863
5	1.53645	7.682	80.545
6	1.20986	4.457	86.594

De los seis componentes principales el primer y segundo componentes obtuvieron los mayores Eigenvalores (6.34 y 3.67 respectivamente), con un porcentaje acumulado de 50.05% entre los dos. Del componente 1 (tabla 10), las variables que más peso tiene son las del factor edafológico (conductividad, alcalinidad y dureza total, con valores de 0.37, 0.38 y 0.31 respectivamente) y el índice de Carlson (-0.31). Para el componente 2 las variables que mayor influencia registraron fueron la profundidad (0.44), los índices de Toledo y TRIX (con valores de 0.38 y 0.32 respectivamente), En el tercer componente la Temperatura (0.54), los silicatos (0.47), las clorofilas (0.44) y la transparencia (0.32) son los que mayor peso tienen. En el cuarto componente los componentes de mayor influencia son el amonio (0.45),

el O₂ (0.45) y el pH (0.32). El quinto componente es el que menor número de variables influyen de manera significativa, siendo únicamente los nitratos (0.58) y los nitritos (0.27) los que tienen un valor importante. Por último, en el sexto componente son los ortofosfatos (0.48), el fósforo total (0.30) y los sulfatos (0.44) los que afectan el comportamiento.

Tabla 10. Pesos de los componentes principales del bordo La Palapa.

	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4	Componente 5	Componente 6
Carlson	-0.311709	0.0356941	0.138085	0.169946	0.306484	-0.11946
TRIX	-0.151205	0.321535	0.197865	0.178548	0.227073	-0.171152
Toledo	0.0547156	0.381021	-0.0724371	0.166059	0.315837	0.117493
pH	-0.239759	-0.205676	0.0114075	0.316397	-0.116385	0.274801
T°	0.123041	-0.0996815	0.542756	-0.00901621	-0.096897	0.134397
O2	-0.230696	-0.0910728	-0.0162591	0.450967	-0.185343	0.17148
TSD	0.363569	-0.129422	-0.0690221	-0.0107792	0.0636638	-0.143825
Conductividad	0.36718	-0.108132	-0.105006	0.0455269	0.0385381	-0.0303674
Alcalinidad	0.37967	-0.016515	0.0629229	0.0811876	0.0957238	0.14487
Dureza total	0.310151	-0.292826	0.0866105	0.0352144	0.158571	0.021981
Secchi (m)	0.232785	0.218235	0.323893	-0.0378605	-0.109268	-0.184986
Z max (m)	0.0125014	0.437853	-0.19943	-0.132959	-0.269159	-0.0388578
Nitratos	-0.0354541	0.316954	0.170352	-0.00108129	-0.584237	-0.0325524
Nitritos	0.254939	0.0237218	0.135719	-0.00408791	-0.266661	0.174125
Amonio	-0.111639	0.141918	-0.0765652	-0.451865	0.251063	0.428274
Ortofosfatos	0.19694	0.19402	-0.0528264	0.334475	-0.0227623	0.477757
Fosforo T.	0.174791	0.286077	0.0103547	0.181246	0.194601	0.300192
Sulfatos	0.15127	0.205203	0.031574	0.356666	0.153149	-0.444221
Silicatos	0.071502	-0.145993	-0.471782	0.295975	-0.185875	-0.0847793
Clorofilas	-0.115754	-0.178205	0.435719	0.123435	0.0370057	0.0561676

En la bigráfica del PCA (Figura 12), en el primer cuadrante se agrupan los meses de secas frías-cálidas (febrero, marzo y junio), e los cuales se asocia las variables de los nitratos y amonio, y los índices de estado trófico de Carlson y TRIX, variables que se ven afectadas por la fase de concentración de los nutrimentos por la reducción del volumen de agua. En el segundo cuadrante representado por los meses de lluvias, se ven incrementado las variables de la Profundidad, Transparencia, Fósforo total, Ortofosfatos, Sulfatos, y Nitritos, variables que se ven influenciado por el factor climático y por lo tanto, el incremento del volumen de agua. En el tercer cuadrante asociado por los meses de secas cálidas (abril y mayo), las variables de Oxígeno disuelto y pH se ven influenciado y regidos por el incremento

de los organismos fitoplanctónicos (analizados por medio de la biomasa de clorofila “a”). Y en el último cuadrante los meses de secas frías (diciembre y enero), principalmente tienen una fuerte asociación con las variables edáficas (alcalinidad, conductividad, dureza total y silicatos), variables que se ven incrementadas en un inicio por el proceso de acarreo en los meses de lluvias (julio) y que posteriormente se ven concentradas por el incremento de la temperatura e inicio de la temporada de secas, durante estos periodos de frías, los organismos fitoplanctónicos se ven reducidos y los componentes del factor edáfico rigen el comportamiento del sistema.

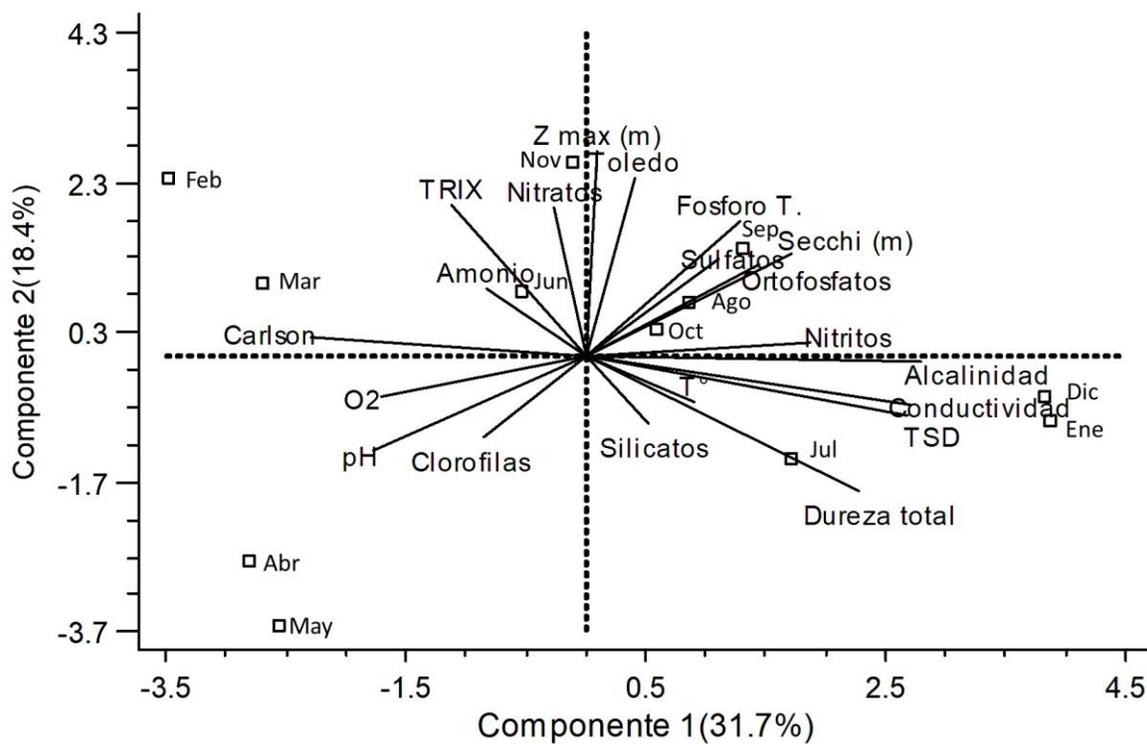


Figura 12. Bigráfica del Análisis de Componentes principales (PCA) de las variables la calidad del agua del bordo La Palapa.

Análisis de Agrupamiento (Clúster)

El dendrograma (Figura 13) muestra las relaciones del comportamiento del sistema en los meses de muestreo de acuerdo con sus relaciones con los parámetros fisicoquímicos que se presentaron, separándose en dos grupos principales, pero dividiéndose uno en dos grandes subgrupos. El primer grupo se subdivide en dos grandes subgrupos, representándose el primero principalmente por todos los meses de lluvias (junio, julio, agosto, septiembre y octubre) e inicio de frías (noviembre) y el segundo subgrupo por los meses de secas, representado por un mayor temperatura y evaporación en el sistema (febrero, marzo, abril y mayo). El segundo grupo representado por los meses de secas frías (diciembre y enero) caracterizado principalmente por las bajas temperaturas.

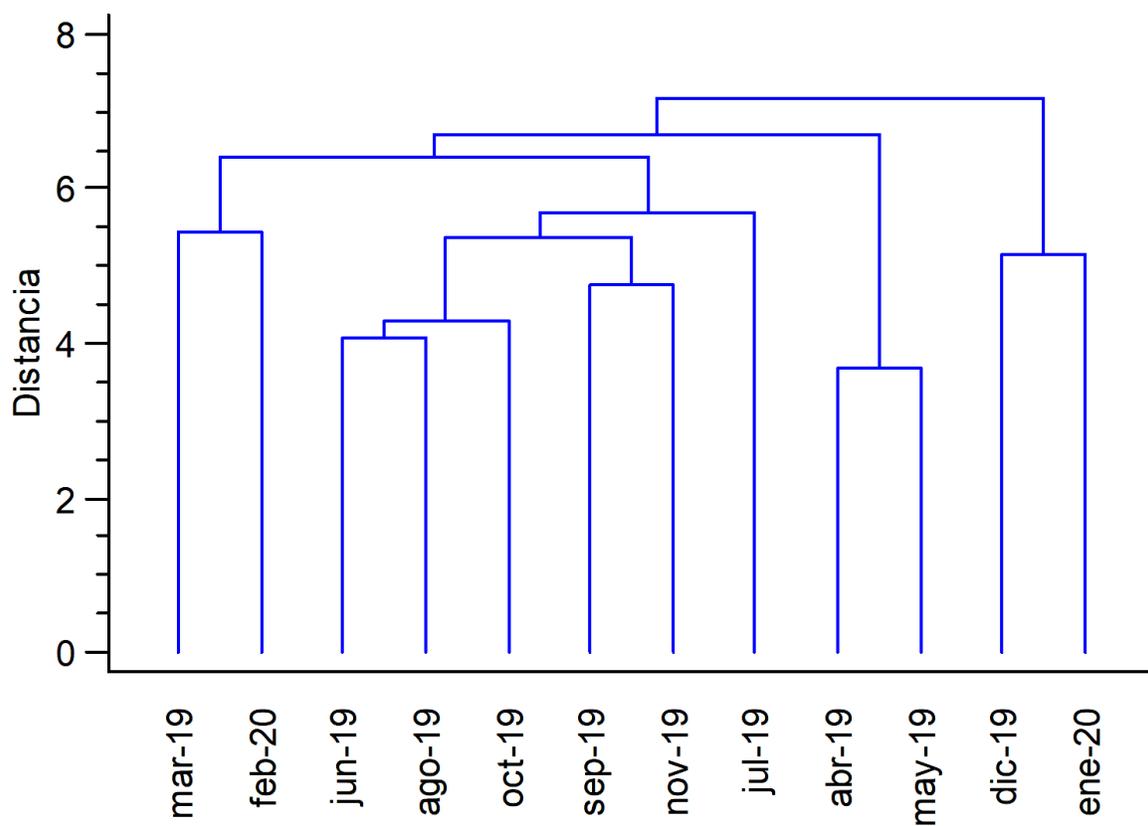


Figura 13. Dendrograma de los meses de muestreo de acuerdo a los parámetros de la calidad del agua.

Se realizó una prueba de Kruskal-Wallis para evaluar si existía diferencias significativas en el estado trófico del sistema entre las diferentes temporadas climáticas en base al Índice de Estado Trófico de Carlson y el Índice de Estado Trófico TRIX, basando las temporadas climáticas de acuerdo a los datos obtenidos por el análisis Clúster. La prueba mostró que no existe diferencias estadísticas significativas en el estado trófico del sistema entre las diferentes épocas del año, obteniéndose un valor de $H= 5$; $P= 0.10$ para el índice de Carlson y un valor de $H= 5$; $P= 0.11$ para el índice de TRIX.

DISCUSIÓN

Los embalses son reservorios de agua utilizados para satisfacer las necesidades de la sociedad y el medio ambiente. Entre las más destacadas figuran la generación de energía, la provisión de agua para consumo humano, animal y riego, la atenuación de crecientes, la recarga de capas subterráneas y la provisión de hábitat para una gran cantidad de especies animales y vegetales (Sriwongsitanon *et al.*, 2011).

Entre los diversos problemas ambientales de los lagos y embalses, la eutrofización es uno de los más frecuentes, siendo este un proceso por el cual un cuerpo de agua es enriquecido con nutrientes limitantes para el fitoplancton, principalmente fósforo y nitrógeno, y en algunas ocasiones silicio, potasio, hierro o manganeso. Estos nutrimentos promueven el crecimiento excesivo de algas y su acumulación, las cuales se descomponen por la intervención de microorganismos aerobios presentes en el sistema, agotando el oxígeno disponible, provocando la turbidez en los cuerpos de agua, condiciones anóxicas y como resultado, la muerte y descomposición de la flora y fauna acuática (Harper, 1992). Este fenómeno es parte de un proceso natural de envejecimiento de los lagos, que ocurre en forma lenta (Bonansea *et al.*, 2012). Si bien la eutrofización se produce en forma natural, normalmente está asociada a fuentes antropogénicas de nutrientes (Moreno *et al.* 2010), por lo cual muchos lagos han sufrido graves daños por parte de las actividades diarias de la sociedad, las cuales afectan su estética, el turismo y la economía en general (Vollenweider, 1970).

Actualmente el microembalse La Palapa cuenta con un fuerte problema de eutrofización, catalogándose como un sistema en transición entre el estado eutrófico y el hipertrófico. Este estado trófico del sistema no es de extrañar ya que la principal función del microembalse es para el almacenamiento de agua de riego de uso agrícola, por lo tanto, los cultivos aledaños al sistema aportan gran cantidad de nutrientes por medio del acarreo, producto de los fertilizantes y pesticidas usados normalmente para los cultivos durante los meses de lluvias, incorporando en gran medida principalmente fósforo total y ortofosfatos al enriquecimiento del sistema.

Kratzer y Brezonik (1981) describen que el método más adecuado para evaluar el estado de los lagos es mediante índices que reflejen dicha condición, siendo los más utilizados aquellos que integran más de un criterio para su clasificación. Carlson hace su propuesta del TSI bajo el supuesto de que el material particulado suspendido controla la profundidad del disco de Secchi y que la concentración algal en el agua es la principal fuente de este material (Carlson, 1977), mientras que Vollenweider y colaboradores (1998) analizan la condición ambiental y la estimación del grado de deterioro de los sistemas acuáticos. Toledo *et al.* (1985) se basa en parte en el índice planteado por Carlson (1977) y en el trabajo desarrollado por Vollenweider (1976), pero modificando la formulación matemática del IET de TRIX con el fin de adaptarlo a las condiciones climáticas de los ambientes tropicales, estimando un nuevo K_s que implicó un aumento en 1.7 veces la velocidad de sedimentación del fósforo, considerada en la expresión original y evaluar la inclusión de los ortofosfatos.

Aunque la inclusión de los ortofosfatos como variable de alteración en el índice se basa en que los ecosistemas acuáticos de zonas tropicales poseen un alto grado de productividad, debido a una alta tasa de asimilación de nutrientes, teniendo una capacidad para metabolizar las cantidades de nutrientes mucho más rápido que la que poseen los ecosistemas en la zona templada. Los ortofosfatos son la única forma significativa del fósforo inorgánico, valores significativos que se corroboran con un valor de significancia en el análisis de correlación de Spearman. Por lo que, la inclusión de los ortofosfatos como variable en el índice, se ve alterado al tomar en cuenta que la concentración de ortofosfatos ya se ven incluidos en la concentración del fósforo total.

Si bien Rivera y Hernández (2011), Ruiz (2017) y Retana (2019) determinaron que el cuerpo de agua se encontraba en un nivel eutrófico con tendencia a la hipertrofia de acuerdo con el IET de Carlson. Actualmente y de acuerdo a este índice el sistema ya cuenta con una clasificación mayor de hipertrófico en 10 de los 12 meses del año; sin embargo, si se considera el Índice de estado trófico de Toledo, esto marca una mayor tendencia al estado Eutrófico, por lo que al igual que lo señalado por

estos tres autores, se determina que el sistema sigue estando en un estado de transición entre el estado Eutrófico y el Hipertrófico, pero señalando que los procesos de enriquecimiento y envejecimiento del sistema actualmente se han estado incrementando de manera importante, cambiando su condición y registrando valores de estado trófico altos en menos de 10 años, siendo el aporte de fósforo total y los materiales inorgánicos los que alteran la transparencia del sistema de acuerdo con el análisis de correlación, ya que como se mencionó anteriormente las altas concentraciones de los ortofosfatos y fósforo total en el sistema superan en algunos meses (junio, septiembre y noviembre) el doble de la concentración normal para cuerpos fertilizados, por lo que indican que el cuerpo acuático está siendo fertilizado por compuestos externos elaborados a base de fósforo, provocando los mayores problemas de esta eutrofización.

Respecto a las clorofilas, Hernández y García (2007) mencionan que la presencia y aumento de las clorofilas en el agua son una respuesta inmediata a la variabilidad de los nutrimentos. El problema surge cuando el crecimiento de algas y cianobacterias que se producen por eutrofización son excesivos, por lo cual, pueden ocasionar mortandades de animales y plantas, debido a la producción de cianotoxinas para el bordo La Palapa. Los valores en las clorofilas son muy marcados por las épocas de lluvias y secas, para los meses de secas frías se registran los valores más bajos, siendo el mes de diciembre el más bajo con un valor de 19.06 µg/L, mientras que para los meses de secas cálidas sus valores se incrementan en gran medida, por el incremento en la temperatura y disminución del oxígeno, por lo cual se registraron valores máximos de 161.13 µg/L, lo cual de acuerdo al análisis de correlación indica que el oxígeno es el factor que más se asocia a la concentración de clorofila en el sistema. De igual forma, Rivera y Hernández (2011), Ruíz (2017) y Retana (2019) registran para el sistema los mayores valores de Clorofila "a" en los meses de secas cálidas y los menores valores en los meses de secas frías.

El comportamiento hidrológico del sistema de acuerdo con Rivera y Hernández (2011), se caracterizó por tener una etapa de dilución debido al incremento en el

volumen que se da a partir del inicio de la temporada de lluvias. Estas fases (concentración y dilución) son muy comunes en estos sistemas tal como es citado por Barclay (1966), Cole (1979), Arredondo-Figueroa y Flores-Nava (1992) y Hernández-Avilés *et al.* (2007). Sin embargo, y de acuerdo con los datos obtenidos, el único nutrimento que cumple con el comportamiento descrito por los autores fueron los silicatos, el cual se ve alterado su concentración por el oxígeno, siendo este menor en temporada de secas y mayor en temporada de lluvias. Todos los demás nutrimentos muestran los valores más altos durante la época de lluvias (o etapa de disolución). Este comportamiento en el incremento de sus valores en los meses de disolución se puede explicar por el tipo de uso que tiene el sistema y las actividades humanas realizadas en las cercanías del microembalse. El agua del bordo La Palapa se utiliza principalmente con fines agrícolas, las concentraciones de nutrimentos tales como fósforo y nitrógeno, producto de los fertilizantes y pesticidas utilizados en los cultivos y los sedimentos desprendidos del suelo por el arado se concentran en los suelos de las plantaciones a lo largo de los meses de secas y frías, y al iniciar la temporada de lluvias, la precipitación arrastra todos esos nutrimentos y partículas al sistema acuático incrementando sus concentraciones durante estos meses y por lo tanto, registran un comportamiento contrario a los citados por los autores. Además, durante esta etapa, la apertura de la compuerta se mantiene abierta por espacio de 10 horas al día, para realizar el riego de las zonas de cultivo, independientemente de la cantidad de lluvia que haya caído un día antes por lo cual, también se pierden nutrimentos dentro del ecosistema acuático.

El oxígeno disuelto es otro de los parámetros importantes en los cuerpos acuáticos, de acuerdo con Wetzel (1981) el oxígeno es esencial para el metabolismo de todos los organismos acuáticos que presentan respiración de tipo aeróbica y su consumo depende de la actividad de las bacterias, la temperatura, la época del año y de la materia orgánica en suspendida y los valores varían entre los 7.0 y 8.0 mg/L. En el bordo La Palapa, los valores de oxígeno disuelto en general indican que se tiene buena oxigenación, si bien durante los meses de secas cálidas el oxígeno baja drásticamente sin llegar a registrar anoxia en las zonas más profundas (0.3 mg/L

febrero, 1.6mg/L marzo, 1.5 mg/L abril, 1.8 mg/L mayo y 0.6 mg/L junio), por lo que las condiciones del sistema son óptimas y presentan una adecuada oxigenación, rondando en promedio entre 7 mg/L. De igual manera, de acuerdo con Lind (1985), las bajas concentraciones de amonio (<1 mg/L) son propias de los sistemas bien oxigenados, así como también en condiciones bien oxigenadas los nitritos se transforman en nitratos prevaleciendo estos con concentraciones bajas (<1 mg/L) (Boyd, 2001). La Palapa al contar con concentraciones menores a 1 mg/L para los tres compuestos (0.23 mg/L de amonio, 0.005 mg/L de nitritos y 0.48 mg/L de nitratos) se confirma que es un sistema bien oxigenado.

En cuanto a la alcalinidad y dureza, existe una gran relación entre ellas, esto se debe a que los iones de calcio, magnesio y bicarbonatos son derivados equivalentes de los mismos depósitos geológicos y por lo tanto los valores de alcalinidad y dureza son frecuentemente similares en magnitud; sin embargo, en algunos cuerpos de agua la alcalinidad total puede exceder a la dureza o viceversa (Arredondo y Ponce, 1998; Tovar, 2005).

Arredondo y Ponce (1998) indican que las aguas que contienen 40 mg/L o más de alcalinidad total son consideradas muy productivas, mientras que para la dureza determina que los cuerpos con concentraciones entre 150 y 300 mg CaCO₃/L son aguas duras, mayores a 300 son aguas muy duras; es decir, para el sistema La Palapa las aguas son muy duras (453 mg CaCO₃/L para la temporada de lluvias y 421 mg CaCO₃/L para la de secas) y muy productivas, durante casi todo el año, exceptuando el mes de febrero, donde las concentraciones de dureza (200 mg CaCO₃/L) y alcalinidad llegan a su punto más bajo y determina aguas muy productivas y duras. Asimismo, Arredondo y Ponce (1998) mencionan que las aguas duras tienden a ser más productivas biológicamente que las aguas suaves, ya que estas últimas son deficientes en calcio y magnesio.

En los embalses, las variaciones de las fuentes de calor durante el día imponen un ciclo diario de temperatura de los afluentes que ingresan al sistema, la cual es importante en el comportamiento espacio-temporal de la estructura térmica en estos (Román-Botero *et al.*, 2010). Diaz *et al.* (2005) menciona que la temperatura en los

cuerpos acuáticos es un factor de suma importancia y es determinante en la distribución de algunas especies, y sus variaciones se pueden relacionar con respecto a la latitud, altitud, topografía y productividad acuática, los cuales afectan tanto la estructura de las comunidades como su abundancia y diversidad. De acuerdo con Hutchinson (1967) las temperaturas en los cuerpos de agua tropicales varían entre los 20 y 30 °C a lo largo del año. En el microembalse La Palapa las temperaturas del agua variaron entre los 20 y 30 °C, registrando el valor más bajo en el mes enero (19.87 °C) y el más alto en el mes de agosto (28 °C), por lo tanto, el microembalse La Palapa se puede clasificar como un cuerpo de agua cálido.

La transparencia tiene una gran importancia, ya que refleja una estimación de la materia orgánica, materiales coloidales y minerales presentes en la columna del agua y que afectan el nivel de penetración de los rayos solares (Espigares-García y Fernández-Crehuet, 1999). En el microembalse la Palapa se registraron los valores más bajos de transparencia en el mes de mayo generado gracias a la gran cantidad de partículas suspendidas, la evaporación, altas temperaturas por la temporada de secas y los bajos volúmenes de agua registrados, y el valor más alto registrado fue en el mes de septiembre, debido al periodo de lluvias, etapa en la que se presenta una disolución de los materiales, disminuyeron las partículas coloidales en el sistema por el aumento de los volúmenes de agua y una disminución de la temperatura ambiental.

Cole (1979) y Arredondo-Figueroa y López-Nava (1992) citan que los ecosistemas acuáticos que son someros se pueden considerar como sistemas productivos, por presentar valores de profundidad promedio menores a uno, ya que se favorece la interrelación entre la masa de agua y los materiales del fondo.

El análisis de componentes principales (ACP) nos permite determinar e identificar las variables que rigen y explican la mayor parte del comportamiento del sistema. Para el microembalse La Palapa, el ACP mostro que existen 6 componentes que establecen la mayor parte de la conducta del sistema, de los cuales los dos primeros explican el 50% de este comportamiento. De los dos primeros componentes el primer componente sobresale de manera principal por estar comprendido por las

cuatro variables asociadas al factor edáfico (alcalinidad, conductividad, dureza total y SDT). Las variables del factor edáfico cuentan con una gran importancia en los sistemas acuáticos, ya que estos influyen y se ven influenciados por otros parámetros de la calidad del agua. Por ejemplo, la transparencia del agua se ve afectada por la turbidez de la misma, la cual es causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas, tanto orgánicas como inorgánicas (NMX-AA-038-SCFI-2001), la atenuación de esta transparencia altera la cantidad de luz que penetra en el sistema y disminuye la fuente de energía disponible para los organismos fotosintéticos. Entre las diferentes partículas inorgánicas suspendidas y disueltas en el agua, los SDT son básicamente la suma de todos los minerales, metales y sales disueltas en el agua (Sigler y Bauder, *S.f.*). En el caso del pH, este está muy relacionado con alcalinidad y a menudo son medidos conjuntamente, ya que la alcalinidad se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua y que como producto de hidrólisis generan el ión hidroxilo (OH^-), como son las bases fuertes y los hidróxidos de los metales alcalinotérreos (NMX-AA-036-SCFI-2001).

Para el microembalse La Palapa; Retana (2019) en su análisis de componentes principales registra valores similares, en el que de igual manera cuenta con seis componentes que describen el sistema, siendo el primer y segundo componente regidos por el factor edáfico. Rivera y Hernández (2011) registran para el análisis de componentes principales 5 componentes principales que explican el comportamiento del sistema, pero mencionando que las variables climáticas, los nutrientes y las edáficas, son las que tienen más peso en el primer componente y para el segundo componente el factor climático y los nutrientes son los que influyen el sistema. En cambio, Ruíz (2017) registra en el análisis multivariado (ACP) 5 componentes que explican el 85% del comportamiento del sistema, siendo el primer componente regido por el factor climático y el segundo componente por el factor edáfico.

Santibáñez (2013) para el bordo Huitchila registro 7 componentes principales, los cuales explican el 97% del comportamiento del sistema, siendo el primer y segundo componente los que explican el 46.5%. Sánchez y Zamora (2012), registran un

análisis de 6 componentes principales que explican el 89.4% del sistema, siendo primer componente regido por el factor edáfico, y el segundo componente por el factor climático. Por su parte Gómez-Márquez y colaboradores (2013) registran 5 componentes principales que representaron el 93% del comportamiento del sistema, siendo el primer componente influenciado principalmente por el factor edáfico, mientras que en el segundo componente el actor que más afecta es el climático.

El análisis de correlación nos permite establecer las asociaciones o relaciones entre las distintas variables del sistema. En este análisis para los índices de estado, el IET de Carlson y de TRIX mostraron tener una relación significativa con las variables del factor edáfico, mientras que el índice de Toledo muestra relación con los nutrientes. En cuanto a las variables de los nutrientes, estas también mostraron relaciones con algunos de los componentes del factor edáfico, y en el caso de los nitratos registró asociación con la profundidad. En el caso del factor climático, este mostró tener relación con los parámetros físicos y químicos. En cuanto a la variable biológica (clorofila), no mostro tener alguna relación significativa con ninguna variable, por lo que se determina que todas las variables influyen de manera similar en el incremento o disminución de sus concentraciones.

García (2011) para el microembalse La Palapa en su análisis de correlación, no mostro ninguna correlación significativa en ninguno de los parámetros de la calidad del agua, mientras que Rivera y Hernández (2011) reportaron que el fitoplancton cuenta con una correlación positiva con la dureza total (una de las variables edáficas) e inversa con los nutrientes. La correlación antes descrita por los autores mencionados anteriormente concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio, en el que las concentraciones de clorofila "a" incrementan durante la época de secas cálidas y disminuyen en las épocas de secas frías, épocas en el que las concentraciones de las variables de los nutrientes se ven disminuidas e incrementadas respectivamente.

En el caso del Análisis de agrupamientos (Cluster), el estudio mostro tres épocas climáticas marcadas; secas frías (diciembre y enero), secas cálidas (febrero, marzo,

abril y mayo) y de lluvias (junio, julio, agosto, septiembre, octubre e inicio de noviembre). Retana (2019), Ruiz (2017), Rivera y Hernández (2011) y Gómez-Márquez *et al.* (2013), mencionan similares resultados del análisis del agrupamiento para diferentes bordos, aunque con algunas pequeñas variaciones, pero al final, el mismo comportamiento de las épocas del año registradas por cada uno de ellos marcadas como época de lluvias (junio, julio, agosto, septiembre y octubre) y la época de secas, donde se incluyen la de frías y secas (noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo).

Aunque los diferentes registros muestran una gran variación de los meses determinados para cada estación del año, con la información de estos mismos y de los datos obtenidos en el presente estudio, se puede determinar que la época de secas cálidas abarca desde mediados del mes de marzo hasta mediados de junio, la época de lluvias desde finales de junio, hasta inicio de noviembre y la época de secas frías desde inicio de noviembre hasta finales de febrero. Este comportamiento de las épocas registradas independientemente de los autores que las hayan determinado parece definir la variación de los factores físicos y químicos que influyen sobre los factores bióticos y por lo tanto, el estado trófico del sistema acuático.

Con base en los resultados obtenidos en el estudio, se puede decir que el agua del bordo La Palapa, presenta buena calidad y se de acuerdo con la normatividad vigente, está dentro de los límites permisibles de calidad, por lo que su uso se puede destinar a las actividades agrícolas y pesqueras por parte de la comunidad del municipio de Ayala, Morelos que hace uso de ella.

El tener una buena calidad de agua en el microreservorio, permitirá que los pescadores mantengan la producción de tilapia, debido a que factores como la temperatura, calidad y cantidad de alimento y los nutrimentos aportados por el afluente, así como por efecto de la época de lluvias, son algunos de los factores que pueden limitar u desarrollo y crecimiento de la comunidad íctica en este reservorio de agua.

CONCLUSIONES

- El cuerpo de agua se clasifica como un sistema acuático cálido con temperaturas del agua entre 18 y 30 °C, aguas bien oxigenadas (>5 mg/L), muy duras y productivas (>40 mg/L CaCO₃)
- El microembalse La Palapa presenta procesos de eutrofización, debido al enriquecimiento excesivo por fósforo y nitrógeno, lo cual permite proliferación de organismos fotosintéticos, con tendencia a la hipereutrofización.
- La evaluación del estado trófico del sistema no mostró diferencias significativas entre las temporadas de lluvias y secas, y con base en los diferentes índices de estado trófico utilizados no se observaron diferencias en el comportamiento del sistema entre ellos.
- De acuerdo con la NOM-001-ECO-1996 el agua del microembalse La Palapa se encuentra dentro de los límites permisibles de la calidad del agua, por lo que su uso en actividades agrícolas y pesqueras es adecuado.

BIBLIOGRAFIA.

1. Anónimo (s.f.). Capítulo 5, Componentes Principales. Recuperado de https://www.mhe.es/universidad/ciencias_matematicas/pena/home/CAPITU_LO.PDF
2. Arredondo-Figueroa, J.L., Diaz-Zavaleta G. y Ponce-Palafox, J.T. (2007). *Limnología de Presas Mexicanas: Aspectos teóricos y prácticos*. AGT editor, S.A., 1ª ed. UAM, México. 898 p.
3. Arredondo-Figueroa, J. L. y Flores-Nava, A. (1992). Características Limnológicas de Pequeños Embalses Epicontinentales, su uso y manejo en la acuicultura. *Hidrobiológica*. 3(4), 1-10 p.
4. Arredondo, F. J. L. y Ponce, P. J.T. (1998). *Calidad del agua en acuicultura. Conceptos y aplicaciones*. D. F., México. AGT Editores. 236 p.
5. APHA, AWWA, APCF (1992). *Standard Methods for Examination of Water and Sewage and Wastewater*. 18ª ed. EE. UU. 1100 p.
6. Barclay, M. H. (1966). An ecological study of a temporary pond near Auckland New Zealand. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*. 17(2), 239 – 258 p.
7. Bonansea, M., Ledesma, C., Rodríguez, C. & Sánchez, A., (2012). Concentración de clorofila-a y límite de zona fótica en el embalse Río Tercero (Argentina) utilizando imágenes de satélite CBERS-2B. *Revista Ambiente & Agua*. 7(3), 61-71 p.
8. Boyd, C.E. (2001). *Condiciones sobre la calidad del agua y del suelo en cultivos de camarón*. En: Haws, M.C., Boyd, C.E. (eds). *Métodos para la mejorar la camaronicultura en Centroamérica*. Ed. Imprenta UCA. Managua. Nicaragua. 24-25 p.
9. Carlson, R. E. (1977). A trophic state index of lake. *Limnol. Oceanogr.* 22(2): 364-368 p.
10. Carrasco-Vargas, U. Y., Díaz-Vargas, M., Molina-Astudillo, F. I., García-Rodríguez, J. y Elizalde-Arriaga, E. E. (2014). Composición fitoplanctónica

- de la presa El Abrevadero, Jantetelco, Morelos, México. *Acta Universitaria*, 24(6), 3-10 p.
11. Cervantes, S. A. (1984). *Manual de Técnicas Básicas para el Análisis de Ambientes Acuáticos*. Carrera de Biología, ENEP Zaragoza. UNAM. México. 60 p.
 12. Cole, G. A. (1979). *Textbook of Limnology*. 2ª ed. The C.V. Mosby Co. Lousi. U.S. 426 p.
 13. CONAGUA (2010). *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2010. Coordinación General de Atención Institucional, Comunicación y Cultura del Agua de la Comisión Nacional del Agua. SEMARNAT. México. 258 p.
 14. CONAGUA (2016). *Estadísticas del Agua en México*. 1ª edición. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México. 31-33 p.
 15. CONAGUA (2021). *Calidad del Agua en México*. Gobierno de México. Recuperado de. <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua#:~:text=“RED%20NACIONAL%20DE%20MEDICIÓN%20DE,%2C%20Olénticos%2C%20costeros%20y%20subterráneos>
 16. De la Fuente, F.S. (2011). Análisis de Componentes Principales, ACP. *Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*. Universidad Autónoma de Madrid (UAM). España. 34 p.
 17. De la Lanza-Espino, G. (1990). *Algunos Aspectos Sobre Hidrología y Calidad del Agua*: Pp.181-196. En: De la Lanza-Espino, G. y J.L. Arredondo (compiladores). *La acuacultura en México: de los Conceptos a la producción*. UNAM. México.
 18. De la Lanza-Espino, G. y García-Calderón J. L. (2002). *Lagos y Presas de México*. AGT Editor, 2ª Edición, México. 680 p.
 19. Díaz, V. M., Elizalde, A. E., Quiroz, C. H., Molina, A. F. y García, R. J. (2005). Caracterización de algunos parámetros físico-químicos del agua y sedimento del lago Zempoala, Morelos, México. *Acta Universitaria*. 15(2), 57-65 p.

20. Diaz-Vargas, M., Trujillo-Jiménez, P., Molina-Astudillo, I. y García-Rodríguez, J. (2012). Uso actual y caracterización del embalse Las Teclas, Tepalcingo, Morelos, México. *Revista de Investigación Social*. 14(9), 9-30 p.
21. Dirección General de Aguas (2018). *Minuta; Análisis de la relación entre la concentración de clorofila "a" y la transparencia de los lagos monitoreados por la red de calidad de la DGA, y elaboración de un ranking de lagos basado en el estado trófico otorgado por estos parámetros*. Ministerio de obras Públicas, Chile. 45 p.
22. Drovandi, A., Zuluaga, J., Filippini, M., Bermejillo, A., Peralta, P., Bustamante, M., Ruiz, M., Granero, M., Morsucci, A., Velgas, M., Valdés, A. y Nacif, N. (2005). *Diagnostico Preliminar del Estado Trófico del Embalse el Carrizal*, Provincia de Mendoza. XX Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. 28 p.
23. Echaniz, S. y Vignatti, A. (2019). Determinación del Estado Trófico y de la Capacidad de Carga del Embalse Casa de Piedra. *BioScriba* Vol. 2 (1) 41-51.
24. Ertug, E. y Hoekstra, A. (2012). *Carbon and Water footprints, Concepts, methodologies and policy responses*. UNESCO. 24 p.
25. Espigares-García, M. y Fernández-Crehuet, M. (1999). Calidad del agua para consumo público: caracteres físico-químicos. *Estudio sanitario del agua*. Pérez López. JA y Espigares García, M. (eds). Editorial Universidad de Granada, Granada, 85-114 p.
26. Fernández, D., Martínez, M., Ramírez, H. y Martínez, B. (2017). *Diseño y construcción de Jagüeyes*. 2ª Ed. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México. 15 p.
27. Flores-Gómez, S., Siu-Cesar, J., TTira-Aures, E., Cerna-Becerra, T. y Castro, A. (2018). Parámetros de calidad del agua y estado trófico de humedal artificial costero: caso de laguna "La Mansión", Lima, Perú. *Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 4(1), 31-43 p.

28. Fraile, H. Orive, E. y Pozo, J. (1995). Evaluación del Estado Trófico y Comparación del Modelos Relativos al Fosforo en los Embalses de Cernadilla y Valparaíso (Rio Tera, Zamora). *Limnética*, 11 (2), 29-37 p.
29. García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köepen*, Serie Libros, núm. 6, Instituto de Geografía, UNAM, México. 90 p.
30. García-González, M. A. (2011). *Reproducción de Oreochromis niloticus en el bordo La palapa, Morelos, México*. Tesis de licenciatura. FES-Zaragoza, UNAM, México. 112 p.
31. García-Rodríguez, J., Molina-Astudillo, F. I., Miranda-Espinoza, E., Soriano-Salazar, M. B. y Díaz-Vargas, M. (2015). Variación fitoplanctónica en un lago urbano del municipio de Cuernavaca, Morelos, México. *Acta Universitaria*. 25(1). 03-11 p.
32. Granados-Ramírez, J. G., Gómez-Márquez, J. L., Peña-Mendoza, B. y Martínez-Alaníz, M. (2014). *Inventario de Cuerpos de Agua del Estado de Morelos*. AGT Editores. 1ª ed. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 355 p.
33. Gómez-Márquez, J. L., Peña-Mendoza, B, Guzmán-Santiago, J. L. y Gallardo-Pineda, V. (2013). Composición, abundancia del zooplancton y calidad de agua en un microreservorio en el estado de Morelos. *Hidrobiológica*. 23 (2): 227-240.
34. Harper, D. (1992). *Eutrophication of freshwaters, Principles, problems and restoration*. 1ª ed. Springer, Netherlands. 327p.
35. Harrould-Kolieb, E. y Savitz, J. (2009). *Acidificación, ¿cómo afecta a los océanos?*. Ed. OCEANA. 2da Ed. 03-07 p.
36. Hernández-Avilés, J. S. y García-Calderón, J. L. (2007). *Diferencias Limnológicas Entre Lagos y Presas*: Pp. 63-74. En F.J.L. Arredondo, G.Z. Diaz y J.T.P. Ponce (Compiladores). *Limnología de Presas Mexicanas. Aspectos teóricos y prácticos*. AGT editor, S.A. y UAM-Iztapalapa. México.

37. Hernández-Avilés J. S., García-Calderón J. L., Galindo-Santiago M. C. y Loera-Pérez J. (2007). *Microembalses: Una alternativa de la limnicultura*. Pp. 597-620. En de la Lanza, E.G. (Compiladora). *Las lagunas interiores de México: conceptos y casos*. AGT editor, S.A. México.
38. Hutchinson, G.E. (1967). *A Treatise on Limnology, II. Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton*. New York, John Wiley & Sons Inc. 1115p.
39. INEGI (2010). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Ayala, Morelos*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 9 p.
40. INEGI (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Morelos 2017*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 505 p.
41. Kratzer, C. & Brezonik, P. 1981. A Carlson type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. *Boletín Water resources*. 17(4), 713- 715 p.
42. Lind, O.T. (1985). *Handbook of Common Methods in Limnology*. 2ª ed. Kendall/Hunt Publishing Company. 199 p.
43. López-Blanco J. y Zambrano-Gonzales L. (2001). Propiedades Limnéticas de Sistemas Dulceacuícolas Pequeños en Acambay, México: Correlación de datos de campo con imágenes de video con color. UNAM, *Investigaciones Geográficas*, No. 44, 64-64 p.
44. Margalef, R. (1976). Biología de los Embalses. *Investigación y Ciencia*, no. 1, 50-62 p.
45. Mondragón, B., M. (2014). Uso de la Correlación de Spearman en un estudio de intervención en Fisioterapia. *Rev. Movimiento Científico*. 8(2). 98-104 p.
46. Moreno, F. D., Quintero, M. J. y López, C. A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Rev. Contactos*, No. 78. 25-33 p.
47. Muciño-Márquez, R. E., Aguirre-León, A. y Figueroa-Torres, M. G. (2017). Evaluación del estado trófico en los sistemas fluvio-lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, Campeche, México. *Hidrobiológica*. 27(3). 281-291 p.

48. Navarrete-Salgado, N. A., Díaz-Fernández G., Contreras-Rivero G. y Rojas-Bustamante M. (2000). Policultivo y Tilapia en Bordos Rurales del Estado de México. *Hidrobiológica*. 10(1), 35-40 p.
49. NMX-AA-036-SCFI-2001. (2001)., *Análisis de agua, determinación de acides y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba*. Secretaria de Economía. Diario Oficial de la Federación 1 de agosto del 2001. 22 p.
50. NMX-AA-038-SCFI-2001. (2001)., *Análisis de agua, determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba*. Secretaria de Economía. Diario Oficial de la Federación 1 de agosto del 2001. 20 p.
51. Orozco, B. E. (2013). Edad y Crecimiento de *Oreochromis niloticus* en el bordo La palapa, Morelos, México. Tesis de licenciatura. FES-Zaragoza, UNAM, México. 73 p.
52. Peters, E., Campoy J. F. y Flessa K. (2009). *Ciénega de Santa Clara. Programa de monitoreo integral*. Publicación especial del Instituto Nacional de Ecología, México, 28 p.
53. PNUD, UNEP, WB y WRI (2000). *Recursos Mundiales, la riqueza del pobre 2000-2001*. WRI, 270 p.
54. Quiroz-Castelán, H., Martínez J. C., García R. J., Molina A. F. L. y Díaz V. M. (2009). Análisis de los componentes zoobentónicos en un bordo temporal utilizado para acuicultura extensiva en el Norte del Estado de Guerrero, México. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*. ISSN1695-7504. Vol. 10, 25 p.
55. Retana-Ramírez, J. (2019). *Análisis de la calidad del agua y su relación con la comunidad zoopláctica en el microembalse La palapa, en Morelos, México*. Tesis de maestría. FES-Zaragoza, UNAM, México. 115 p.
56. Restrepo B, Luis F. y González L, Julián (2007). De Pearson a Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Vol. 20, No. 2.183-192.

57. Rivera-Cervantes, O. A. y Hernández-González, G.N. (2011). Producción y Calidad del agua de los reservorios Amate amarillo y La palapa, Morelos. Tesis de licenciatura. FES-Zaragoza, UNAM, México. 119 p.
58. Román-Botero, R., Gómez-Giraldo, E.A. y Toro-Botero, F.M. (2010). *Importancia del ciclo diario de la temperatura de los afluentes en la estructura térmica de embalses tropicales*. Posgrado en Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos, 107 p.
59. Romero-Rojas, J. A. (1999). *Calidad del Agua*. Ed. Alfaomega. México. Df. 273 p.
60. Rosas-Hernández, M. P. (2009). *Caracterización Física, Química y Biológica, de los Sistemas Acuáticos Lenticos de la Región Sur-Oriente del estado de Morelos*. Tesis. FES-Zaragoza, UNAM, México. 243 p.
61. Ruiz-Pérez, G. (2017). Variación Temporal del zooplancton en el bordo La palapa, Morelos, México. Tesis de licenciatura. UNAM, FES-Zaragoza. México. 95 p.
62. Salgado, U. I. (1992). *El análisis exploratorio de datos biológicos, Fundamentos y aplicaciones*. 1ª ed. MARC ediciones. México, D. F.: 243 p.
63. Sánchez-Mendoza, J.M. y Zamora-Aparicio, S.D. (2012). *Producción y calidad del agua del bordo Huitchila, Morelos, México*. Tesis. UNAM, FES-Zaragoza. México. 103 p.
64. Santibáñez-Márquez, D. (2013). *Evaluación de la producción primaria y calidad del agua del bordo Huitchila, Morelos*. Tesis de licenciatura. FES-Zaragoza, UNAM, México. 91 p.
65. Santos, K. y Florencio, L. (2001). *Aplicação de Modelo Simplificado para Avaliação do Estado Trófico no Reservatório de Duas Unas*. Brasil: 21º Congreso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
66. SEMARNAT (2015). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. Edición 2015. SEMARNAT. México.

67. Singler, A. y Bauder, J. (S.f.). Alcalinidad, pH y Solidos Disueltos Totales. Well Educated. Northern Plain & Mountains, Regional Water Program. Recuperado de. http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf
68. Sriwongsitanon, N., Surakit, K. y Thianpopirug, S. (2011) Influence of atmospheric correction and number of sampling points on the accuracy of water clarity assessment using remote sensing application. *Journal of Hydrology*, 401 (3-4). 203-220 p.
69. Sugunan, V. V. (1997). *Fisheries Management of Small Water Bodies in Seven Countries in Africa, Asia and Latino America*. FAO fisheries circular. No. 933. Roma, FAO. 149 p.
70. Tamayo, J. L. (1998). *Geografía moderna de México*. Ed. Trillas. México. 320 p.
71. Toledo, A. P., Talarico, M., Chinez, S. J. y Agudo, E. G. (1985). *A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais*. Actas del XII Congreso Brasileño de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1983. Camburiú. p. 34.
72. Vollenweider, R., (1970). *Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et des eaux courantes sous*. p. 217.
73. Wetzel, G.R. (1981). *Limnología*. Ed. Omega. Barcelona España. 679 p.