



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

Universidad Nacional Autónoma de México



UNAM

**ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN POBLACIONAL DE *Poblana alchichica*
(PISCES: ATHERINOPSIDAE), CHARAL ENDÉMICO DEL LAGO
ALCHICHICA, PUEBLA.**

T E S I S

Que para obtener el grado académico de

**Maestro en Ciencias
(Limnología)**

Presenta

Biól. Elsay Arce Uribe

Director de Tesis: Dr. Javier Alcocer Durand

Comité tutorial:

Dr. Manuel Gallardo Cabello

Dr. Javier Chiappa Carrara

Dra. Nandini Sarma

Dr. Luis Zambrano González

México, DF., enero 2006.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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

Este estudio fue financiado por el CONACYT a través del proyecto 41667.

Agradezco al CONACYT y la DGEP, UNAM por las becas otorgadas para la realización de los estudios de posgrado.

Mi profundo agradecimiento a los integrantes del sínodo por sus importantes aportaciones para la realización del presente trabajo:

Dr. Javier Alcocer Durand

Dra. Nandini Sarma

Dr. Xavier Chiapa Carrara

Dr. Luis Zambrano González

Dr. Manuel Gallardo Cabello

Lo que parecía una montaña enorme es sólo un escalón más en la grandiosa escalera de la vida. Gracias por las palabras precisas Dra. Elva Escobar (ICMyL) y por haber estado en el justo momento.

Al Dr. Anatoliy Filonov de la Universidad Autónoma de Guadalajara por los datos proporcionados para el cálculo del volumen del lago.

Un especial agradecimiento al Biól. Jorge Castro por su valiosa aportación en la realización de los gráficos de distribución horizontal y sus ideas creativas.

Finalmente, agradezco a Marco Antonio Ramírez Olvera, Eric Ramos Higuera, Aramis Enrique Flores Márquez, José Figueroa Torres, Laura Peralta Soriano y Luis Alberto Oseguera Pérez por el apoyo logístico en los muestreos de campo.

DEDICATORIA

Las metas que deseas conseguir en la vida no las debes de intentar a ver si puedes, las debes de intentar porque puedes. Gracias a ti por ser mi cimiento, pilar y fortaleza en cada instante de mi vida.

A mi más hermoso tesoro que regala siempre una sonrisa, para compartir en momentos de felicidad y para curar cada tristeza, gracias Marce por tu ternura, por tu luz.

A las personas que tienen la certeza que con lucha, entrega y constancia se consigue cada sueño, a mis padres, por su apoyo incondicional.

A la maestra de mi vida por acompañarme siempre y por todo lo que hace por mí que de verdad es “un montón”, gracias M. María.

Hay personas que enfrentan la vida con una ejemplar entrega y la disfrutan a cada instante, gracias a todas ellas por su alegría, gracias a ti Galdi.

A cada ser que me llena de fortaleza al brindarse de corazón... A mis amigos.

Gracias Javier por amar tu trabajo, por tu vocación, liderazgo y por haberme permitido aprender de ti.

ÍNDICE

I.	Introducción.....	1
II.	Antecedentes.....	5
III.	Objetivos.....	8
IV.	Área de estudio.....	9
V.	Metodología.....	12
V.1.	Consideraciones de la técnica de muestreo.....	17
VI.	Resultados.....	19
VI.1.	Variables ambientales.....	22
VI.1.1.	Temperatura.....	22
VI.1.2.	Oxígeno disuelto.....	24
VI.1.3.	Radiación fotosintéticamente activa (PAR).....	26
VI.1.4.	Clorofila “a”.....	28
VI.2.	<i>Poblana alchichica</i>	30
VI.2.1.	Distribución horizontal.	30
VI.2.2.	Distribución batimétrica.....	35
VI.2.3.	Abundancia.....	37
VI.2.3.1.	Densidad.....	37
VI.2.4	Relación entre <i>P. alchichica</i> y las variables ambientales.....	39

VII. Discusión.....	42
VII.1. Distribución horizontal.....	42
VII.2. Distribución batimétrica.....	43
VII.3. Abundancia.....	44
VII.4. <i>P. alchichica</i> y su relación con las variables ambientales.....	45
VII.5. <i>P. alchichica</i> ¿una especie amenazada?.....	48
VIII. Conclusiones.....	51
IX. Literatura citada.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la cuenca oriental en los estados de Puebla, Tlaxcala y Veracruz.	9
Figura 2. Imagen aérea del lago Alchichica, Puebla, México.	11
Figura 3. Imagen del lago Alchichica en donde se muestra: A) la “dona” y B) el centro de la “dona”, zonas que delimitan aproximadamente la distribución horizontal de <i>P. alchichica</i>	13
Figura 4. Diagrama esquemático de la relación del diámetro de cobertura alcanzado por la señal del transducer con relación a la profundidad.....	17
Figura 5. Perfiles de temperatura del lago Alchichica.	23
Figura 6. Perfiles de concentración de oxígeno disuelto del lago Alchichica.....	25
Figura 7. Perfiles de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) del lago Alchichica.	27
Figura 8. Perfiles de concentración de clorofila “a” del lago Alchichica. ...	29
Figura 9. Distribución horizontal de <i>P. alchichica</i>	31-34
Figura 10. Registro de las posiciones batimétricas de los organismos de <i>P. alchichica</i> en comparación con la profundidad de la cuenca al momento del registro del pez en el lago Alchichica, Puebla.	36

Figura 11. Abundancia y distribución de organismos de *P. alchichica* en el lago Alchichica, Puebla.38

Figura 12. Densidad de organismos de *P. alchichica* en el lago Alchichica, Puebla.39

Figura 13. Distribución de *P. alchichica* y profundidad del lago, con relación a la base de la termoclina, concentración de oxígeno disuelto ≥ 1 , DCM y límite de la zona eufótica41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Abundancia de peces durante las cuatro temporadas de la hidrodinámica del lago Alchichica, Puebla.37

Tabla 2. Cálculos del volumen y área del lago.....*Anexo*

Tabla 3. Longitud de los transectos y del perímetro del lago empleado en los muestreos..... *Anexo*

Tabla 4. Número de conos que contiene un transecto sin traslaparse enviados por el transducer de la ecosonda.....*Anexo*

Tabla 5. Áreas y volúmenes muestreados en la dona y el centro de la dona del lago.*Anexo*

Tabla 6. Abundancia de peces en el lago por temporada de muestreo.....*Anexo*

Tabla 7. Densidad de peces en el lago por temporada de muestreo y unidad de volumen y área.....*Anexo*

RESUMEN

Las únicas dos especies de vertebrados que habitan el lago Alchichica son endémicas: el pez aterinópsido *Poblana alchichica* y el anfibio ambistomátido *Ambystoma taylorii*. El “charal de Alchichica” está catalogado como especie “amenazada” de acuerdo a la NOM-059-ECOL-1994 y se refiere a aquellas especies que “podrían llegar a encontrarse en peligro de extinción si siguen operando factores que ocasionen el deterioro o modificación del hábitat o que disminuyan sus poblaciones”. Al respecto, para poder ubicar la situación real en la que se encuentra *P. alchichica*, hace falta determinar el tamaño de la población, así como si existen factores que ocasionen el deterioro o modificación de su hábitat. Con base en lo anterior, se realizó un censo -utilizando el ecosondeo como herramienta- de la distribución tanto horizontal como vertical de *P. alchichica* y su relación con la hidrodinámica del lago, así como la densidad de dicho pez en Alchichica. Los resultados indicaron una tendencia general a ubicarse hacia la zona periferia del lago y hasta los 40m de profundidad. La distribución horizontal fue similar y no cambió a lo largo del año. Los organismos que se encontraron en la zona pelágica central del lago constituyeron un porcentaje muy reducido ($3.57 \pm 0.92\%$) del total. En lo que corresponde a la distribución batimétrica, se registraron peces desde la superficie y hasta los 55 m. Sin embargo, existe una tendencia preferencial a ubicarse en profundidades no mayores a los 40 m. Los valores de densidad presentaron un promedio total de 0.0042 ± 0.0008 org/m², valores similares a los encontrados en investigaciones semejantes de ambientes oligotróficos. Considerando que la distribución del pez es hacia las zonas más someras y litorales, la disminución del nivel del lago impacta de manera muy importante sobre el hábitat de esta especie, eliminando la zona de alimentación y reproducción de la misma y su reducida abundancia requiere especial atención en su protección al ser una especie endémica y amenazada.

ABSTRACT

Lake Alchichica is inhabited by just two vertebrate species, the atherinid fish *Poblana alchichica* and the ambystomatid amphibian *Ambystoma taylorii*; both species are endemic. Alchichica's silverside is a threatened species according to NOM-059-ECOL-1994. On this category are the species consider to be in danger of extinction due to habitat alteration or to population decline. This study aimed to know the actual population size of *P. alchichica* as well as those factors imposing risk to the species through habitat alteration or population descent. Echosounding was chosen to known the abundance, and vertical and horizontal distribution of the fish. *P. alchichica* tends to show a donut-shape distribution, this is, the fish inhabit the perimeter of the lake, close to the shoreline. Few individuals inhabit the central -pelagic- area (i.e., $3.57 \pm 0.92\%$). *P. alchichica* was found between surface and down to 55 m deep. However, fish tend to inhabit depths no deeper than 40 m, but mostly close to the lake's bottom. The answer to this behavior seems to be related to the benthivorous feeding type. *P. alchichica* density (i.e., 0.0042 ± 0.0008 fish/m²) is similar to those found in oligotrophic environments. The fish feeds and reproduces mostly in the shallow littoral area of the lake. The shallow littoral area of Lake Alchichica is extremely important to *P. alchichica* for feeding, reproduction and protection against predators. Unfortunately, the local fisheries take place in this area as well as domestic wastewater disposal. In addition, the decline of the water level of the lake reduces the littoral area impacting the fish adversely. In conclusion, *P. alchichica* could be regarded as a threatened species due to its minute distribution area, reduced population, and the several factors that put in risk the survival of the species.

I. INTRODUCCIÓN

La historia geológica de México ha provocado un profundo efecto en la composición de su ictiofauna (Barbour, 1973). La diversificación de la fauna mexicana de peces continentales es producto de diversos factores (Miller, 1986) entre los cuales se cuentan: (1) una geografía física altamente variable, (2) una amplia extensión latitudinal, (3) el aislamiento de la Mesa Central, un altiplano tropical de gran extensión y la fauna del río Lerma, (4) la adaptación de múltiples grupos marinos a las aguas continentales y (5) la presencia de los sistemas fluviales más grandes de Centroamérica –la cuenca del Usumacinta-Grijalva- en el sureste. El caso de los aterinópsidos, tales como los charales y pescados blancos de los géneros *Chirostoma* y *Poblana*, representan un modelo de especiación local (Álvarez, 1950).

Todos los aterinópsidos de los géneros *Chirostoma* y *Poblana* pertenecen a la subfamilia Menidiinae. Ambos géneros son muy próximos entre sí. *Poblana* difiere de *Chirostoma*, principalmente, en que el primero presenta la vejiga gaseosa prolongada más atrás –por lo menos un tercio anterior- del origen de la aleta anal; mientras que en *Chirostoma* la cavidad no llega sino hasta el origen mismo de la aleta anal (Álvarez, 1950). En el caso particular de los aterinópsidos del género *Poblana*, se reconocen actualmente cuatro especies, todas ellas habitantes del estado de Puebla y cada una de ellas endémica a un solo cuerpo acuático: *P. alchichica* de Alchichica, *P. squamata* de Quechulac, *P. letholepis* de La Preciosa y *P. ferdebueni* de Chignahuapan, (De Buen 1945, Álvarez 1950, Solórzano y López 1965).

Alchichica representa un caso muy particular de especiación para un lago de dimensiones “reducidas” (i.e. < 2 km²). Las únicas dos especies de vertebrados que lo habitan son endémicas de este lago: el pez

aterinópsido *Poblana alchichica* (De Buen 1945) y el anfibio ambistomátido *Ambystoma taylorii* (Brandon *et al.*, 1981). Cabe señalar que no solo se presentan endemismos en los vertebrados; recientemente fue descrita una nueva especie de crustáceo endémico del lago, el isópodo asélido *Caecidotea williamsi* (Escobar-Briones y Alcocer, 2002). Lo anterior sugiere la alta probabilidad de que otros organismos que habitan el lago también sean endémicos. Ambas especies de vertebrados se encuentran listados con categoría de protección de acuerdo a la NOM-059-ECOL-1994: Por un lado, el “charal de Alchichica” está en la categoría de “amenazada” (esta categoría coincide con la categoría vulnerable de la clasificación de la UINC-2001), Por el otro el “ajolote” de Alchichica está en la categoría “sujeta a protección especial”.

La categoría de especie amenazada otorgada a *P. alchichica* se refiere a aquellas especies que “podrían llegar a encontrarse en peligro de extinción si siguen operando factores que ocasionen el deterioro o modificación del hábitat o que disminuyan sus poblaciones; en el entendido de que especie amenazada es equivalente a especie vulnerable”. Al respecto y como se evidencia en la sección de antecedentes, para poder ubicar la situación real en la que se encuentra *P. alchichica*, hace falta determinar el tamaño de la población, así como si existen factores que ocasionen el deterioro o modificación de su hábitat.

Lo anterior es especialmente importante si se considera que además de sus dimensiones reducidas, Alchichica se encuentra ubicado en un “Área Hidrológica Prioritaria” (Arriaga *et al.*, 2000), en donde las estrategias de manejo del ecosistema acuático deben considerar la riqueza de especies y el carácter endémico que se presentan en dichos ecosistemas.

Actualmente esta especie está sujeta a una pesquería local por parte de pobladores de la zona y de otras aledañas, los cuales utilizan mantas –a modo de chinchorro- para capturar a los peces en la zona de los estromatolitos del lago: Por lo anterior, no existe ningún tipo de estadística pesquera al respecto a pesar de que el recurso es bien apreciado, con un valor superior a los cien pesos (aunque el precio fluctúa dependiendo de la cuadrilla de pescadores y la demanda del producto), incluso al de las otras dos especies de charal extraídas de los lagos vecinos (Quechulac y La Preciosa). La pesquería es artesanal y se lleva a cabo principalmente por mujeres mediante el uso de tela de cortina o de manta con apertura de malla incluso inferior a 1 mm. El equipo de pescadoras usualmente es de 3, dos de ellas que llevan un extremo de la manta amarrada al tobillo (para mantenerla pegada al fondo) y la otra tomada con la mano (para mantenerla encima de la superficie), de manera que forma una especie de copo. La tercera mujer tiene doble función, el ir al frente con un palo en cuyo extremo tiene tiras de tela para ir conduciendo los peces hacia el centro del copo, o bien arreglando y recogiendo la malla para evitar que se escapen los peces atrapados.

Por otro lado, la distribución de los peces en el agua está dada por la interacción entre los peces y su medio (químico, físicos, biológicos y zoogeográficos) que los rodean. Naturalmente, los patrones de distribución en una especie son el resultado de la interacción de estas cuatro categorías (Lagler, *et al.*, 1977).

Dentro de los principales factores del ambiente que inciden en la distribución de los peces está la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto, la luz y el alimento disponible (Moyle y Cech, 2000).

El movimiento del agua puede tener un efecto en la distribución de los peces. Esto puede ser porque las corrientes “arrastren” el zooplancton

hacia algún extremo o zona del lago y los peces se dirijan hacia esta zona siguiendo su alimento. El sustrato es otro factor que determina la distribución de los peces, principalmente para adherir a los huevos en la reproducción o por la existencia de comida más abundante, diversa y atractiva (Moyle y Cech, 2000).

El factor que parece tener un mayor efecto directamente en la distribución de los peces es la concentración de oxígeno disuelto. Sin embargo, los factores del ambiente mencionados con anterioridad deben verse como un todo y no por separado para delimitar la distribución de los organismos (Wootton, 1990).

Finalmente, en cuanto a la densidad de la población, ésta puede corresponder al número de peces en un lago, o números o peso por unidad de área o volumen; en el presente estudio se proporciona el número total aproximado de individuos de *P. alchichica* en el lago Alchichica, así como el número de peces por unidad de área y de volumen (Lagler, *et al.*, 1977).

II. ANTECEDENTES

El lago Alchichica ha sido ampliamente estudiado. Existe información acerca del bacterioplancton (Lugo *et al.*, 2001), fitoplancton (Oliva *et al.*, 2001;), zooplancton (Lugo *et al.*, 1999) y de su hidrodinámica (Alcocer *et al.*, 2000; Filonov y Alcocer, 2002), entre otras temáticas.

En contraste, existen pocos estudios acerca del género *Poblana* y todos ellos tienen una orientación principalmente taxonómica. La primera publicación corresponde a Fernando de Buen quién en 1945 describe la especie *Poblana alchichica* como un nuevo aterínido endémico del lago Alchichica. Posteriormente, Álvarez (1950) considera que los caracteres relacionados con la distribución, forma y ausencia de escamas no son de carácter genérico por lo que ubica a *P. alchichica* como una subespecie (*P. alchichica alchichica*); el trabajo fenético de Guerra-Magaña (1986) ratifica esta jerarquía taxonómica, muy cercana al aterínido -también endémico- habitante del lago Quechulac (*P. alchichica squamata*). En la misma publicación -Álvarez, 1950- se describe una nueva especie de *Poblana* residente endémico del lago La Preciosa, *P. letholepis*. Es importante aclarar que los tres lagos mencionados (Alchichica, Quechulac y La Preciosa) son muy próximos entre sí, especialmente los últimos dos.

Solórzano y López (1965) describen otra especie de *Poblana*, *P. ferdebueni*, habitante de la laguna de Chignahuapan, Puebla. Al igual que las otras especies de *Poblana*, ésta también es endémica del cuerpo acuático. Posteriormente, en 1982, Vázquez lleva a cabo un estudio en Alchichica y determina algunos parámetros poblacionales de *P. alchichica* como la relación edad-longitud, peso-longitud, así como la edad a través de lectura de escamas y madurez sexual de los organismos.

Espinosa *et al.* (1993) ratifican a las cuatro especies del género (*P. alchichica*, *P. letholepis*, *P. squamata*, *P. ferdebueni*) bajo la categoría de endémicas y amenazadas.

Posteriormente, en 1998, Flores realiza un trabajo comparativo de la biología poblacional de tres especies de *Poblana* de los lagos cráter de Puebla en donde estudia e identifica fenéticamente su ubicación taxonómica e incluye parámetros como reproducción, parasitismo y alimentación.

Finalmente, los resultados obtenidos por Coyote-Hidalgo (2000) a partir del análisis de ADN muestran que el taxón mencionado con anterioridad como *Poblana alchichica alchichica* debe ser elevado de categoría a *Poblana alchichica*, tal como se maneja en la actualidad.

Por otro lado, la técnica empleada -el ecosondeo- ha sido utilizada con gran éxito en las pesquerías a partir del final de la segunda guerra mundial. De 1958 en adelante, se ha venido empleando cada vez con más extensión. En la ecosonda convencional, como la empleada en esta investigación, los impulsos sonoros emitidos por un emisor situado bajo el agua en la base de la embarcación se reflejan en el fondo del lago, el tiempo que tardan en regresar señala la profundidad del lago, así como también, si es el caso, indica la presencia de los peces, su tamaño, y la profundidad a la que se encuentran (Russell-Hunter, 1973).

La mayoría de los estudios de hidroacústica con objetivos similares a los de esta investigación se han realizado en el ambiente oceánico (p. ej. Lawson y Rose, 1999; Benoit-Bird, 2001). Esta técnica ha sido empleada con mucho menos frecuencia en lagos. Al respecto, Brabrand (1991), Baroudy y Elliott (1993), Diachok *et al.*, (2001), Mehner (2003), Wanzenböck *et al.*, (2003), han empleado la ecosonda como un método de gran precisión para estimar la densidad y la abundancia de peces así como su ubicación en lagos.

Por último, no se encontraron antecedentes de la aplicación de esta metodología en ambientes lacustres mexicanos, además de que se cuenta con muy poca información sobre la biología y ecología de *P. alchichica*, por ello cabe resaltar la importancia de aportar información de dicha especie que sustente o rectifique la categoría de protección en la cual está asignada, ya que con base en ésta se registrarán los fundamentos científicos que respalden la implementación de las acciones necesarias que permitan la protección adecuada de este especie y su singular ecosistema.

III. OBJETIVOS

Con base en lo anterior, se plantearon los siguientes objetivos para el presente estudio:

- 1) Evaluar la abundancia de la población del pez aterínopsido *Poblana alchichica*, especie endémica del lago Alchichica.
- 2) Realizar un análisis de su distribución tanto horizontal como vertical.
- 3) Relacionar la distribución de *P. alchichica* con la hidrodinámica del lago y algunas variables relevantes como la temperatura, oxígeno disuelto, luz y clorofila “a”.

En forma adicional, la información existente sobre el zooplancton de Alchichica (Lugo *et al.*, 1999 y Lugo, 2000) se discutirá de manera conjunta a las variables mencionadas en el tercer objetivo.

Los objetivos de la presente investigación son de índole exploratoria y por lo tanto de naturaleza eminentemente descriptiva por lo cual no ponen a prueba ninguna hipótesis.

V. METODOLOGÍA

En el presente estudio se realizaron cuatro muestreos cubriendo un ciclo anual y ubicados en las cuatro etapas principales de la hidrodinámica del lago Alchichica reconocidas por Alcocer *et al.* (2000).

- Circulación (enero 2004)
- Estratificación temprana (marzo 2004)
- Estratificación bien establecida (julio 2004)
- Estratificación tardía (noviembre 2004)

La prácticamente inexistente zona litoral y las pendientes pronunciadas del lago hacen muy difícil el emplear técnicas tradicionales de captura y evaluación poblacional de peces. Por lo anterior, en el presente estudio se utilizó el ecosondeo como técnica alternativa para la evaluación de la población de *Poblana alchichica*. Mediante esta metodología se determinó no sólo la distribución horizontal de los peces sino también la vertical (i.e. batimétrica).

En cada muestreo se realizó un recorrido a lo largo de dos series de transectos preestablecidos en los cuales se registró la presencia y posición (latitud, longitud y profundidad) de los peces con ayuda de una ecosonda marca GARMIN modelo GPS 168 Sounder. Las series fueron perpendiculares entre sí y cubrieron toda la superficie del lago. El geoposicionamiento tuvo una exactitud de 1-5 m dependiendo del número de satélites disponibles (12 canales paralelos disponibles) al momento de los registros.

Los datos capturados en el campo por la ecosonda GARMIN GPS 168 fueron descargados a archivos electrónicos mediante el programa

MapSource versión 3.02 el cual permitió reconocer la ubicación de los organismos en los planos tanto horizontal como vertical y a continuación exportar los datos en formato hoja de cálculo.

Con base en la distribución desigual de los peces los cuales mostraron una ubicación preferencial ($97.33 \pm 2.04\%$ del total de la población) hacia la zona periférica del lago asemejando un “toroide”, esto es, una figura circular en forma de dona, la estimación de la abundancia de *P. alchichica* se calculó de acuerdo a los volúmenes de agua de cada una de las porciones, el toroide mismo que en lo sucesivo es denominado la “dona” (A) y el centro del toroide que se denominará en lo sucesivo el centro de la dona (B). De esta manera, se calculó la densidad ponderada de *P. alchichica* por unidad de volumen en cada una de las dos zonas mencionadas (Fig. 3).

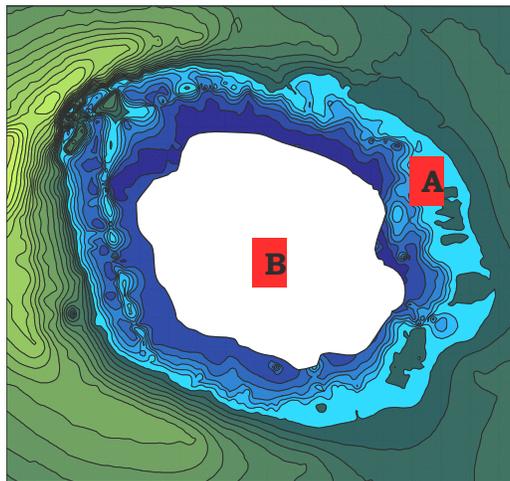


Fig. 3. Imagen del lago Alchichica en donde se muestra: A) la “dona” en azul ($97.33 \pm 2.04\%$ de la abundancia) y B) el centro de la “dona” en blanco ($3.57 \pm 0.92\%$ de la abundancia), zonas que delimitan aproximadamente la distribución horizontal de *P. alchichica*.

Para el cálculo de los volúmenes correspondientes a la “dona” y al centro de la misma, se utilizó el método de integración de los volúmenes de los distintos frustra que integran un cono truncado invertido utilizando la siguiente fórmula:

$$V = h/3(A_1+A_2+\sqrt{A_1A_2})$$

Donde:

V = volumen del frustrum

h = profundidad, grosor del frustrum en metros

A₁ = área de la superficie superior del cono truncado

A₂ = área de la superficie inferior del cono truncado

El volumen de cada frustrum fue calculado asemejándolo a un cono truncado invertido con una altura (h) de 10m. Para el cálculo de las áreas superior e inferior (A₁, A₂) se utilizó un planímetro polar marca Tamaya modelo Planix 2. Se calculó el volumen total (todo el lago) y el volumen de la “dona”; para conocer el volumen del centro de la dona se restó el volumen de la dona del volumen total. De esta manera, se estimó la densidad y la abundancia del pez en el lago Alchichica, Puebla.

Con el fin de explicar la distribución vertical de los organismos, se midieron perfiles *in situ* de temperatura y oxígeno disuelto (discretización vertical 1 m), así como de radiación fotosintéticamente activa -PAR- y clorofila “a” (discretización vertical 1 s). Para las dos primeras variables se empleó un sistema de monitoreo de calidad de agua marca Hydrolab modelo DS4/SVR4, mientras que las dos últimas variables fueron medidas con un perfilador de fluorescencia natural marca Biospherical modelo PNF-300. Los perfiles de temperatura, oxígeno disuelto, PAR y clorofila “a”

se graficaron versus profundidad con ayuda del programa Sigma Plot versión 8.0.

Se realizó un muestreo preliminar en el mes de diciembre del 2003, con la finalidad de obtener un panorama general tanto de la distribución como de la abundancia de *P. alchichica*, con base en el cual se diseñó el programa de muestreo definitivo.

En seguida, con el objetivo de verificar si los peces llevaban a cabo migraciones verticales (superficie-fondo) y/o bien desplazamientos horizontales (orilla-zona limnética), se realizaron:

a) transectos a lo largo del lago, al amanecer (07:30 h) y al anochecer (18:30 h)

b) registros continuos en la zona norte del lago llegando a una profundidad de 45 m, desde el crepúsculo (19:30 h) hasta entrada la noche (22:00 h).

Por otro lado, para el cálculo de la densidad de *P. alchichica* se realizó el siguiente procedimiento:

1) Se obtuvieron los cálculos que corresponden al volumen (VT) y área (AT) totales del lago para posteriormente conocer el volumen y área de la dona (VD, AD), así como el volumen y área del centro de la dona (VCD, ACD). El AT, AD, y ACD fueron calculados por medio de planimetría (Tabla 2).

2) Por medio del programa Map Source v. 6.9.1 se calcularon las longitudes de los transectos y el perímetro del lago realizados en los diferentes muestreos (Tabla 3).

3) La señal enviada por el transducer presenta una forma cónica aumentando su diámetro conforme se incrementa la profundidad (Fig. 4), por lo tanto, fue necesario conocer el número de conos que contiene un transecto sin traslaparse, para lo cual se calculó el volumen de los conos y con ello, se pudo conocer cuantos caben en cada uno de los transectos realizados en los muestreos tanto en la dona (D) como en el centro de la misma (CD) (Tabla 4).

4) Posteriormente, se multiplicó el número de conos contenidos tanto en la D como en el CD por el área y el volumen del cono y con ello conocer: el área muestreada de la dona (ADM), el área muestreada del centro de la dona (ACDM), el volumen muestreado de la dona (VDM) y volumen muestreado del centro de la dona (VCDM) (Tabla 5).

5) Para el cálculo de la abundancia de *P. alchichica* en el lago por temporada fue necesario calcular el número de peces encontrados en el volumen muestreado y con ello extrapolarlo al número de peces en el total del lago (Tabla 6).

6) Finalmente, se calculó la densidad de peces en el lago por temporada y unidad de volumen (org/m^3) y área (org/m^2) (Tabla 7).

V.1. Consideraciones de la técnica de muestreo

La capacidad de detección de los peces a través del uso de la ecosonda está determinada por la señal sónica que el transductor –posicionado en la parte trasera de la embarcación- envía a través de la columna de agua. En la presente investigación las características del transductor [frecuencia: 200 kHz; fuerza de transmisión -transmit power-: 150 vatios (RMS), 1200 vatios (pico a pico)] generan una relación entre el diámetro de cobertura alcanzado por la señal (ϕ) conforme aumenta la profundidad (Z) de 1:3, ambas expresadas en metros (Fig. 4).

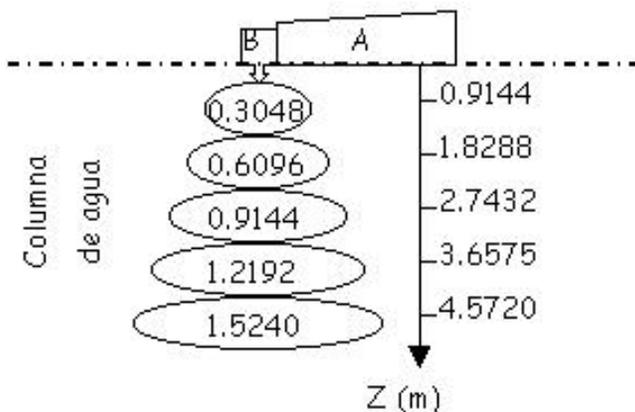


Fig. 4. Diagrama esquemático de la relación del diámetro de cobertura alcanzado por la señal del transductor con relación a la profundidad (z). (A = embarcación, B = transductor).

La ecosonda se “calibró” previamente con el objetivo de reconocer la correspondencia entre los registros de los peces en la ecosonda [indicados en tres categorías de talla: grande (G), mediano (M), chico (CH)] con la talla real de los mismos y/o para verificar si estos registros representaban individuos de diferente talla o cardúmenes.

Dicha calibración se llevó a cabo en un acuario de 750 L en el que se introdujeron 100 peces de diversos tamaños, entre 10 mm y 50 mm de

longitud total – tamaños similares a los observados comúnmente de *P. alchichica* en el lago-. En la parte superficial del acuario se colocó el transductor de la ecosonda con el propósito de registrar el tamaño de los organismos señalados con el real.

VI. RESULTADOS

Los resultados de los experimentos realizados para verificar si los peces llevaban a cabo migraciones verticales (superficie-fondo) y/o bien desplazamientos horizontales (orilla-zona limnética) indicaron que:

a) no existe un desplazamiento de la zona litoral a la limnética; los organismos permanecen predominantemente en la primera; y

b) la distribución vertical de *P. alchichica* no cambia a lo largo del ciclo dial, su ubicación es predominantemente asociada al fondo; sin embargo, durante la noche se observaron más organismos en la superficie del lago que durante el día.

Por otro lado, los resultados de la calibración para reconocer la talla de los organismos señalados por la ecosonda, mostraron su capacidad para realizar registros individuales de los organismos. Sin embargo, se pudo observar que cuando los peces se encontraban demasiado cerca, el transdador los detectaba como un sólo organismo de talla grande. Por otro lado, los organismos menores a 1 cm, según estos resultados, no se registran. Ambos casos deben ser considerados como un factor de subvaloración de la población.

Los resultados encontrados mostraron una predominancia de la talla grande, lo cual resulta contradictorio con la distribución normal de las poblaciones en las cuales los organismos pequeños son los más abundantes. Lo anterior se interpretó como una incapacidad de distinción de tallas en cardúmen ya que los Atherinópsidos son organismos que se agrupan regularmente en cardúmenes (Wootton, 1990), por lo cual, en el resto del trabajo no se hizo hincapié en la distribución de tallas.

Durante la presente investigación, como ya se ha mencionado, se llevaron a cabo dos series de transectos acústicos paralelos entre sí, los cuales, al ser realizados con la embarcación en movimiento, únicamente indican el patrón de distribución horizontal y vertical y no el movimiento activo de los peces, así como también representan únicamente un panorama temporal de la localización de los mismos.

Es importante mencionar que durante las cuatro temporadas, en la zona litoral del lago, entre los estromatolitos y la orilla, se pueden observar organismos, en su mayoría de talla pequeña que por su ubicación no fueron registrados, lo cual conlleva una subestimación de la población de peces. Lo anterior también debe ser considerado en el presente estudio. Esta zona –y consecuentemente estos organismos- es en donde se lleva a cabo la captura por parte de los lugareños

Otro factor a considerar como subvaloración de la población radica en los organismos que pudieran localizarse en el volumen de agua que se encuentra en los primeros 30 cm del lago, ya que quedan por encima de la posición detectable por el transducer. Sin embargo y como se mencionó anteriormente, los peces que se observaron cercanos a la superficie durante las horas de luz son menos que aquellos que se vieron durante las horas de oscuridad.

Finalmente, en investigaciones llevadas a cabo con bioacústica se consideran algunos parámetros que pueden interferir en la precisión de la ecosonda para la determinación de densidades de peces (Diachok et al., 2001), entre se cuentan los siguientes.

- La posibilidad de determinar la densidad está en función de la talla de los peces que puede ser detectada por la ecosonda. Por ello la importancia de haber llevado a cabo la “calibración” de la ecosonda para conocer experimentalmente sus posibilidades de detección.

- Las series de tiempo empleadas para obtener datos en grandes áreas. En el caso de Alchichica, parece muy complicado que se contabilice un mismo cardumen en áreas distintas del lago, sin embargo es un factor más que se debe tomar en cuenta.

- Se requiere conocer si la resolución de la ecosonda es suficiente para detectar niveles bajos de grupos de peces. Por ello, nuevamente cabe resaltar la importancia de la “calibración” de la ecosonda hecha en laboratorio que nos permitió conocer la capacidad de la ecosonda para detectar organismos de forma individual.

- Es importante que exista un panorama previo del comportamiento de los peces para conocer el patrón de distribución posible que presentan dichos organismos, el cual generalmente no se sabe y es de gran utilidad para solucionar este tipo de inconvenientes.

VI.1. Variables ambientales

VI.1.1. Temperatura

Durante la etapa de mezcla del lago, el perfil de temperatura (Fig. 5A) mostró valores homogéneos de alrededor de 14°C en toda la columna de agua, comportamiento característico de esta temporada del lago.

En el período de estratificación temprana del lago, la termoclina fue incipiente y da inicio, prácticamente desde la superficie y abarca hasta los 20 m de profundidad (16.5°C a 14.8°C); el epilimnion al momento del muestreo estuvo apenas diferenciado y parece abarcar los primeros 5 m de profundidad con una temperatura de alrededor de 17°C; finalmente el hipolimnion abarca de los 20m al fondo con una temperatura que desciende hasta alcanzar 14.2°C (Fig. 5B).

En el perfil de temperatura correspondiente a la estratificación bien establecida (Fig. 5C), el epilimnion alcanzó una temperatura promedio de 18.6°C; la termoclina abarcó de los 18 a los 27 m de profundidad con un gradiente de temperatura de 3°C y finalmente, el hipolimnion por debajo de los 27 m, con temperatura alrededor de los 14.3°C.

Por último, durante el periodo de estratificación tardía el epilimnion del lago presentó una temperatura promedio de 18.6°C y un grosor de 25 m (Fig. 5D); la termoclina (25 m a 30 m) presentó un descenso de 3°C y posteriormente, el hipolimnion a partir de los 30m con una temperatura de alrededor de 14.5°C.

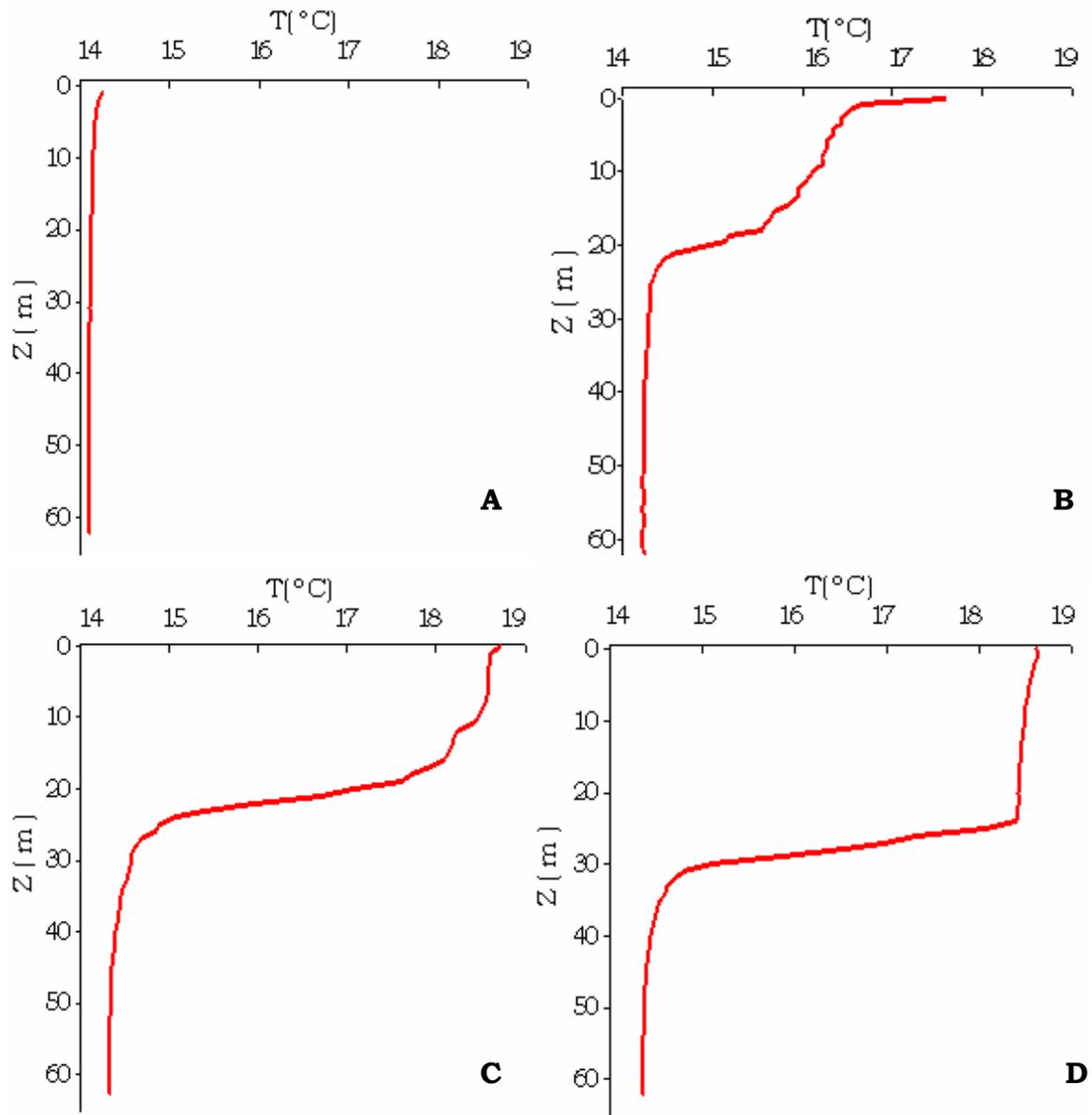


Fig. 5. Perfiles de temperatura del lago Alchichica. (A) Circulación (enero), (B) estratificación temprana (marzo), (C) estratificación bien establecida (julio) y (D) estratificación tardía (noviembre).

VI.1.2. Oxígeno disuelto

El perfil de oxígeno disuelto registrado en el periodo de circulación osciló entre 5 y 6 mg/l a lo largo de toda la columna de agua (Fig. 6A).

Durante la temporada de estratificación temprana se encontró alrededor de 7 mg/l (saturación-ligera sobresaturación) en el epilimnion y posteriormente descendió de forma rápida con una oxiclina bien establecida entre los 20 y 25 m para enseguida continuar descendiendo hasta alcanzar concentraciones de alrededor de 3 mg/l en el hipolimnion del lago (Fig. 6B).

La concentración de oxígeno disuelto en la temporada de estratificación bien establecida presentó en el epilimnion concentraciones cercanas a los 7 mg/l (ligera sobresaturación) para posteriormente descender, mostrando una oxiclina bien establecida y acoplada al metalimnion. Finalmente, la zona hipolimnética del lago fue claramente anóxica (Fig. 6C).

En el período de estratificación tardía del lago la concentración de oxígeno disuelto en el amplio epilimnion fue de 6.2 mg/l (saturación); la oxiclina fue muy marcada y estrecha (29 y 30 m) -acoplada al metalimnion- con un descenso de 6 mg/l hasta alcanzar la anoxia en la zona hipolimnética. (Fig. 6D).

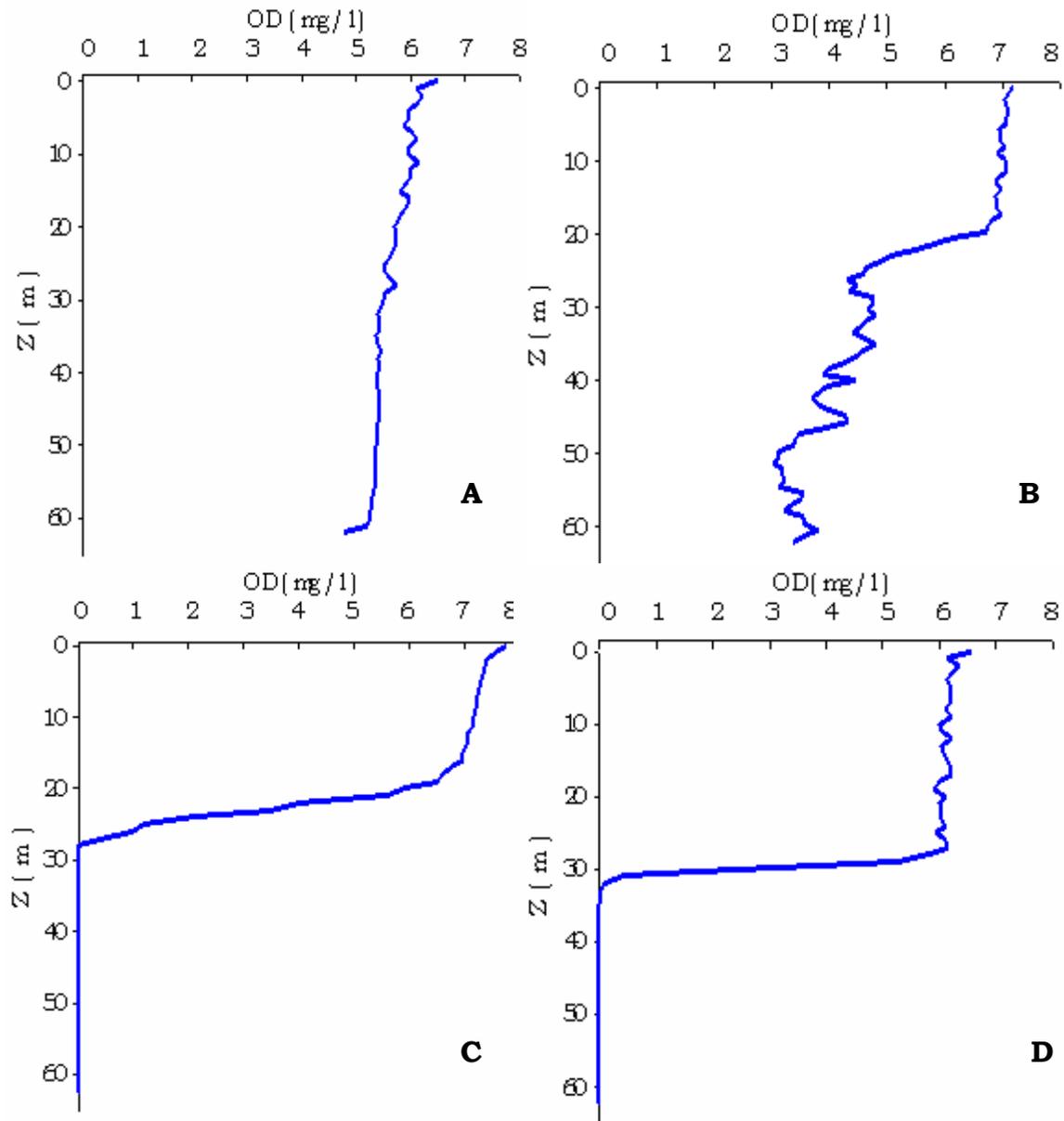


Fig. 6. Perfiles de concentración de oxígeno disuelto del lago Alchichica. (A) Circulación (enero), (B) estratificación temprana (marzo), (C) estratificación bien establecida (julio) y (D) estratificación tardía (noviembre).

VI.1.3. Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR)

La zona eufótica $-Z_{EU}-$ (i.e., 1% del PAR superficial) en Alchichica fluctuó entre los 15 y los 32 m de profundidad. En la fase de circulación alcanzó 15 m al igual que en la estratificación temprana y fueron las menores del ciclo caracterizando a este periodo como la fase de aguas turbias del lago. Lo anterior muy probablemente esté asociado con el florecimiento anual de diatomeas en circulación y el de cianobacterias en la estratificación temprana debido a la turbidez biogénica que se genera. La Z_{EU} durante la temporada de estratificación bien establecida llegó hasta los 24 m y durante la estratificación tardía hasta los 32 m de profundidad, caracterizándolas como la fase de aguas claras (Figs. 7A, B, C y D). Lo anterior seguramente está asociado a que el fitoplancton expresado como biomasa fitoplanctónica (clorofila "a") se encuentra concentrado en el máximo profundo de clorofila (DCM) ubicado en el metalimnion, mientras que en el epilimnion el fitoplancton es escaso por lo que la turbidez biogénica fue reducida.

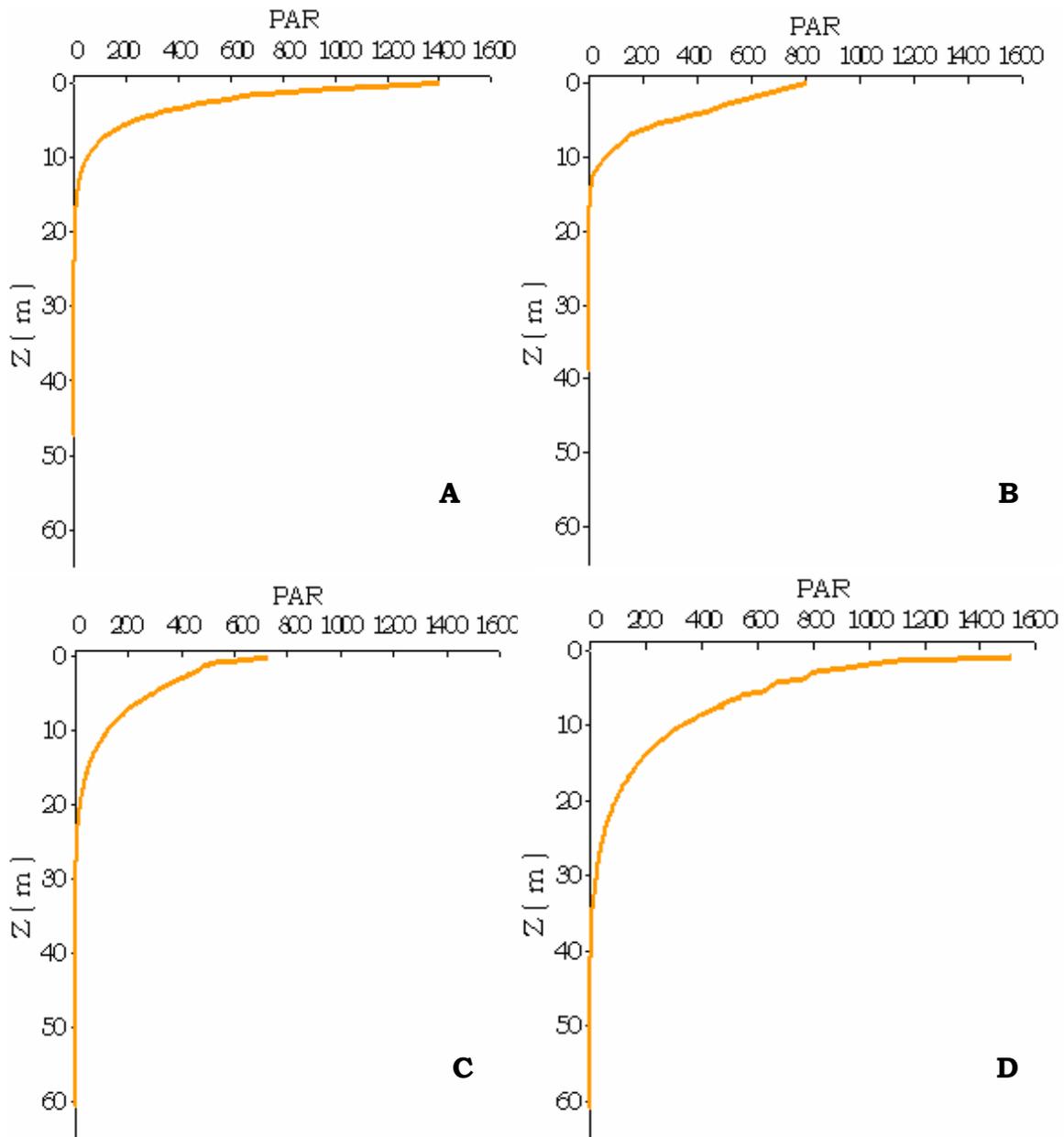


Fig.7. Perfiles de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) del lago Alchichica. (A) Circulación (enero), (B) estratificación temprana (marzo), (C) estratificación bien establecida (julio) y (D) estratificación tardía (noviembre).

VI.1.4. Clorofila “a”

La clorofila “a” durante la temporada de circulación presentó concentraciones bajas en la porción superficial de alrededor de 0.5 $\mu\text{g}/\text{l}$, sin embargo, por debajo de los 5m las concentraciones aumentaron y se mantuvieron elevadas en el resto de la columna de agua en alrededor de 1.3 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Fig. 8A).

El perfil de concentración de clorofila “a” en la temporada de estratificación temprana mostró en el epilimnion e hipolimnion valores cercanos a 1 $\mu\text{g}/\text{l}$ mientras que en el metalimnion se desarrolló un máximo profundo de clorofila (DCM por sus siglas en inglés) situado, en este caso, a los 15 m de profundidad, alcanzando concentraciones de 3.5 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Fig. 8B).

La clorofila “a” en la temporada de estratificación bien establecida (Fig. 8C) presentó concentraciones bajas de 0.2 a 0.5 $\mu\text{g}/\text{l}$ en el epilimnion e hipolimnion, respectivamente con un –moderado- máximo profundo de clorofila ubicado a los 23 m de profundidad, con valores de 0.7 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Finalmente, la concentración de clorofila “a” durante la temporada de estratificación tardía mostró en el epilimnion e hipolimnion valores de alrededor de 0.2-0.3 $\mu\text{g}/\text{l}$. Sin embargo, se presentó un máximo profundo de clorofila a los 34 m de profundidad, alcanzando concentraciones más elevadas con 5.3 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Fig. 8D).

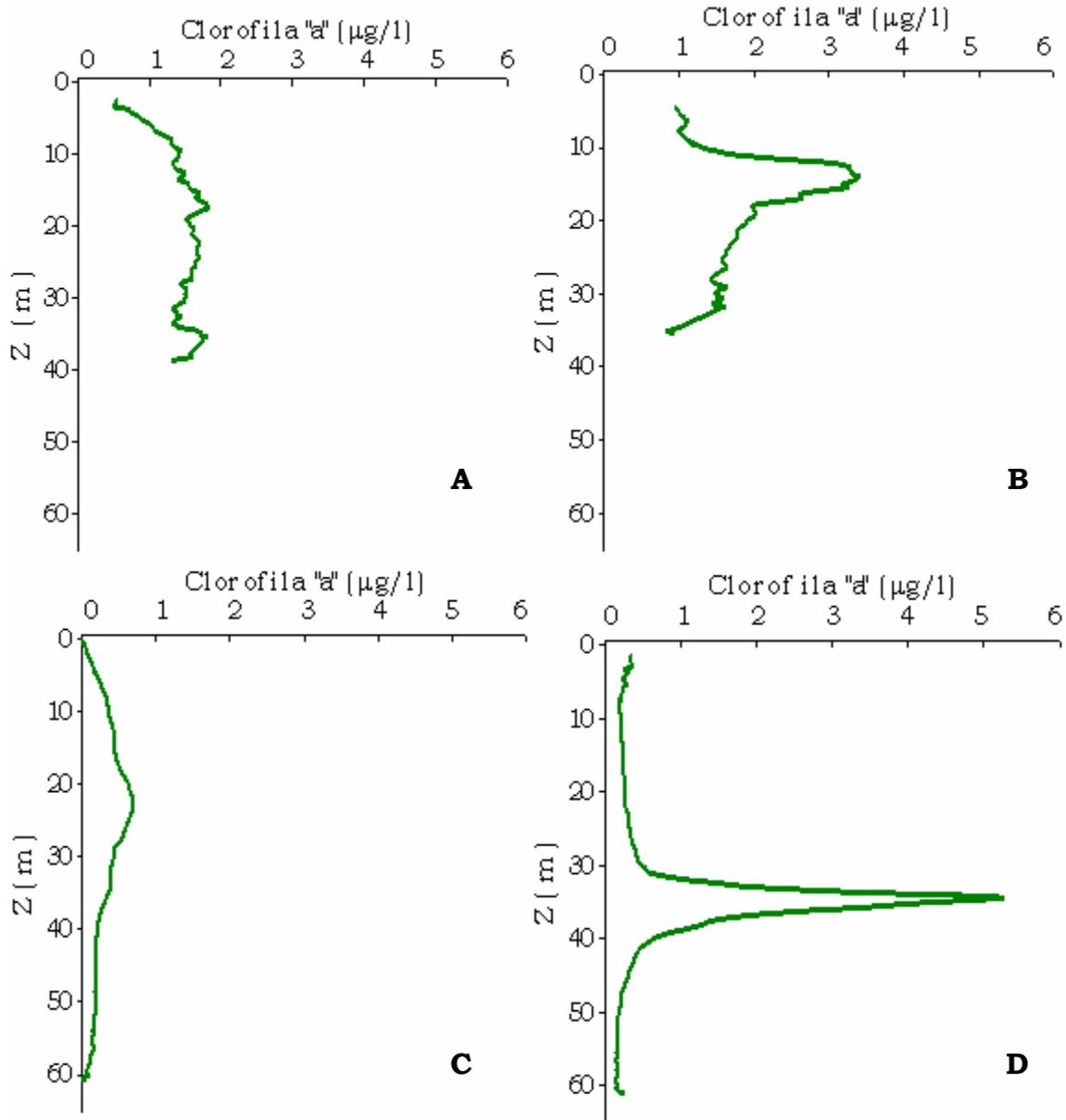


Fig.8. Perfiles de concentración de clorofila "a" del lago Alchichica. (A) Circulación (enero), (B) estratificación temprana (marzo), (C) estratificación bien establecida (julio) y (D) estratificación tardía (noviembre).

VI.2. *Poblana alchichica*

VI.2.1. Distribución horizontal

Los organismos de *P. alchichica* presentaron una tendencia general a ubicarse hacia la periferia –de la zona litoral a los 40m de profundidad- del lago, que en lo sucesivo se denominará “litoral”, en donde fueron especialmente abundantes en la región cercana a los estromatolitos. La distribución horizontal fue similar –no cambió- en todas las temporadas de la hidrodinámica del lago (Fig. 9). Los organismos que se apreciaron en la zona pelágica central del lago constituyeron un porcentaje muy reducido ($3.57 \pm 0.92\%$) a pesar de que en la figura parecen ser más numerosos. La explicación a esta “ilusión óptica” está en el elevado grado de solapamiento de los registros en la zona litoral.

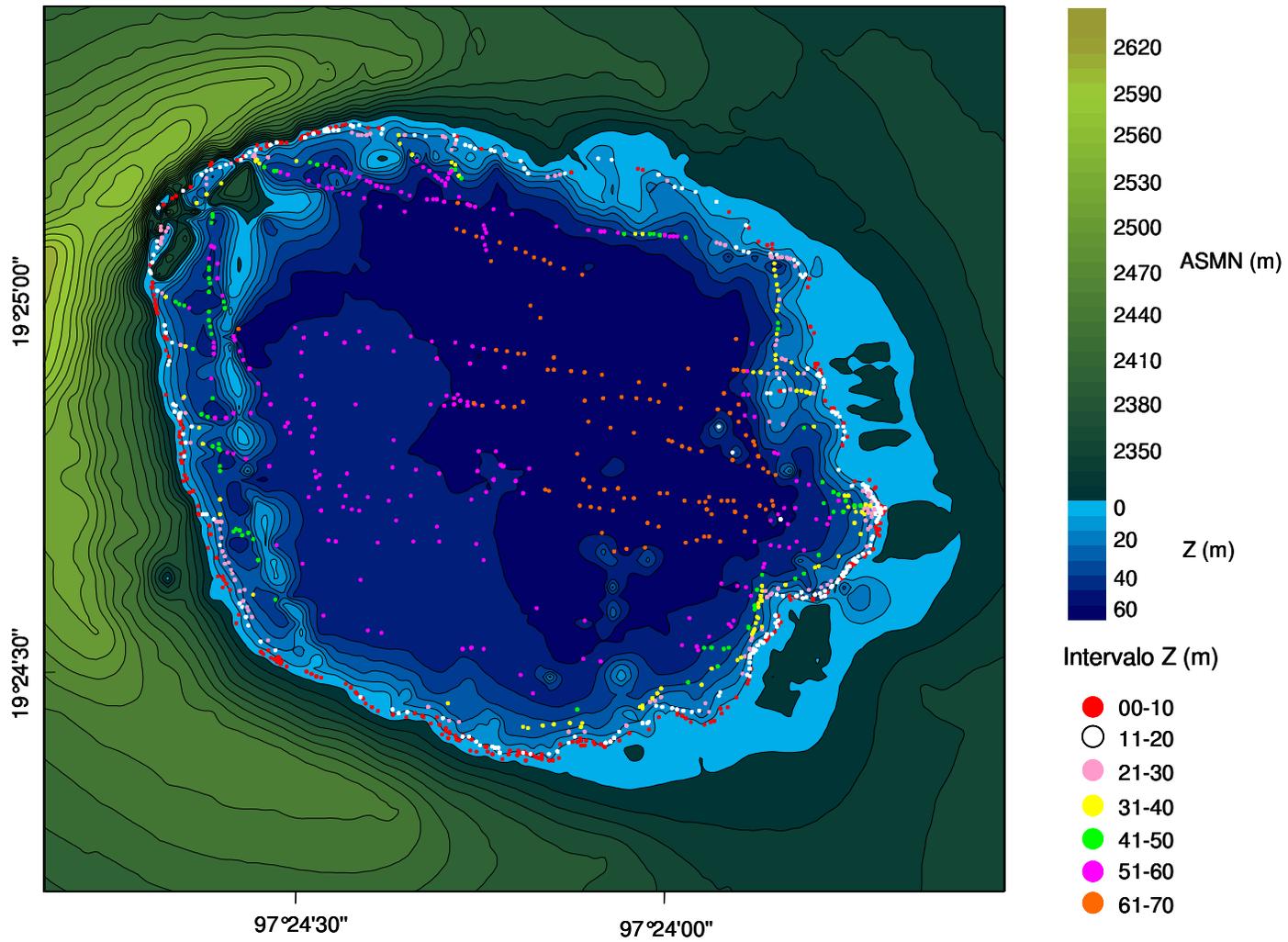


Fig. 9A. Distribución horizontal de *P. alchichica* durante la temporada de circulación en el lago Alchichica, Puebla. (Z = profundidad).

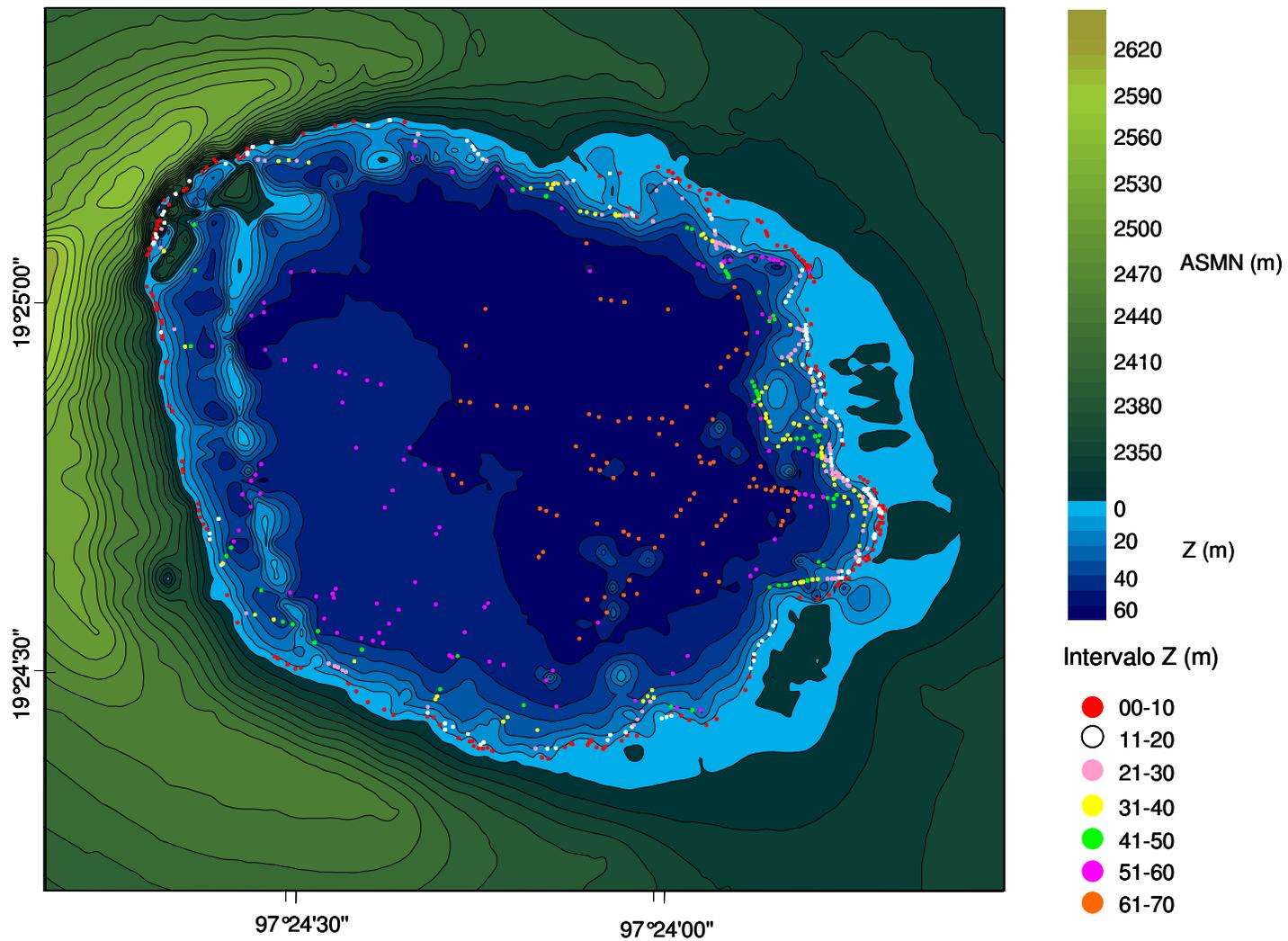


Fig. 9B. Distribución horizontal de *P. alchichica* durante la temporada de estratificación temprana en el lago Alchichica, Puebla. (Z = profundidad).

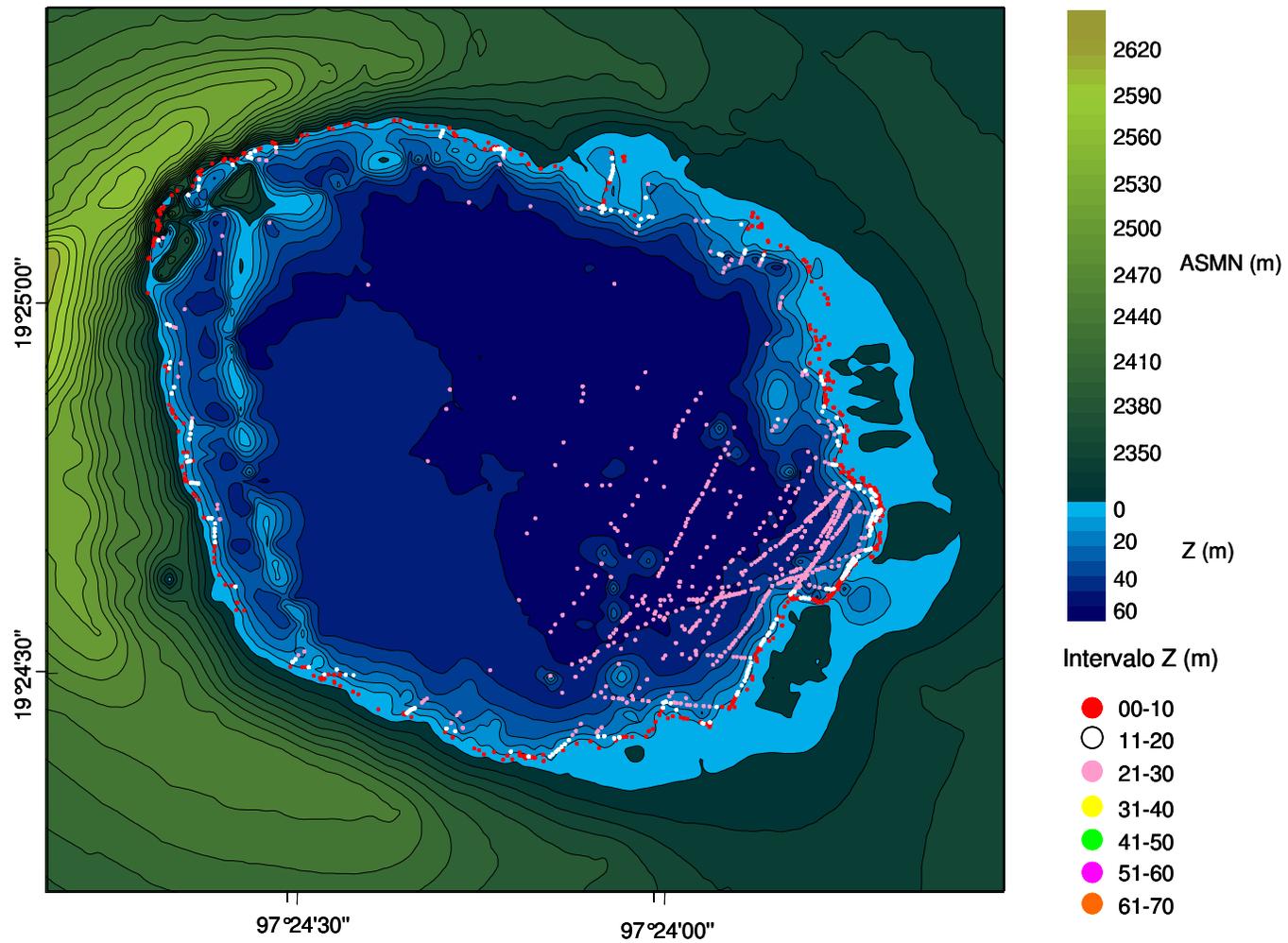


Fig. 9C. Distribución horizontal de *P. alchichica* durante la temporada de estratificación bien establecida en el lago Alchichica, Puebla. (Z = profundidad).

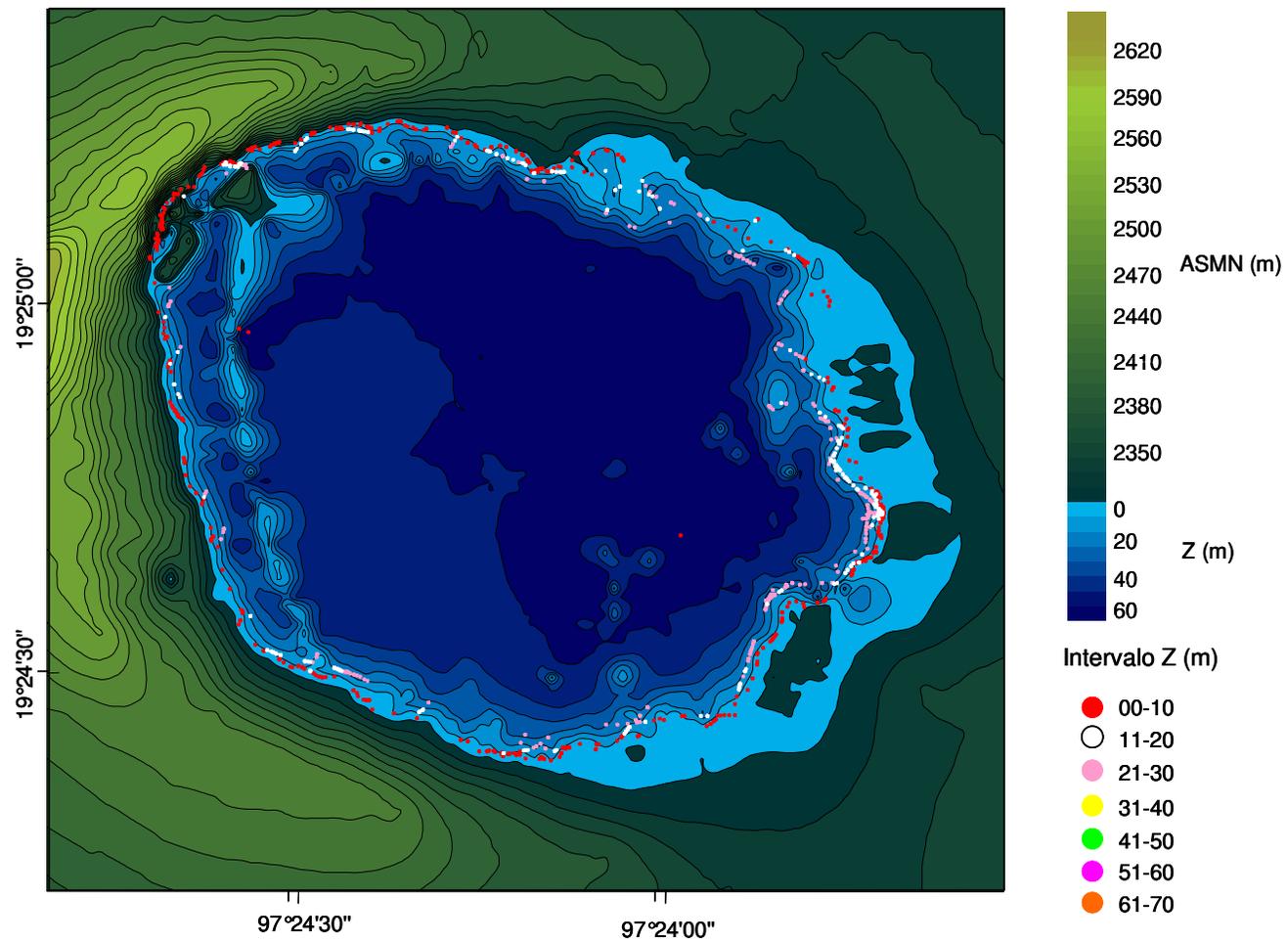


Fig. 9D. Distribución horizontal de *P. alchichica* durante la temporada de estratificación tardía en el lago Alchichica, Puebla. (Z = profundidad).

VI.2.2. Distribución batimétrica

En relación con la distribución batimétrica, se registraron peces desde 0.6 m hasta 55 m. Sin embargo, existe una tendencia preferencial que indica que los peces se ubican hasta profundidades no mayores a los 40 m. A continuación se realiza un análisis para cada temporada.

En la temporada de circulación, los resultados del registro de los peces mostraron una tendencia de los organismos a ubicarse claramente en los primeros 40 m de profundidad con tan solo un 0.5% a profundidades mayores a 50 m; en los primeros 10 m se registraron un 29.8% y de los 31 a 40 m de profundidad un 26.8% (Fig. 10A).

En lo que corresponde a los resultados del periodo de estratificación temprana, se encontró que *P. alchichica* presentó una tendencia preferencial a ubicarse a profundidades no mayores a los 30 m (Fig. 10B) y particularmente en los primeros diez metros (32.9%). Es importante señalar que el número de registros realizados en la zona limnética a profundidades mayores de 50 m fue mínimo con alrededor de 0.6% del total de registros.

Los resultados del registro batimétrico de los peces en la temporada de estratificación bien establecida mostraron una tendencia a localizarse claramente en los primeros 30 m de profundidad (Fig. 10C). Las dos profundidades preferenciales para la distribución de *P. alchichica* en esta temporada son los primeros 10 m asociados a los estromatolitos y de 21 a 30 m en la zona limnética con un 37.7% y 39%, respectivamente.

Finalmente, en lo que corresponde a los resultados de la distribución vertical de *P. alchichica* en el periodo de estratificación tardía, se encontró que los organismos presentaron una tendencia preferencial a

profundidades no mayores a los 40 m (Fig. 10D). Se encontraron especialmente en los primeros diez metros (39%), particularmente asociados a los estromatolitos.

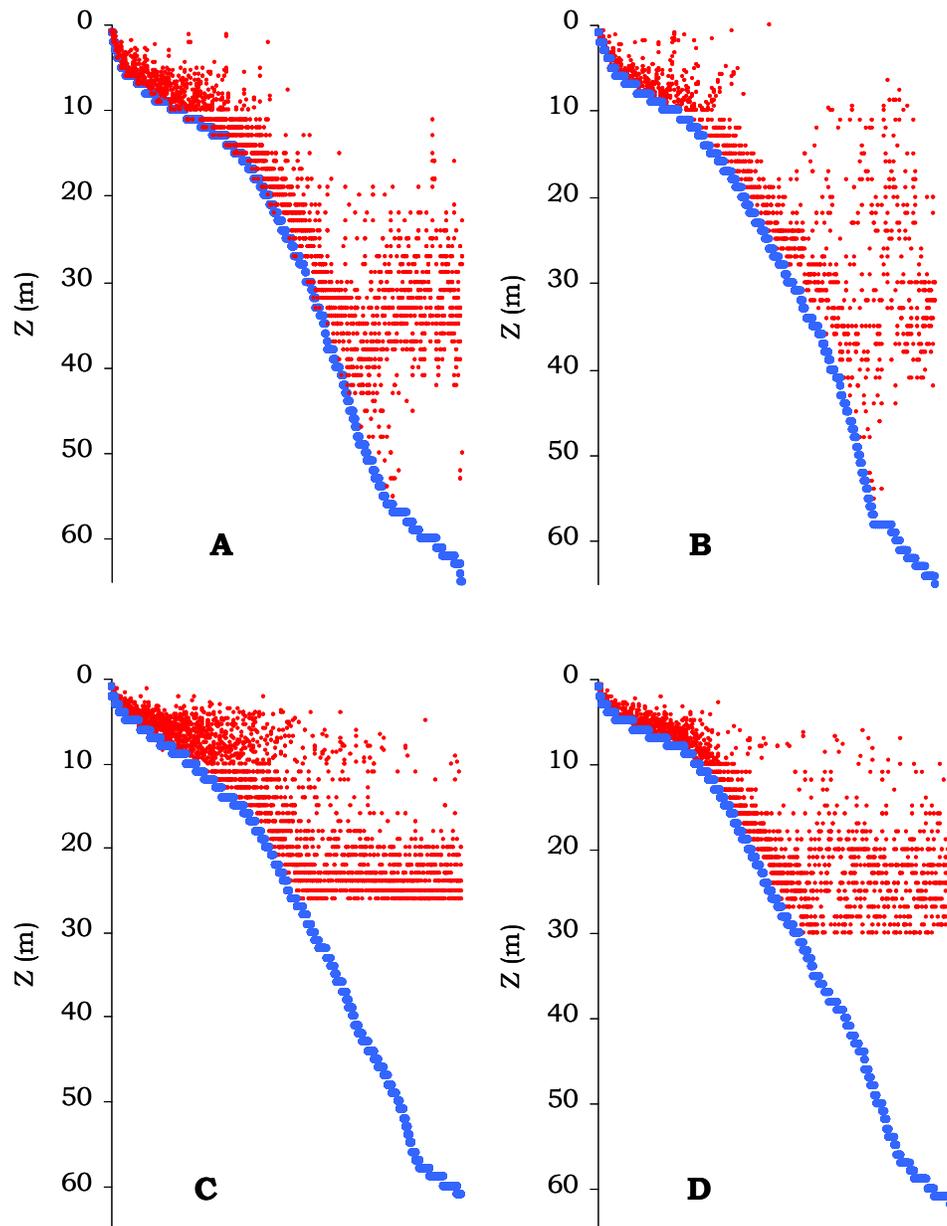


Fig. 10. Registro de las posiciones batimétricas de los organismos de *P. alchichica* (puntos rojos) en comparación con la profundidad de la cuenca (puntos azules) al momento del

registro del pez en el lago Alchichica, Puebla. (A) Circulación, (B) estratificación temprana, (C) estratificación bien establecida y (D) estratificación tardía.

VI.2.3. Abundancia

La abundancia de *P. alchichica* varió desde 12,427 en la estratificación temprana hasta 22,045 en la estratificación bien establecida, con un promedio de $181,114 \pm 4480$ peces (Tabla 1). La abundancia promedio en la dona fue de $16,021 \pm 5200$ peces mientras que en el centro de la dona de tan solo $2,093 \pm 1,546$ peces.

Tabla 1. Abundancia de peces durante las 4 temporadas de la hidrodinámica del lago Alchichica, Puebla. (D = “dona”, CD = “centro de la dona”).

Temporada	No. de peces		
	D	CD	Total
Circulación	17,696	3,628	21,324
Estratificación temprana	9,683	2,744	12,427
Estratificación bien establecida	22,045	0	22,045
Estratificación tardía	14,658	2,000	16,658

VI.2.3.1. Densidad

La densidad de organismos de *P. alchichica* fluctuó desde 0.00096 org/m² en la zona B (centro de la dona, CD) durante la temporada de la estratificación tardía hasta 0.0044 org/m² en la zona A (dona) durante la temporada de la estratificación bien establecida. Asimismo, los valores de densidad presentaron un promedio total de 0.0042 ± 0.0008 org/m² (Fig. 11 y 12).

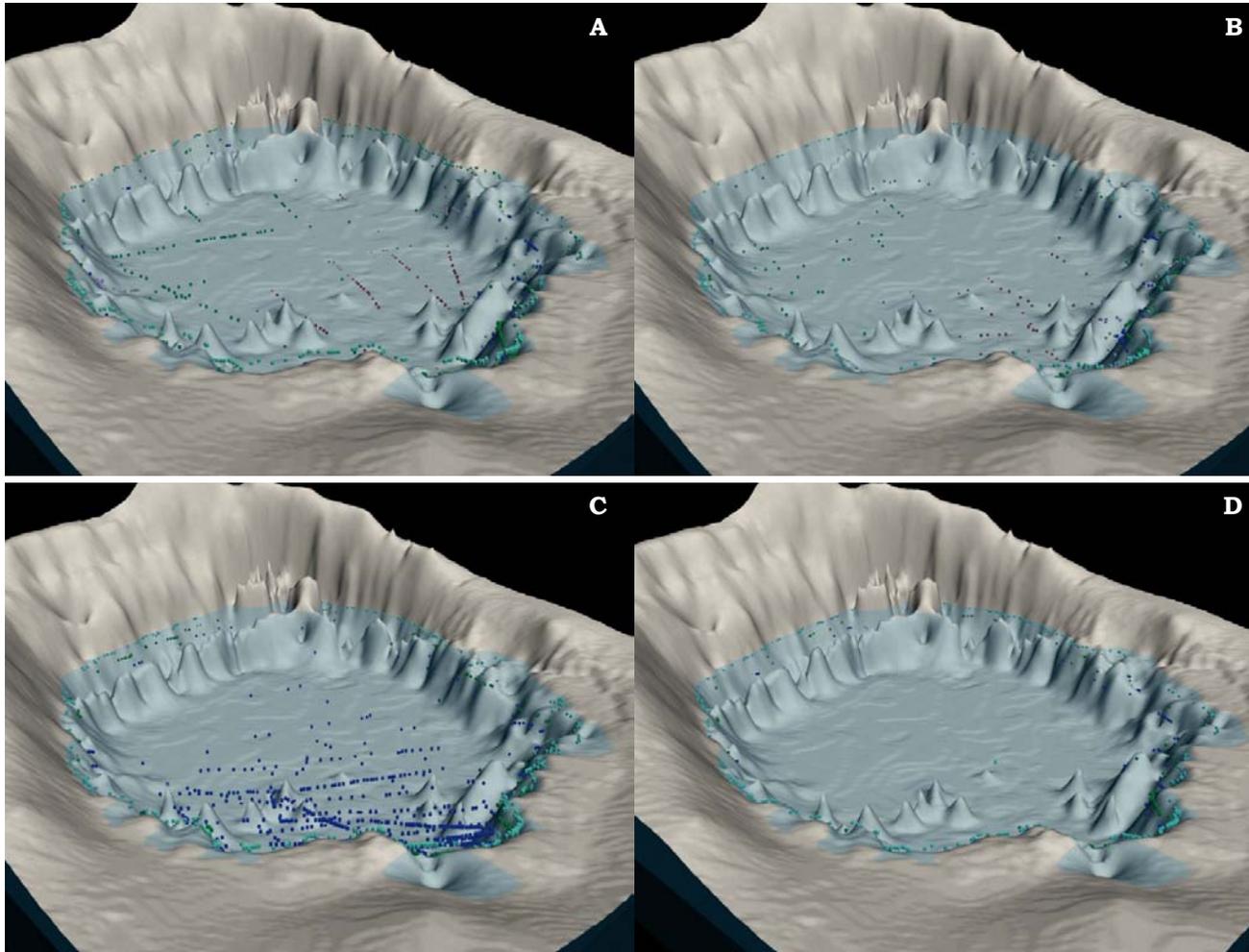


Fig. 11. Abundancia y distribución de organismos de *P. alchichica* en el lago Alchichica, Puebla. (A) Circulación, (B) estratificación temprana, (C) estratificación bien establecida y (D) estratificación tardía.

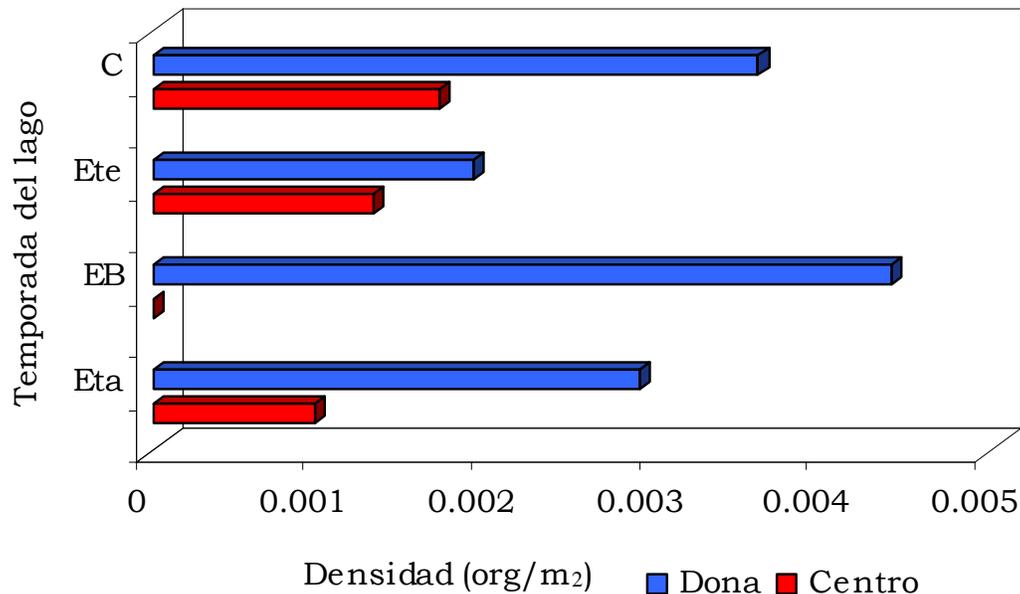


Fig. 12. Densidad de organismos de *P. alchichica* en el lago Alchichica, Puebla. (C) Circulación, (Ete) Estratificación temprana, (EB) Estratificación bien establecida y (Eta) Estratificación tardía en la “dona” (D) y “el centro de la dona” (CD).

VI.2.4 Relación entre *P. alchichica* y las variables ambientales

Se analizó si la distribución de los organismos en la columna de agua tenía relación alguna con los parámetros ambientales medidos en el lago (temperatura, concentración de oxígeno disuelto, radiación fotosintéticamente activa –PAR–, concentración de clorofila “a”) (Fig. 13).

Con relación a la temperatura, se observó que los peces se encontraron tanto en las temperaturas más bajas del lago (14°C en toda la columna de agua de la temporada de circulación), como en las más elevadas (18.6°C en la superficie de la temporada de estratificación bien establecida).

Por otro lado, los peces presentaron una preferencia para ubicarse en concentraciones de oxígeno disuelto de 4mg/l o superior y como era de esperarse, no se encontraron organismos en condiciones de anoxia.

En cuanto a la luz, se esperaba que se presentara alguna relación debido a que los atherinópsidos son cazadores visuales (Wootton, 1992), sin embargo lo mismo se distribuyeron desde cercanos a la superficie (casi 100% del PAR) hasta por debajo de la zona eufótica (< 1% PAR). Por otro lado, cabe mencionar que estos organismos “no cambian” de posición entre el día y la noche, por lo que aparentemente la luz no es un factor determinante en su distribución.

Finalmente, los valores de clorofila –como un proxy de la disponibilidad de alimento- parecen no influir en la distribución de los peces ya que se encontraron organismos tanto en zonas donde la concentración de clorofila fue baja (0.2-0.5µg/l) como en zonas donde la clorofila presentó valores más elevados (3.5 µg/l).

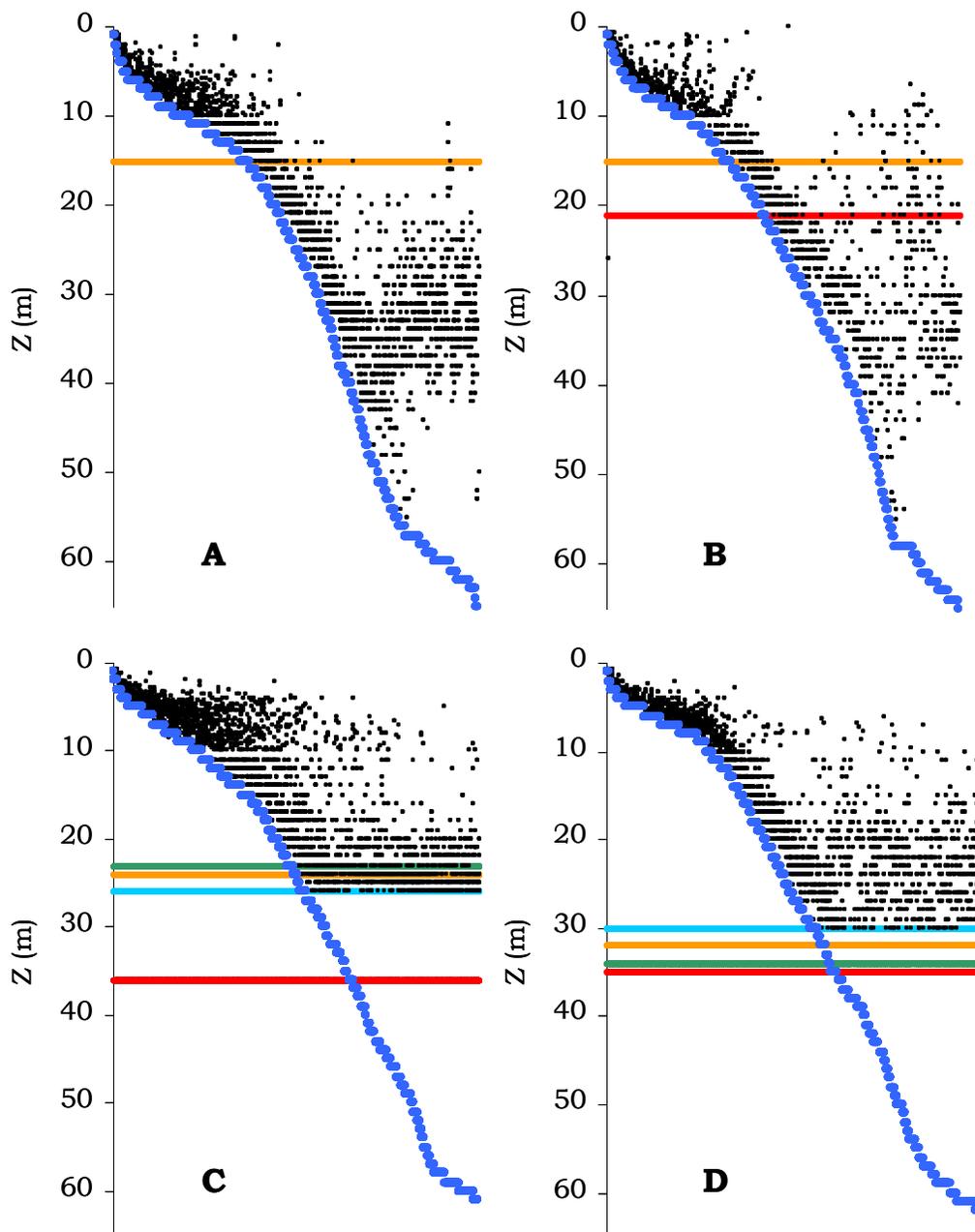


Fig. 13. Distribución de *P. alchichica* (puntos negros), profundidad del lago (puntos azules), con relación a la base de la termoclina (línea roja), concentración de oxígeno disuelto ≥ 1 (línea azul claro), DCM (línea verde) y límite de la zona eufótica (línea naranja), durante la circulación (A), estratificación temprana (B), estratificación bien establecida (C) y estratificación tardía (D) en el lago Alchichica, Puebla.

VIII. CONCLUSIONES

Los valores de densidad mostrados en la presente investigación son similares a los encontrados en investigaciones semejantes de ambientes oligotróficos. Así mismo, la reducida abundancia de estos peces requiere especial atención en su protección al ser una especie endémica y amenazada.

Los peces se encuentran distribuidos horizontalmente de forma preferencial hacia la periferia del lago, principalmente asociados a la cara interna de los estromatolitos, esto es, hacia la zona limnética del lago. Los registros realizados en la zona limnética fueron escasos.

Con relación a su ubicación batimétrica, se encontró que *P. alchichica* se distribuye preferencialmente en los primeros 10 m de profundidad, lo cual parece estar asociado a su ubicación preferencial en la zona de estromatolitos, en la periferia del lago.

Es probable que la distribución horizontal y batimétrica del pez esté en relación con sus requerimientos a) alimenticios (una mayor disponibilidad de su alimento preferido -presas bentónicas-) y b) reproductivos (presencia de sustratos disponibles para la fijación de sus jebecillos y protección de juveniles).

P. alchichica solo se encontró limitado en su distribución por la disponibilidad de oxígeno disuelto (i.e. > 4 mg/l). No se encontró una relación directa aparente con la temperatura, así como tampoco con la luz (zona eufótica) ni con la concentración de clorofila encontrada en el lago.

Tabla 2. Cálculos del volumen y área del lago.

<i>Medidas</i>	<i>Valores</i>	<i>Fuente</i>
Volumen total del lago (VT)	94,212,264 m ³	Filonov, 2005
Volumen de la dona (VD)	73,726,208 m ³	Filonov, 2005
Volumen centro de la dona (VCD)	20,446,056 m ³	Filonov, 2005
Área total del lago (AT)	7,062,803.23 m ²	Planimetría
Área de la dona (AD)	4,978,796.55 m ²	Planimetría
Área centro de la dona (ACD)	2,084,006.68 m ²	Planimetría

Tabla 3. Longitud de los transectos y del perímetro del lago empleado en los muestreos.

Medidas de los transectos (m)	Fuente
477	Map Source
695	Map Source
695	Map Source
892	Map Source
918	Map Source
1100	Map Source
1100	Map Source
1200	Map Source
1200	Map Source
1300	Map Source
1300	Map Source
1400	Map Source
1400	Map Source
1500	Map Source
1500	Map Source
1600	Map Source
1600	Map Source
1700	Map Source
Perimetral = 50,600 m	Arredondo, 1983

Tabla 4. Número de conos que contiene un transecto sin traslaparse enviados por el transducer de la ecosonda.

Transecto (m)	Número de conos sin encimarse	
	Dona (D)	Centro de la dona (CD)
477	35.57	22.36
695	51.82	32.57
695	51.82	32.57
892	66.51	41.81
918	68.45	43.03
1100	82.02	51.56
1100	82.02	51.56
1200	89.48	56.24
1200	89.48	56.24
1300	96.93	60.93
1300	96.93	60.93
1400	104.39	65.62
1400	104.39	65.62
1500	111.85	70.30
1500	111.85	70.30
1600	119.30	74.99
1600	119.30	74.99
1700	126.76	79.68
Perimetral = 50,600 m	15,104.48	

Tabla 5. Áreas y volúmenes muestreados en la dona y el centro de la dona del lago.

<i>Área cono (m²)</i>	<i>Volumen cono (m³)</i>	<i>Número total de conos</i>	<i>Área Muestreada (m²)</i>	<i>Volumen Muestreado (m³)</i>	<i>Valores</i>
141.26		16713.35	2360927.82		ADM
357.67		1011.3	361711.67		ACDM
	528.51	16713.35		8833172.61	VDM
	435.90	1011.3		440825.67	VCDM

Área muestreada dona (**ADM**)

Área muestreada centro de la dona (**ACDM**)

Volumen muestreado dona (**VDM**)

Volumen muestreado centro de la dona (**VCDM**)

Porcentaje muestreado de la dona = 11.98%

Porcentaje muestreado del centro de la dona = 2.15%

Tabla 6. Abundancia de peces en el lago por temporada.

Temporada	Número de peces en el volumen muestreado	Número de peces en el total del lago
Circulación D	2120	17696
Circulación CD	78	3628
E. temprana D	1160	9683
E. temprana CD	59	2744
E. bien establecida D	2641	22045
E. bien establecida CD	0	0
E. tardía D	1756	14658
E. tardía CD	43	2000

Tabla 7. Densidad de peces en el lago por temporada y unidad de volumen y área.

Temporada	Densidad Org/m³		Densidad Org/m²	
	D	CD	D	CD
Circulación	0.00024	0.00018	0.0036	0.0017
E. temprana	0.00013	0.00013	0.0019	0.0013
E. bien establecida	0.00030	0.00000	0.0044	0.0000
E. tardía	0.00020	0.00010	0.0029	0.0010

IX. LITERATURA CITADA

- Alcocer, J., E. Escobar, A. Lugo y L. Peralta, 1998. Litoral benthos of the saline crater lakes of the basin of Oriental, Mexico. *International Journal of Salt Lake Research* 7: 87-108.
- Alcocer, J., A. Lugo, E. Escobar, R. Sánchez y G. Vilaclara, 2000. Water column stratification and its implications in the tropical warm monomictic Lake Alchichica, Puebla, Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 27 :3166-3169.
- Alcocer, J. y A. Lugo, 2003. Effects of El Niño on the dynamics of Lake Alchichica, Central Mexico. *Geofísica Internacional* 42 (3): 523-528.
- Alcocer, J., O. Escolero Fuentes y L. Marín Stillman, 2004. Problemática del agua de la cuenca Oriental, estados de Puebla, Veracruz y Tlaxcala. Pp 57-77. In B. Jiménez y L. E. Marín (eds.), D. Morán, O. Escolero y J. Alcocer (coords.). El agua en México vista desde la Academia Mexicana de Ciencias. México. 403 pp.
- Álvarez, J., 1950. Contribución al conocimiento de los peces de la región de los Llanos, Estado de Puebla (México). *An. Esc. Nac. Cien. Biol. Méx.* 6:81-107.
- Arredondo, F., L. Borrego, M. Castillo y Valladolid, 1983. Batimetría y morfometría de los lagos "maars" de la Cuenca Oriental, Puebla, México. *Biótica* 8 (1): 31-47.
- Arriaga, L., V. Aguilar Sierra y J. Alcocer, 2000, Aguas continentales y diversidad biológica de México, CONABIO, México, 327pp.

- Barbour, C, 1973. A biogeographical history of *Chirostoma* (Pisces: Atherinidae): a species flock from the Mexican Plateau. *Copeia*. 3: 533-556.
- Brandon, R.A., E.J., Maruska y W.T., Rumph, 1981. A new species of neotenic *Ambystoma* (Amphibia, Caudata) endemic to Laguna Alchichica, Puebla, Mexico. *Bull. Southern California Acad. Sci.* 80(3): 112-125.
- Brenner, T., J. Clasen, K. Lange and T. Lindem. 1987. The whitefish (*Coregonus laveretus* L.) of the Wahnbach Reservoir and their assessment by hydroacoustic methods. *Schweiz. Z. Hydrol.* 49/3: 363-372.
- Coyote, H. A., 2000. Análisis de las relaciones taxonómicas entre las especies de *Poblana De Buen* (Pisces: Atherinopsidae) mediante marcadores RAPD. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN. México. 91 pp.
- De Buen, F., 1945. Investigaciones sobre ictiología mexicana. I. Atherinidae de aguas continentales de México. *An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. Méx.* XVI: 475-532.
- Diachok, O., B. Liorzou and C. Scalabrin. 2001. Estimation of the number density of fish from resonance absorptivity and echo sounder data. *ICES Journal of Marine Science*, 58:137-153.
- Dussart, B.H. y D. Defayé. 1995. *Copepoda. Introduction to the Copepoda*. SPB Academia Publishing, Ámsterdam. 277 pp.
- Encina, L, A. Rodríguez-Ruíz. 2003. Abundance and distribution of a brown trout (*Salmo trutta*, L.) population in a remote high mountain lake. *Hydrobiologia* 493:35-42.

- Escobar-Briones, E. y J. Alcocer, 2002. *Caecidotea williamsi* (Crustacea: Isopoda: Asellidae), a new species from a saline crater-lake in the eastern Mexican Plateau. *Hydrobiologia* 477: 93-105.
- Espinosa, H., M.T. Gaspar y P. Fuentes, 1993. Listados faunísticos de México. III. Los peces dulceacuícolas mexicanos. UNAM. México. 98pp.
- Filonov, A., y J. Alcocer, 2002. Internal waves in a tropical crater lake: Alchichica, Central México. *Verth. Internat. Verein. Limnol.* 28: 1857-1860.
- Flores, N. E., 1998. Estudio poblacional de tres especies de *Poblana* (Pisces: Atherinopsidae) en tres lagos cráter de Puebla, México. Tesis de maestría en ciencias (Biología de sistemas y recursos acuáticos). Facultad de Ciencias. UNAM. México. 101 pp.
- Fuentes, A. L., 1972. Regiones naturales del estado de Puebla. Dirección de Publicaciones de la Univ. Nal. Autón. México. 143 pp.
- Gallardo, C.M., 1977. Contribución al estudio del Charal de Chapala *Chirostoma chapalae* (Atherinidae, Mugiliformes). Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 99 pp.
- García, E., 1988. Modificación del Sistema de Clasificación de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). E. García. México. 357 pp.
- Gasca, D. A., 1982. Génesis de los lagos cráter de la Cuenca de Oriental. Colección Científica Prehistoria. *Inst. Nal. Antropol. Hist.* 98. México. 45 pp.

- Guerra, M., 1986. Análisis taxonómico poblacional de peces aterínidos (Chirostoma y Poblana), de las cuencas endorreicas del extremo sur del altiplano mexicano. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol. Méx.* 30:81-113.
- Jurvelius, J., T. Lindem and J. Louhimo. 1984. The number of pelagic fish in Lake Paasivesi, Finland, monitored by hydroacoustic methods. *Fish. Res.* 2: 273-283.
- Lawson, G. L. and G. A. Rose. 1999. The importance of detectability to acoustic surveys of semi-demersal fish. ICES. *Journal of Marine Science*, 56: 370-380.
- Lugo, V. A., 2000. Variación espacial y temporal de la estructura de la comunidad planctónica del lago de Alchichica, Puebla, con algunos aspectos de interacciones tróficas. Tesis de doctorado en ciencias (Biología). Facultad de Ciencias. UNAM. México. 98 pp.
- Lugo A., E. González, M. R. Sánchez y J. Alcocer, 1999. Distribution of *Leptodiptomus novamexicanus* (Copepoda: Calanoidea) in a Mexican hyposaline lake. *Rev. Biología Tropical* (suplemento 1): 141-148.
- Lugo A., J. Alcocer, M. R. Sánchez, E. Escobar y M. Macek, 2001. Temporal and spatial variation of bacterioplankton abundance in a tropical, warm-monomictic, saline lake: Alchichica, Puebla, México. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 5:2968-2971.
- Margalef, R., 1983. *Limnología*. Ediciones Omega. Barcelona, España. 1010 pp.

- Miller, R.R., 1986. Composition and derivation of the freshwater fish fauna of México. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol. Méx.* 30: 121-153.
- Motta, P.J., 1984. Mechanics and functions of jaw protrusion in teleost fishes: a review. *Copeia* 1-18.
- Moyle, B.P. and J. Cech, 2000. Fishes. An introduction to Ichthyology. Fourth Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey 07458. USA. 612 pp.
- NOM-ECOL-059-1994, Diario Oficial de la Federación, 16 de mayo de 1994.
- Oliva, M. G., A. Lugo, J. Alcocer, L. Peralta y M. R. Sánchez, 2001. Phytoplankton dynamics in a deep, tropical, hyposaline lake. *Hydrobiologia*. 466: 299-306.
- Ramírez-García, P., y R.A. Novelo. 1984. La vegetación acuática de seis lagos-cráter del estado de Puebla, México. *Bol. Soc. Bot. México*. 46: 75-88.
- Ramírez-García, P., y F. Vázquez-Gutiérrez, 1988. Contribuciones al estudio limnobotánico de la zona litoral de seis lagos cráter del estado de Puebla. *An. Inst. Ciencias del Mar y Limnol.* 640: 9-31.
- Rusell-Hunter, W. D, 1973. Productividad acuática: Introducción a algunos aspectos básicos de la oceanografía biológica y de la limnología. Acribia Edit. España. 273 pp.

- Solórzano, A. y Y. López, 1965. Nueva especie de *Poblana* capturada en la laguna de Almoloya o Chignahuapan, Estado de Puebla (México). *Ciencia* 23(5): 209-213.
- UICN. 2001. Categorías y criterios de la Lista Roja de la UICN. Preparadas por la Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN. UICN, Gland, Suiza. 38 pp.
- Vázquez, H. M., 1982. Contribución al conocimiento de la biología de *Poblana alchichicae alchichicae* De Buen (Pisces: Atherinidae) del lago cráter de Alchichica, Pue. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN. México. 30 pp.
- Vilaclara, G., M. Chávez, A. Lugo, H. González, y M. L. Gaytán, 1993. Comparative description of crater-lakes basic Chemistry in Puebla State, México. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 25: 435-440.
- Wanzenböck, J., T. Mehner, M. Schulz, H. Gassner and I. Winfield. 2003. Quality assurance of hydroacoustic surveys: the repeatability of fish-abundance and biomass estimates in lakes within and between hydroacoustic systems. ICES. *Journal of Marine Science*, 60: 486-492.
- Wootton, R. J., 1990. Ecology of Teleost Fishes. First edition. Chapman & Hall. 404 pp.
- Wootton, R. J., 1992. *Fish Ecology*. Blackie. Glasgow. 212 pp.