



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA
BIOLOGÍA EN SISTEMAS Y RECURSOS ACUÁTICOS

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LA SISTEMÁTICA DEL GÉNERO
Chirostoma DEL LAGO DE PÁTZCUARO, MICH. MEDIANTE LOS ANÁLISIS
ELECTROFORÉTICOS.

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN CIENCIAS (BIOLOGÍA EN SISTEMAS Y RECURSOS
ACUÁTICOS)

PRESENTA:

Biól. María de los Angeles Alvarez Espíndola

TUTOR

M. en C. Alicia de la Luz Durán González
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

Dr. Alfredo Laguarda Figueras
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

M. en C. Héctor Salvador Espinosa Pérez
Instituto de Biología, UNAM

M. en C. Nidia Pérez Nasser

Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM Campus Morelia.

Dr. Píndaro Díaz Jaimes
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

Ciudad Universitaria, CdMx

septiembre, 2016



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.

*Si no puedes volar entonces corre,
si no puedes correr entonces camina,
si no puedes caminar entonces arrástrate,
pero sea lo que hagas,
sigue moviéndote hacia adelante.*

(Martín Luther King Jr.)

DEDICADO A

Dedico esta tesis a las personas más importantes en mi vida:

Muy especialmente a mis padres

Carmen Espíndola y José Julio Alvarez.

A mis hermanos, Patricia, Juan Carlos, Alberto y Alejandro. A mis sobrinos Daniel Ian, Sebastián, Arturo, Angélica, Araceli, Miguel Ángel, David y Antonio. A mis cuñadas Gaby e Ivón. Ustedes son las personas que más quiero y amo. Para ustedes es mi trabajo y mi vida.

A mis amigos de siempre, cuya amistad es eternamente alborozo al encontrarse, verse y saludarse de nuevo. Siempre los recordare.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a todas las personas y entidades que han colaborado directa e indirectamente en la realización de esta Tesis, en particular quiero agradecer enormemente a la directora del presente trabajo, M. en C. Alicia de la Luz Durán González por brindarme todo su apoyo, conocimientos y comprensión pero sobre todo su paciencia, sus consejos y su gran amistad.

Agradezco las observaciones, correcciones y tiempo dedicado a la lectura de este trabajo por parte de los miembros del jurado, al Dr Alfredo Laguarda Figueras, M. en C. Nidia Pérez Nasser, M. en C. Héctor Salvador Espinósa Pérez y al Dr. Pindaro Díaz Jaimes.

Agradezco a la entonces Directora del Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de Pátzcuaro, Araceli Orbe, así como al Sr. Javier Acevedo y al M. en C. Daniel Hernández Montaña por su apoyo para el uso de sus instalaciones, el préstamo de la lancha empleada en campo, así como su gran hospitalidad.

Agradezco al Hidrobiólogo Porfirio Jesús Soto Cadena, por su amistad, su incondicional apoyo, ayuda y consejos en el trabajo de campo.

Agradezco al jefe de Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos el Dr. Alfredo Laguarda Figueras por brindarme la oportunidad del espacio para la realización de este trabajo, por su paciencia y apoyo, así como los compañeros del Laboratorio, al Dr. Francisco Solís por el cariño de todos, sus reuniones y convivios.

Agradezco a los responsables del Laboratorio de Cómputo del ICM y L Rocío Tafoya e Ignacio Palomares (Nacho) por sus asesorías en el uso de programas, por facilitarme el acceso al material y equipo necesario para la elaboración del escrito de esta tesis.

Agradezco a los diferentes Laboratorios del ICM y L que me apoyaron en el préstamo de algún equipo y material para la realización de este trabajo, especialmente al Laboratorio de Fitoplancton y Productividad (Dr. Sergio Licea), Laboratorio de Físicoquímica y Biogeoquímica Acuática (Hidrob. Sergio Castillo), Laboratorio de Carcinoparasitología (M. en C. Mario Martínez Mayén) y la Dra. Patricia Ramos de la Facultad de Ciencias, UNAM.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	13
OBJETIVOS.....	13
MARCO TEÓRICO.....	14
ANTECEDENTES.....	18
Características Biológicas de la Especies.....	21
ÁREA DE ESTUDIO.....	24
MÉTODOS Y MATERIALES.....	28
Estaciones.....	28
Trabajo de Campo.....	29
Análisis Morfométrico y Merístico.....	30
Análisis Genético.....	33
Preparación de extracción de proteínas.....	34
Preparación de geles.....	34
Tratamiento de los geles después de la electroforesis.....	35
Análisis de datos.....	35
RESULTADOS.....	40
Marco Ambiental.....	40
Análisis Morfométrico y Merístico.....	42
Grupo 1 <i>Chirostoma grandocule</i> , Steindachuer, 1894.....	44
Grupo 2 <i>Chirostoma sp.</i> (híbridos entre <i>C. grandocule</i> x <i>C. estor</i>).....	52
Grupo 3 <i>Chirostoma estor estor</i> , Jordan, 1879, joven.....	59
Grupo 4 <i>Chirostoma estor estor</i> , Jordan, 1879.....	67
Grupo 5 <i>Chirostoma attenuatum</i> , Meek, 1902.....	73
<i>Chirostoma patzcuaro</i> Meck, 1902.....	79
Análisis Genético.....	84
Frecuencias alélicas.....	85
Variación genética.....	89
Análisis de la estructura genética.....	91
DISCUSIÓN.....	95

CONCLUSIÓN.....	112
BIBLIOGRAFÍA.....	115
Anexo I Buffer de extracción de proteínas.....	123
Anexo II Recetas para los sistemas de Buffers.....	123
Anexo III Recetas de tinción.....	124
Anexo IV Resultados genéticos no empleados en el estudio genético por la baja cantidad de datos encontrados.....	128

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1. Zonas ictiofaunísticas.....	16
Fig. 2. Ubicación del área de estudio.....	26
Fig. 3. Batimetría del Lago de Pátzcuaro.....	27
Fig. 4. Zonas de colecta en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán.....	28
Fig. 5. Medidas morfométricas realizadas en cada organismo.....	30
Fig. 6. Análisis cluster para todos los organismos.....	43
Fig.7. Diagramas de caja para las características morfológicas del grupo 1 <i>Chirostoma grandocule</i>	44
Fig. 8. Relación entre las variables del grupo 1, sin rotar.....	46
Fig. 9. Relación entre las variables del grupo 1, con rotación (VARIMAX).....	47
Fig. 10. Abundancia de las especies de <i>Chirostoma</i> en el Lago de Pátzcuaro.....	48
Fig. 11. Localización de <i>Chirostoma grandocule</i> en el Lago de Pátzcuaro, Mich.....	49
Fig. 12. Distribución y abundancia de las especies del género <i>Chirostoma</i> encontradas en el Lago.....	50
Fig. 13. Sexualidad del grupo 1 en temporada de secas.....	51
Fig. 14. Sexualidad del grupo 1 en temporada de lluvias.....	51
Fig. 15. Diagramas de caja para las características morfológicas del grupo 2 (híbrido) <i>C. grandocule</i> x <i>C. estor</i>	53
Fig. 16. Relación entre las variables del grupo 2, sin rotar.....	55
Fig. 17. Relación entre las variables del grupo 2, con rotación (VARIMAX).....	56
Fig. 18. Localización del híbrido entre <i>Chirostoma grandocule</i> x <i>C. estor</i> en el Lago de Pátzcuaro, Mich.....	57

Fig. 19. Sexualidad del grupo 2 en temporada de secas.....	58
Fig. 20. Sexualidad del grupo 2 en temporada de lluvia.....	58
Fig. 21. Diagramas de caja para las características morfológicas del grupo 3 <i>Chirostoma estor</i> joven.....	59
Fig. 22. Relación entre las variables del grupo 3, sin rotar.....	62
Fig. 23. Relación entre las variables del grupo 3, con rotación (VARIMAX).....	63
Fig. 24. Localización de <i>Chirostoma estor</i> juvenil en el lago de Pátzcuaro, Mic.....	65
Fig. 25. Sexualidad del grupo 3 en temporada de secas.....	66
Fig. 26. Sexualidad del grupo 3 en temporada de lluvias.....	66
Fig. 27. Diagramas de caja para las características morfológicas del grupo 4 <i>Chirostoma estor</i>	68
Fig. 28. Relación entre las variables del grupo 4, sin rotar.....	70
Fig. 29. Relación entre las variables del grupo 4, con rotación (VARIMAX).....	71
Fig. 30. Localización de <i>Chirostoma estor estor</i> en el Lago de Pátzcuaro, Mich.....	72
Fig. 31. Sexualidad del grupo 4 en temporada de secas.....	73
Fig. 32. Diagramas de caja para las características morfológicas del grupo 5 <i>Chirostoma attenuatum</i>	74
Fig. 33. Relación entre las variables del grupo 5, sin rotar.....	76
Fig. 34. Relación entre las variables del grupo 5, con rotación (VARIMAX).....	77
Fig. 35. Localización de <i>Chirostoma attenuatum</i> en el Lago de Pátzcuaro, Mich.....	78
Fig. 36. Sexualidad del grupo 5 en temporada de secas.....	79
Fig. 37. Dendrograma de distancia.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Fauna íctica del Lago de Pátzcuaro, Michoacán.....	24
Tabla 2. Variables estimadas en cada individuo.....	31
Tabla 3. Características morfométricas y merísticas del grupo 1, <i>Chirostoma grandocule</i>	45
Tabla 4. Análisis de factores (Sin rotar) grupo 1 Extracción: Factorizando por ejes principales.....	46
Tabla 5. Análisis de factores (VARIMAX) grupo 1; Extracción: Factorizando por ejes	

principales.....	47
Tabla 6. Características morfométricas y merísticas del grupo 2, (híbridos entre <i>C. grandocule</i> x <i>C. estor</i>).....	54
Tabla 7. Análisis de factores (Sin rotar) grupo 2; Extracción: Factorizando por ejes principales.....	55
Tabla 8. Análisis de factores (VARIMAX) grupo 2; Extracción: Factorizando por ejes principales.....	56
Tabla 9. Características morfométricas y merísticas del grupo 3, (<i>Chirostoma estor</i> joven).....	60
Tabla 10. Análisis de factores (Sin rotar) grupo 3; Extracción: Factorizando por ejes principales.....	62
Tabla 11. Análisis de factores (VARIMAX) grupo 3; Extracción: Factorizando por ejes principales.....	63
Tabla 12. Características morfométricas y merísticas del Grupo 4, <i>Chirostoma estor</i> ...	69
Tabla 13. Análisis de factores (Sin rotar) grupo 4; Extracción: Factorizando por ejes principales.....	70
Tabla 14. Análisis de factores (VARIMAX) grupo 4; Extracción: Factorizando por ejes principales.....	71
Tabla 15. Características morfométricas y merísticas del grupo 5, <i>Chirostoma attenuatum</i>	75
Tabla 16. Análisis de factores (Sin rotar) grupo 5; Extracción: Factorizando por ejes principales.....	76
Tabla 17. Análisis de factores (VARIMAX) grupo 5; Extracción: Factorizando por ejes principales.....	77
Tabla 18. Comparación de las medidas morfométricas (mm) y merísticas del género <i>Chirostoma</i> encontrados en el Lago de Pátzcuaro	81
Tabla 19. Resultados en % con respecto a la longitud cefálica para medidas de la cabeza y longitud total para medidas del cuerpo.....	83
Tabla 20. Sistemas enzimáticos empleados.....	84
Tabla 21. Frecuencias alélicas, heterogeneidad media por locus, porcentaje de loci polimórfico y número de alelos por locus para cada población.....	85
Tabla 22. Resumen de las pruebas de ji-Cuadrada para el equilibrio de Hardy-Weinberg.....	90

Tabla 23. Estadísticos F de Wriht (F_{ST}), comparando los tres grupos de especies (<i>Chirostoma grandocule</i> , <i>Chirostoma</i> sp. y <i>C. estor</i> joven).....	91
Tabla 24. Estadísticos F de Wriht (F_{IS}), comparando los tres grupos de especies (<i>Chirostoma grandocule</i> , <i>Chirostoma</i> sp. y <i>C. estor</i> joven).....	92
Tabla 25. Estadísticos F de Wriht (F_{IT}), comparando los tres grupos de especies (<i>Chirostoma grandocule</i> , <i>Chirostoma</i> sp. y <i>C. estor</i> joven).....	93
Tabla 26. Valores de Identidades genéticas y distancias de Nei.....	94
Tabla 27. Loci con exceso de heterocigotos.....	106

RESUMEN

En el estado de Michoacán, México, el Lago de Pátzcuaro es uno de los atractivos turísticos más visitados, forma parte de un corredor de sitios arqueológicos, históricos, recreativos y culturales de la etnia purépecha, además de tener importancia geológica, biológica, ecológica, y arquitectónica.

En este trabajo se analizaron parámetros ambientales del lago, características morfométricas, merísticas y genéticas de poblaciones de distintas especies de peces del género *Chirostoma*. Para la gestión de la pesca de estas especies debemos apoyarnos en una adecuada ordenación del recurso, para ello, es necesario disponer del conocimiento, tanto de las poblaciones acuáticas como del medio físico que las sustenta.

El Lago de Pátzcuaro es homogéneo con circulación continua todo el año, es considerado polimíctico cálido continuo. En la temporada de lluvia la zona sur del lago registró menos oxígeno disuelto, mayor temperatura y turbidez, así como disminución del pH debido a su menor profundidad y cercanía con los asentamientos urbanos. En la zona norte y cuello del lago se presentaron cantidades homogéneas de oxígeno disuelto disminuyendo de la superficie al fondo, sin variación en la turbidez, valores homogéneos de pH y con circulación constante.

En la caracterización de las especies del género *Chirostoma* que habitan el lago, a los datos morfométricos y merísticos obtenidos se aplicó un análisis multivariado, el cual logró identificar grupos bien definidos; el Grupo 1 *Chirostoma grandocule*, Grupos 2 *Chirostoma sp.* (presumiblemente un híbrido entre *C. grandocule* x *C. estor* joven), Grupo 3 *C. estor* joven, Grupo 4 *C. estor* adulto, y Grupo 5 *C. attenuatum*, mientras que *C. patzcuaro* estuvo ausente.

El análisis electroforético de 9 aloenzimas visualizadas en gel de almidón y aplicado a distintos tejidos de los organismos (músculo, ojo, e hígado), reveló que la población de charales de Pátzcuaro tiene una alta variabilidad genética, con 100% de polimorfismo y altos valores de heterocigocidad promedio, semejantes entre los grupos analizados y lo cual descarta la influencia de endogamia o consaguinidad en las poblaciones. Se observó una diferenciación genética baja entre las poblaciones (1.07% de la variación total) y un importante flujo génico ($Nm= 23.1144$), lo que resulta consistente con los valores bajos

de distancia genética de Nei (D) observados, que demuestran que los grupos son muy cercanos.

INTRODUCCIÓN

La República Mexicana ha sufrido desde hace mucho tiempo cambios en su hidrografía, entre los que se encuentra la fragmentación de las cuencas y los cambios en la distribución y drenaje de los sistemas fluviales, como consecuencia de movimientos tectónicos continuos, vulcanismo y levantamiento progresivo de la Mesa Central, la cual está ubicada en la parte sur de la plataforma Mexicana (De Buen, 1944; Barbour, 1973a). En esta zona se presenta el sistema de ríos Lerma-Santiago, el cual incluye a numerosos lagos, entre los que destacan los Lagos de Zirahuén, Pátzcuaro y Cuitzeo. De Buen en 1944, consideró al primero como el más joven, al ser alto y profundo, mientras que al segundo lo definió como el más maduro o viejo y al tercero en decadencia.

Durante la mitad del Cretácico, el área actualmente ocupada por la Mesa Central fue inundada por una transgresión marina, el Portal del Balsas. En el Terciario y principios del Pleistoceno el Río Lerma ancestral probablemente fluyó hacia el oeste, tal vez a través de una serie de lagos hasta el Océano Pacífico. En este tiempo, el curso exacto y la extensión del sistema ancestral son desconocidos (Barbour, 1973a).

Hay mucha evidencia de la reciente actividad volcánica, incluyendo florecimiento de basaltos y conos de carbón, así como el recientemente formado volcán Parícutín en 1943, a 50 km al oeste del Lago de Pátzcuaro. Después de este tiempo, el lago inició la regresión actual, dejando ver en las zonas ocupadas por el lago anteriormente, linderos con características que evidencian la presencia de una regresión anterior (Bradbury, 2000).

Por lo que, los lagos de la Mesa Central (Chapala, Pátzcuaro, Zirahuén, Cuitzeo, Zacapu) estuvieron unidos en un tiempo, siendo Álvarez del Villar (1972), el primer ictiólogo que propuso la existencia de un gran lago, que después se fragmentó, esto nos llevaría a proponer que las cuencas de la Mesa Central y adyacentes, estuvieron conectadas entre sí, porque este fenómeno ha dejado huella en los peces primarios y secundarios principalmente (Barbour, 1973a). Los efectos de la fragmentación, pérdida

del hábitat e introducción de especies exóticas, se ha reconocido que causan efectos acumulativos y modifican las redes tróficas.

Actualmente el estado de Michoacán está caracterizado por tres zonas Ictiofaunísticas; la zona Costera, la Balseana y la Lermense. En esta última zona, definida por la representación de elementos neárticos, está ubicado el Lago de Pátzcuaro, el cual tiene la presencia de especies del género *Chirostoma* (Álvarez, 1972).

Barbour (1973b) así como Miller y Smith (1986) mencionaron que el género *Chirostoma* de la familia Atherinidae (=Atherinopsidae) está compuesto por 18 especies consideradas endémicas y que lo más probable es que el origen evolutivo de este género fue difilético, basándose en características merísticas y de la morfología de las escamas, separándolos en dos grupos de especies. El primer grupo de especies es denominado como JORDANI, el cual está formado por 10 especies, que tienden a tener un número alto de valores merísticos, escamas lacinadas con canales en la línea lateral, el cual se separó de una especie semejante a *Menidia*, e invadió el Sistema Lerma-Santiago muy temprano. El segundo grupo de especies es el ARGE, que cuenta con 8 especies, las cuales presentan un número bajo de valores merísticos, bordes de las escamas lisos y poros en la línea lateral; este grupo evolucionó de una entidad semejante a *Melaniris* que invadió la misma cuenca en un tiempo posterior.

Echelle y Echelle (1984), basados en estudios osteológicos y genéticos rechazan la existencia de estos dos grupos y señalan que los Atherínidos de la Mesa Central y *Menidia peninsulae* forman un grupo monofilético de origen marino, ya que al parecer su ancestro fue un pez marino del género *Menidia*, que logró penetrar a las aguas epicontinentales y que quedó aislado, dando origen a una diversificación de especies dulceacuícolas representativas de la ictiofauna mexicana, y descartan la participación de *Melaniris* en la derivación del género *Chirostoma*, y sugieren además que *Chirostoma* y *Poblana* deben juntarse con *Menidia*.

Para el Lago de Pátzcuaro se tienen registradas 4 especies de *Chirostoma*: *C. estor* (pescado blanco), *C. attenuatum* (charal prieto), *C. patzcuaro* (charal pinto) y *C. grandocule* (charal blanco). La gran semejanza morfológica que muestran entre sí, ha generado problemas taxonómicos serios, lo que ha propiciado errores diversos en su determinación taxonómica y por ende en su administración pesquera (Barbour, 1973b; Chacón, *et al.*, 1991; Soria-Barreto y Paulo-Maya, 2005). Ya que gran parte de los

problemas de las actividades pesqueras se refieren a modificaciones de los hábitats, alteraciones en las tasas de renovación y reclutamiento de los recursos, que en parte responden por la pérdida de especies, por lo tanto, el tenerlas bien caracterizadas nos ayuda para la gestión actual de la pesca. Es por ello que su estudio es de suma importancia para la implementación de programas de preservación y de desarrollo.

El envejecimiento natural que presenta el Lago de Pátzcuaro junto con los asentamientos en torno a este, han traído consigo el agravamiento de problemas como la disminución de su profundidad, el azolvamiento, aumento de la eutricación y la deforestación por la agricultura local. Asimismo, están los problemas sobre la presencia de especies introducidas como la trucha o lobina negra, la carpa y la tilapia, así como la pesca excesiva y omisión de vedas, ya que se tienen registrados y autorizados 800 pescadores y en temporada alta llegan a observarse hasta 2000, siendo que se ha calculado que el aprovechamiento racional ideal sería para un máximo de 350 pescadores. Esto ha reducido a la sexta parte el volumen de captura en un periodo de 10 años, además de que se han reducido las longitudes máximas de captura (Rojas, 2001).

En el presente trabajo, se pretende analizar los parámetros ambientales importantes que definen la distribución poblacional de las especies de *Chirostoma*. Ya que en México, particularmente en el sistema Lerma–Chapala–Santiago, se ha señalado que el daño infringido a los peces por el desarrollo regional ha sido muy alto, tanto por el deterioro de la calidad del agua en la región, por el cambio de uso de suelo derivado de las actividades agrícolas y pecuaria, así como por el crecimiento urbano y el mal manejo de los residuos sólidos y peligrosos, así como por la fragmentación del hábitat, y por la introducción de especies, entre los factores más importantes, que incrementan el riesgo de pérdida o extinción de especies de peces. Así mismo, la reducción de la variabilidad genética puede promover mayor sensibilidad a las variaciones ambientales y eventualmente puede provocar también la extinción de una especie.

Además, mediante marcadores genéticos basados en proteínas, se estimará la variación para poder definir las diferencias poblacionales, lo cual junto con los criterios morfológicos convencionales que se emplearán, coadyuvará a distinguir a los grupos de especies estrechamente emparentadas del género *Chirostoma*, permitiéndonos conocer la estructura genética de las poblaciones naturales (Ryman y Utter, 1988).

Ryman y Utter (1988) mencionan que los peces en general son fenotípicamente más variables que otros vertebrados y esto no está necesariamente asociado con una gran variabilidad genética. Además, los altos niveles de variación fenotípica acoplados con la baja heredabilidad indican una gran susceptibilidad a los factores ambientales. La heredabilidad es la proporción del total de variación fenotípica dentro de una población que es debida a las diferencias genéticas entre individuos.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

Reducción en el número y amplitud de los nichos disponibles, lo que han propiciado las oportunidades de mezcla entre especies y consecuentemente esto podría haber dado lugar a híbridos.

OBJETIVOS

- Evaluar si los parámetros ambientales (temperatura del agua, turbidez, oxígeno disuelto, y pH) del Lago de Pátzcuaro, Michoacán son determinantes en la distribución espacial de las diferentes especies de *Chirostoma*.
- Analizar las características fenotípicas (medidas morfométricas y merísticas) de mayor relevancia y utilidad para definir a las especies presentes en el lago.
- Estimar la variabilidad genética de las especies de *Chirostoma* con base en marcadores Isoenzimáticos.

MARCO TEÓRICO

El estado de Michoacán forma parte de una de las zonas con más alta sismicidad de México, principalmente por su ubicación geográfica ya que se encuentra en el límite de dos placas tectónicas (Pacífica y Norteamericana), además de estar ligada al movimiento de subducción de otra micro placa, la Placa de Cocos (Bradbury, 2000).

Las pruebas geológicas e hidrográficas sugieren que un gran lago Plio-Pleistocénico estaba inmerso en la Cuenca de México, en donde habitaba el ancestro de los géneros *Chirostoma* y *Poblana*. Esta cuenca mantenía conexión fluvial y lacustre con las cuencas endorreicas Orientales a través de la región de los Llanos de Apam y de Puebla. Además, mantenían conexión con la cuenca del Balsas (Barbour 1973b).

Los cambios continuos en los patrones de drenaje se deben a los movimientos tectónicos asociados con la Orogenia Laramide, el vulcanismo de mitad del Terciario y Plio-Pleistoceno (hace 5.3 a 2.588 millones de años), así como la acción de flujos de lava y levantamientos a mitad del Pleistoceno. Esto hizo que los drenajes pre-existentes del Sistema del Río Lerma se fragmentaran (Barbour, 1973a; Bradbury, 2000). A medida que la desecación continuó, el gran lago disminuyó su nivel, a tal grado, que quedó circunscrito a pequeñas áreas lacustres y lagos cráter, que son alimentados principalmente por aguas freáticas.

Por medio de la extracción de columnas de sedimentos, se ha calculado que la edad mínima del Lago de Pátzcuaro es de 44,000 años (Rosas, *et al.*, 1993). Asimismo, se sabe que en el margen sur del Lago de Pátzcuaro se encontraba parte de la zona relativamente profunda del lago Pleistocénico y no se observaron condiciones de elevada concentración iónica, indicando que el lago se mantuvo como una cuenca de aguas dulces (Israde y Garduño, 2001).

Para el periodo Azteca (1325-1521) la zona fue probablemente más húmeda que en el presente, aunque las condiciones de sequía prevalecieron cuando los Aztecas entraron a la cuenca de México. Se reporta que el mayor nivel del agua en el Lago de Pátzcuaro se tuvo el año de 1522, y a la fecha aún no se ha vuelto a obtener después de la conquista. De 1640-1915, el área experimentó una serie de prolongadas y devastadoras sequías, siendo extremadamente severas en la segunda mitad de 1700 y las décadas finales de 1800, en 1706 se tiene el registro de un arroyo ubicado en San Francisco

Uricho, en la orilla occidental del Lago de Pátzcuaro. El impacto de la escasez de lluvia durante los siglos XVIII y XIX se reflejó en el descenso de los niveles de los lagos en la parte central de México. Esto último, sugiere la rápida caída del nivel del Lago de Pátzcuaro en los siglos XIX y XX durante periodos de secas. A principios de 1900, México cambió hacia condiciones húmedas con variaciones en precipitación en este periodo que se pueden explicar por cambios en el verano monzónico principalmente en los años sesentas (O'Hara y Metcalfe, 1997; Jáuregui (1997).

Actualmente, el sistema de Ríos Lerma-Santiago, con drenaje al Pacífico, es la mayor cuenca de la Mesa Central, la cual también posee un número de cuencas interiores, que incluyen al Valle de México y los Llanos de Puebla en el este, los Lagos Santa María y Juanacatlán en el oeste, el Valle de Tocombo cerca de la cuenca del Lago de Chapala y los lagos cercanamente asociados de Zirahuen, Pátzcuaro y Cuitzeo (Echelle y Echelle, 1984; Miller y Smith, 1986).

Como resultado de todo esto, los lagos parecen especialmente propensos a presentar congregaciones de formas de peces genéticamente similares. Porque las cuencas de los lagos son relativamente de corta vida y aislados geológicamente, con oportunidades para colonización entre las cuencas por formas adaptadas a lagos, que además son limitadas (Echelle y Echelle, 1984). El origen reciente de los géneros *Chirostoma* y *Poblana* (Barbour, 1973b; Echelle y Echelle, 1984), el traslape de sus áreas de distribución (Barbour, 1973a), la hibridación natural intraespecífica entre algunas especies del género *Chirostoma* (Echelle y Echelle, 1984) y la escasa diferenciación morfológica interespecífica e intergenérica de los aterinidos (Alvarez, 1950, Barbour, 1973b, Echelle y Echelle, 1984), ha hecho difícil establecer las relaciones taxonómicas y filogenéticas de estos grupos, así como reconstruir su historia evolutiva.

En general, el estado de Michoacán se caracteriza por presentar una importante biodiversidad, debida a su situación geográfica enmarcada dentro del área de confluencia de dos grandes regiones biogeográficas: la Neártica que se extiende desde el norte del continente por el altiplano central de nuestro país, llegando hasta el eje volcánico y la Neotropical que enmarca toda Sudamérica, se continúa hasta el norte hasta encontrar el límite de la Neártica en el centro y comprende las zonas costeras en el Golfo hasta muy poco al norte del Río Bravo y por el Pacífico hasta la angosta planicie costera de Sinaloa y sur de Sonora. La distribución de la familia de peces, Cichlidae que es neotropical, se

toma como índice del límite entre las dos regiones zoogeográficas (Álvarez, 1972; Miller, 1986).

Debido a lo anterior, Michoacán presenta tres zonas ictiofaunísticas bien definidas, la zona Costera, la Balseana y la Lermense (Álvarez, 1972) (Fig. 1).

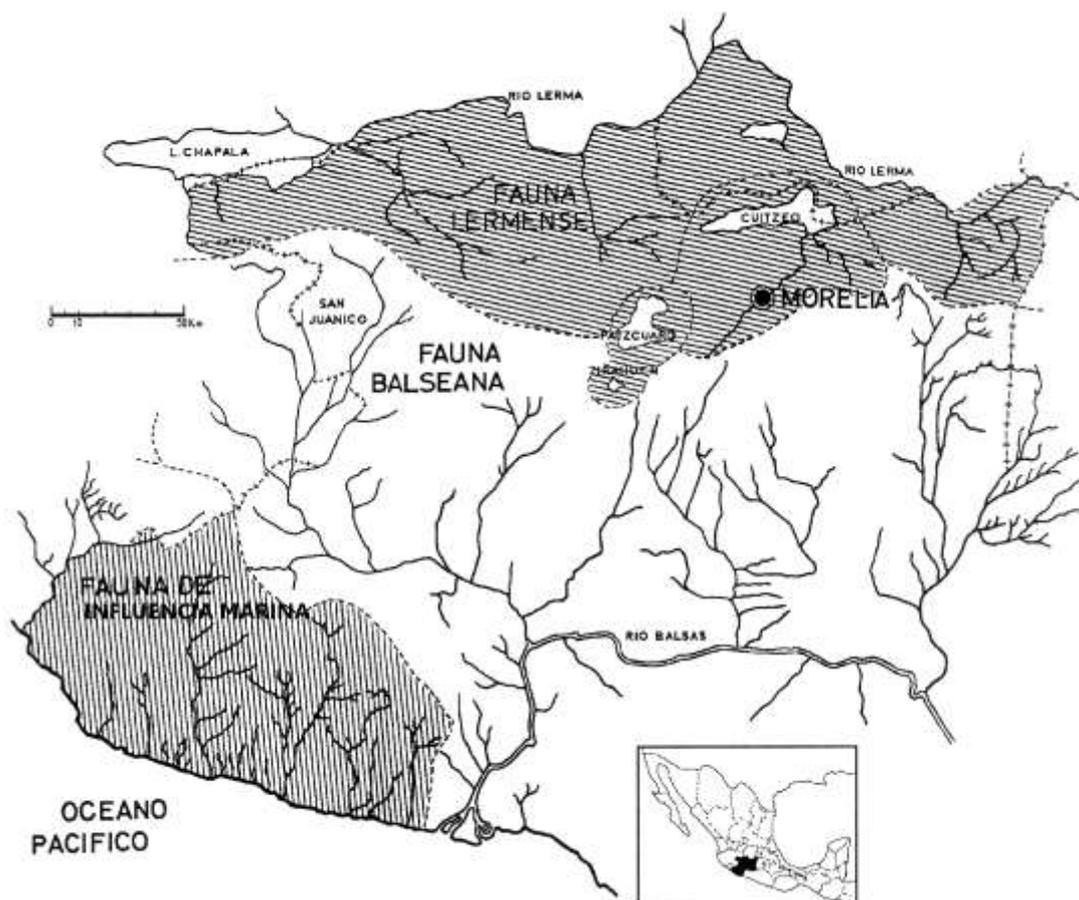


Fig. 1. Zonas ictiofaunísticas (Fuente: Álvarez, 1972).

Zona Costera. La forman las corrientes de pequeños ríos que se originan en los manantiales de la parte alta de la Sierra Madre Occidental, que desembocan al Pacífico en el litoral Michoacano y con marcada influencia marina. El origen de la ictiofauna de los Ríos Costeros se relaciona con familias como los áridos, los eleótridos, los mugílicos y algunos peces planos, los cuales son comunes a las corrientes de la planicie costera michoacana, además de las que corren más al norte o más al sur del Estado.

Zona Balseana. Desde el punto de vista faunístico es neotropical, caracterizada principalmente por la presencia de especies de peces muy abundantes de *Cichlasoma*, de

Poecilia y por *Astyanax*, que no viven en la zona lermense, aunque el Río Balsas alberga aun especies de origen marino, es la más extensa y ocupa la mayor parte del estado.

La zona Lermense. Se caracteriza por la presencia de elementos neárticos, así como numerosos géneros de goodeidos y especies representativas del género *Chirostoma* endémicas y por la ausencia de cíclidos y de *Poecilia*. Para ésta área se ha propuesto el nombre de Provincia Ictiofaunística Mexicana, la cual está formada por la corriente principal del Río Lerma y sus afluentes, el Lago de Chapala, las cuencas endorreicas de Zirahuén, Cuitzeo, y Pátzcuaro (Álvarez, 1972).

El lago de Pátzcuaro presenta un proceso de envejecimiento natural, además de muchos problemas de diversa índole, como la pérdida de más de 4 m de profundidad en menos de 4 décadas, debido a que, en la región, la evaporación y la temperatura ambiental han aumentado mientras que la precipitación pluvial ha disminuido (De Buen, 1944; Téllez, *et al.* 1978; Chacón, *et al.* 1991).

Bradbury (2000), calculó por la presencia de polen de maíz en sedimentos, que hace 4 mil años se inició la agricultura indígena alrededor del lago, por lo que el establecimiento de habitantes indígenas en el área inmediata del Lago de Pátzcuaro tuvo y continúa teniendo efectos profundos en el lago, interrelacionados y exacerbados por el cambio del clima. Entre esos daños esta el azolvamiento y aumento de la eutroficación, ocasionado por la deforestación acelerada, perdiéndose la mitad del bosque original, causado por los incendios, las plagas forestales y la tala ilegal, dada por la falta de fuentes de trabajo, además, las prácticas agrícolas inadecuadas y el creciente abandono de las tierras de uso agrícola, ha ocasionado también la erosión de suelos de la cuenca del lago (Rojas, 2001).

Con la deforestación, aumenta la entrada de minerales, elementos y nutrientes al lago, además, las descargas de drenaje han sido una causa significativa de contaminación orgánica y bacteriológica, así como de plomo que se emplea en la producción de pintura y que en la región es de uso común en la producción de la alfarería; además el uso de agroquímicos es una de las principales causas de deterioro de la calidad del agua (Rosas, *et al.*, 1993; Bradbury, 2000; Israde, y Garduño, 2001).

Según Ledesma (1990), esto ha ocasionado que se altere el hábitat natural de las especies del género *Chirostoma* que habitan en el lago, así como a la probable movilización de las poblaciones a zonas nuevas y más profundas, ocasionando

posiblemente la ruptura de las barreras de aislamiento que las separaban y, por esta razón, podría haber dado lugar a híbridos.

Las especies del género *Chirostoma* han sido explotadas desde hace mucho tiempo por los indígenas purépechas, principalmente con fines de autoconsumo y comercialización (Chacón, *et al.* 1991), y constituyen uno de los recursos más importantes en términos económicos, pesqueros y sociales, ya que estos indígenas basaron su estructura y organización familiar en la pesca de estas especies y la disminución de este recurso ha ocasionado que principalmente los varones migren temporal o permanentemente a las zonas urbanas buscando condiciones de vida mejores (González, 1978).

ANTECEDENTES

Los estudios realizados sobre el Lago de Pátzcuaro son muchos y muy variados, la mayoría poco recientes, y se enfocan a describir sus características generales. De Buen (1941a), Herrera (1979) y Chacón, *et al.* (1989 y 1991) describen la batimetría, morfometría, e hidrología del lago. Ramírez y Jiménez (1992) realizaron la estimación de algunas variables fisicoquímicas del lago. En el trabajo de Orbe y Acevedo (1995) se caracteriza de manera general al lago y se describen las artes de pesca empleadas.

Rosas y colaboradores (1993) evaluaron la calidad del agua y la composición del fitoplancton para determinar las condiciones tróficas del Lago de Pátzcuaro, considerando esta tarea difícil por las características de este lago tropical, tanto en su ubicación en latitud y altitud, como por su heterogeneidad a través del tiempo en relación a los parámetros fisicoquímicos y biológicos; por lo que al tomar en cuenta estos parámetros, así como la composición de la comunidad de algas, consideraron a este lago como eutrófico.

Estudios relacionados con los cambios climáticos en México y especialmente en el Lago de Pátzcuaro, han sido realizados por O'Hara y Metcalfe (1997) y Jáuregui (1997) quienes analizaron las fluctuaciones en el clima de México.

Bradbury (2000) presentó una revisión de la literatura continua de la fisiografía, geología, el clima de la cuenca del Lago de Pátzcuaro y su limnología como parte de sus estudios con polen, diatomeas y geoquímica, ya que es un lugar ideal para estudiar los

cambios ambientales. Estima que la introducción de la agricultura en los márgenes del lago, por la presencia de polen de maíz, fue aproximadamente hace 4, 000 años, documentando la interacción entre el lago y las estrategias de uso entre los nativos, los hispanos y la cultura moderna.

El Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (SEMARNAT, 2001), realizó un estudio, publicando una serie de artículos encaminados a dar propuestas y avances para la restauración de la cuenca del Lago de Pátzcuaro, la explotación de sus recursos y su conservación. Ante los graves problemas de deterioro a los que se enfrenta el lago, de manera organizada, trataron de enfrentar la situación formando el Comité Técnico de Pátzcuaro o “Plan Pátzcuaro 2000”, el cual tuvo su origen desde 1992.

Los trabajos sobre la taxonomía de peces se iniciaron en 1948, con la tesis de licenciatura de Álvarez del Villar J. llamada “Catálogo de los peces de las aguas continentales Mexicanas”, publicado en 1950 por la Secretaria de Marina como “Claves para la determinación de especies en los peces de las aguas continentales Mexicanas”, la cual fue reeditada y publicada en 1970 como “Peces Mexicanos (claves)”, en donde se incluyeron claves para identificar las especies del género *Chirostoma*. Álvarez en 1972 describe las zonas de origen y distribución de la ictiofauna dulceacuícola de Michoacán.

Una figura importante en la ictiología de América desde 1940 hasta 1990 fue Miller R. R., quien de 1966-1970 realizó trabajos sobre la diversidad de la fauna de México y el estado de los peces amenazados y en peligro de extinción. De 1976-1985 publicó artículos, reseñas y resúmenes sobre peces de México y suroeste EE.UU: sobre cariotipos de peces, la conservación, la biogeografía y su sistemática (Miller, *et al.*2009).

Barbour (1973a) realizó un trabajo sobre la historia biogeográfica del género *Chirostoma*, que incluye información geológica y geográfica. Barbour (1973b) aportó las claves para la determinación de especies del género, así como las características morfométricas y merísticas de sus especies.

Asimismo, para el Lago de Pátzcuaro existen diversos trabajos sobre las especies del género *Chirostoma*, aunque la mayoría están enfocados a *C. estor* por su importancia económica y alimenticia en la región, como los de: Espinosa (1941), Solórzano (1963), Secretaría de Pesca (1980), Lizárraga De Tamayo (1981), García de León (1985), Osorio-Sarabia *et al.* (1986), Espina *et al.* (1988), Sabanero y Hernández (1990), Lizárraga y Tamayo (1990), Xirau (1941), Martínez-Palacios *et al.* (2002) y Martínez-

Palacios y Ross (2005) entre otros. Los estudios enfocados a otras especies del género *Chirostoma* del Lago de Pátzcuaro son relativamente escasos, como el de Solórzano (1961) que desarrolló el estudio de la biología del charal prieto *C. bartoni*, considerado actualmente como *C. attenuatum* para esta zona. Rauda y García de León (1989) efectuaron el análisis trófico de *C. patzcuaro* y Rojas *et al.* (1990) proporcionaron los parámetros biológicos-pesqueros de *C. grandocule*. Además, el Instituto Nacional de la Pesca (2005), describe de manera general las especies que forman parte de la pesquería de aguas continentales, entre las que se encuentra el género *Chirostoma* del Lago de Pátzcuaro, las artes de pesca empleadas, su producción pesquera, y las medidas administrativas para disminuir la sobre-explotación.

De Buen en 1941(b), realizó uno de los primeros estudios de las etapas embrionarias de algunas especies de *Chirostoma*. Más recientemente, García De León y colaboradores de la Universidad Michoacana, efectuaron estudios embriológicos de híbridos, por fecundación artificial, resultantes de las cruzas experimentales entre las cuatro posibles especies que existen en el Lago de Pátzcuaro: Ledesma (1990) *C. attenuatum* x *C. patzcuaro*, Oseguera (1990) *C. grandocule* x *C. attenuatum*, Andrade (1990) *C. patzcuaro* x *C. grandocule* y Estrada (1991) *C. estor* x *C. grandocule*. De los cuales algunos por lo menos llegaron a las etapas embrionarias.

El Instituto Nacional de la Pesca en el 2003 creó un libro compendio, en el cual reúne investigaciones de los últimos 40 años, sobre aspectos de la biología y la biotecnología de las especies de pescado blanco del Lago de Chapala (*C. lucius*, *C. sphyraena* y *C. promelas*) y del Lago de Pátzcuaro (*C. estor*), así como, las investigaciones pioneras de la acuacultura en México y de investigaciones en la taxonomía y sistemática del conjunto de especies endémicas agrupadas dentro del género *Chirostoma*.

En cuanto a estudios genéticos, desde 1940 Martín del Campo sugirió la necesidad de realizarlos sobre este grupo complejo de organismos. Olvera (1988) realizó el análisis citogenético de *C. jordani* del Lago viejo de Chapultepec, Aguirre (1992) aportó la caracterización cariotípica de *C. estor* del Lago de Pátzcuaro y Álvarez (1994) la de *C. attenuatum*, también del Lago de Pátzcuaro. Echelle y Echelle (1984) realizaron un estudio genético y evolutivo, basado en electroforesis de 21 poblaciones de *Chirostoma* que incluye a 15 de sus especies, 2 poblaciones de Poblana de la Mesa

Central y representantes de otros 6 géneros de Menidiine que se presentan en las aguas dulces de Norte América.

Arredondo (1998) estudió la morfometría y la sistemática molecular de 7 de las especies más importantes del género *Chirostoma* (*C. grandocule*, *C. consocium*, *C. consocium*, *C. humboltianum*, *C. estor estor*, *C. lucius*, *C. promelas*, y *C. sphyraena*), y la exploración de la diversidad genética de 2 poblaciones de *C. grandocule* representativa del Lago de Pátzcuaro, sugiriendo la existencia de un aislamiento genético distintivo entre las poblaciones, las cuales, menciona que son simpátricas para Chapala y Pátzcuaro.

Barriga (2003) aborda la importancia de los estudios de genética molecular para generar una base de datos aloenzimáticos confiables y actualizados, para el manejo del género *Chirostoma*, analizando a 16 de sus especies y mostrando una dicotomía entre estas, que refleja la separación de dos grupos JORDANI y ARGE, como lo propuso anteriormente Barbour (1973 a,b).

Características Biológicas de las Especies

***Chirostoma grandocule* Steindachner, 1894.**

Es un pequeño pez zooplantófago no estricto, desde alevín, juvenil hasta adulto, especializado en Cladóceros, como sus dos parientes más cercanos en el lago el charal prieto y charal pinto (Tabla 1); depredado por la lobina negra y por el pescado blanco; presenta una longitud máxima de 14 cm; prefiere aguas templadas, neutras o alcalinas sin malezas turbias, con fondos arenosos o de grava; escoge para desovar aguas de poca profundidad y bien oxigenadas junto a algas filamentosas a una profundidad de 0.80 a 1.2 m; una hembra de 10 g desova alrededor de 600 huevos y el desove ocurre en la primavera hacia las orillas del lago, en zonas de oleaje ligero y con presencia de algas filamentosas. Para esta especie se indica una marcada época de desove que inicia en febrero y finaliza en julio, con un máximo en abril; además suponen una segunda época de menor intensidad para los meses de diciembre y enero (Rosas, 1976; Rojas, *et al*, 1990; Instituto Nacional de la Pesca, 2005).

Según los contenidos estomacales, Oseguera (1990) encontró que *C. grandocule* tiene una diversidad trófica baja, pero lo que prefiere en general como alimento es más abundante, por lo que sugiere que es más especializado al medio ambiente que habita.

Rojas y colaboradores (1990) realizaron la curva de crecimiento de esta especie, notando un incremento de aproximadamente 10 mm por mes hasta los 65 mm, después este incremento baja a 5 mm por mes hasta llegar a la talla de 90 mm al año siete meses, hasta alcanzar la talla máxima estimada a los 3.8 años.

Chirostoma grandocule esta dentro del grupo JORDANI, con altos valores merísticos, las escamas de la línea lateral con canales y escamas con los márgenes lacinados (Barbour, 1973b).

***Chirostoma estor estor*, Jordan, 1879.**

Tienen una boca pequeña terminal con dientes mandibulares pequeños unicúspides, así como dientes y branquiespinas ornamentadas y arcos branquiales ornamentados, con haces de pequeños dientes, diseñados para la filtración y el consumo de pequeñas partículas desde edades muy tempranas, que se convierte en un sistema complejo de filtración zooplanctófaga cuando es juvenil y adulto, lo cual no invalida a la especie a incluir en su dieta a diversos Astácidos de tamaño medio, y peces cuando alcanza las tallas adultas (Martínez-Palacios, *et al.*, 2002).

Durante su cultivo se ha constatado que estos peces llegan a la madurez gonádica tanto de hembras (óvulos) como de machos (esperma) en aproximadamente un año, con tallas que oscilan los 120 a 150 mm de longitud total. Esta especie es un desovador frecuente y pequeñas cantidades de huevos, dependiendo de la talla, de 500 a 3000 maduran; los picos de desove al parecer se sincronizan con el ciclo lunar (Martínez-Palacios, *et al.*, 2002).

Las hembras son más abundantes en una proporción de 1 macho: 1.5 hembras (Lizárraga y Tamayo, 1990).

Sus huevos son de tamaño pequeño entre 0.9 y 1.2 mm de diámetro con 6 a 8 hilos adherentes, ya fertilizados tardan de 7 a 8 días en eclosionar a 25°C. Las larvas recién eclosionadas miden entre 4.5 y 5 mm de longitud total, además, la larvas antes de la eclosión poseen un desarrollo extraordinario de los ojos que se hace patente en su habilidad de captura de presas en el momento de la eclosión (Martínez-Palacios, *et al.*, 2002).

El intestino de juveniles y adultos tiene una proporción de 1:0.7, característica de un carnívoro, sin embargo, esta especie no posee un estómago definido, el pH del tracto

digestivo del adulto oscila entre neutro y alcalino (en la sección anterior pH= 6.5 y en la parte media y posterior pH= 8.0), por lo tanto, la mayor actividad de proteasas es la de tipo tripsina (Martínez-Palacios, *et al.*, 2002).

Chirostoma estor pertenece al grupo JORDANI con valores merísticos altos, escamas de la línea lateral con canales y escamas con márgenes lacinadas (Barbour, 1973b).

***Chirostoma attenuatum* Meek, 1902.**

La dieta de *Chirostoma attenuatum* esta basada en crustáceos, insectos, restos de peces, algas y rotíferos, presenta una amplia diversidad trófica comparado con *C. grandocule*. Esta especie se reproduce de enero a mayo, pero en febrero es más abundante, la talla de primera madurez es de 63 mm (Instituto Nacional de la Pesca, 2005).

También llamado charal prieto (Tabla 1), se encuentra principalmente en sitios más someros y pedregosos o fangosos (De Buen, 1941b; Oseguera, 1990).

Oseguera (1990), lo encontró en diversas localidades, pero con una menor distribución y abundancia, menciona que en general es más escaso y en algunos casos nulo (Santiago, Ihuatzio, y el resto de la parte sur del lago). Además, mencionó en su estudio que es una especie resistente para su cultivo, al durarle en cubetas hasta 8 días. Asimismo, los machos son más abundantes y maduros a tallas pequeñas (56 mm de longitud estándar) y con alta producción de esperma, las hembras escasas y con poca producción de óvulos.

Chirostoma attenuatum esta dentro del grupo ARGE, el cual presenta bajos valores merísticos, las escamas de la línea lateral con poros y con escamas de márgenes lisos (Barbour, 1973b).

***Chirostoma patzcuaro* Meck, 1902.**

En el presente trabajo no se encontraron ejemplares de esta especie. En el estudio de Andrade (1990), sobre el cruzamiento entre *C. patzcuaro* x *C. grandocule*, se menciona que para entonces era de gran dificultad localizar al charal pinto, escaseando notoriamente tanto maduro como inmaduro sexualmente en todas las localidades. Comparando estas especies, encontró una proporción de 700-800 de *C. grandocule* por cada 4 a 5 *C. patzcuaro*, aunque lo consideró mas o menos resistente (Tabla 1). Ledesma (1990) los define como poco frecuentes y con baja abundancia, tanto hembras como

machos son escasos con baja producción de óvulos y espermatozoides; además, como una especie poco resistente, calculando una duración en cubetas de 3min.

Tabla 1. Fauna íctica del Lago de Pátzcuaro, Michoacán.

Familia y especie	Nombre común	Nombre Purépecha	Hábitos alimenticios
I. Atherinopsidae <i>Chirostoma estor</i> <i>Chirostoma grandocule</i> <i>Chirostoma attenuatum</i> <i>Chirostoma patzcuaro</i>	Pescado blanco Charal blanco Charal prieto Charal pinto	Khuruchechea Khuruchaurapiti Chakuami Khuerepoturipiti Khuerepo	Carnívoro (zooplancton) Carnívoro (zooplancton) Carnívoro (zooplancton) Carnívoro (zooplancton)
I Goodeidae <i>Allophorus robustus</i> <i>Neoophorus diazi</i> <i>Allotoca vivipara</i> <i>Skiffia lermæ</i> <i>Goodea atripinnis</i>	Chehua Tiro Tiro Tiro Tiro	Tirhuecha chehua Choromu Tirhusapichu Tirhu Tirhupitsupiti	Carnívoro (Peces e insectos) Carnívoro (zooplancton) Carnívoro (zooplancton) Omnívoro (plancton) Herbívoro (fitoplancton)
III. Cyprinidae <i>Algansea lacustris</i> <i>Cyprinus carpio</i> <i>Ctenopharyngodon idella</i>	Acúmara Carpa Carpa	Akumara	Omnívoro (plancton) Omnívoro (bentos) Herbívoro (plantas)
IV. Centrarchidae <i>Micropterus salmoides</i>	Trucha		Carnívoro (peces)
V. Cichlidae <i>Tilapia melanopleura</i>	Mojarra		Omnívoro

Fuente: modificada de Orbe y Acevedo (1995). Las especies endémicas están representadas por las 10 primeras enlistadas en la Tabla y las especies introducidas son las dos carpas, la trucha y la mojarra.

ÁREA DE ESTUDIO

El Lago de Pátzcuaro es un cuerpo de agua maduro con una superficie total de 130 km², incluyendo islas (en la actualidad 76 km² de esta superficie son aguas abiertas y 54 km² están ocupadas por islas) vegetación acuática y zonas pantanosas. Sin incluir islas tiene 126.44 km² y tiene 3.56 km² como el área comprendida por islas, isletas y rocas; por lo tanto 50.44 km² están ocupadas sólo por vegetación acuática y zonas pantanosas (Chacón, *et al*, 1989).

El Lago de Pátzcuaro es un lago tropical de alta montaña que se localiza en la parte centro norte del estado de Michoacán entre los 101° 32' y 101° 43' de longitud oeste y los 19° 32' y 19° 41' de latitud norte, a 50 km al sureste de Morelia (Fig. 2), con una altitud de 2035 m.s.n.m., por lo que es considerado uno de los lagos más altos del

planeta y la historia del estado de Michoacán se encuentra ligada a él (Chacón *et al*, 1991; Bradbury, 2000). Asimismo, es un cuerpo de agua maduro de carácter endorreico, cuyo balance hidrológico se encuentra controlado por la diferencia entre precipitación y evaporación. Colinda por el oriente con el río Grande de Morelia y por el sur con el río Balsas (García de León, 1985). El lago no cuenta con afluentes ni ríos tributarios importantes, siendo alimentado por escurrimientos y arroyos temporales superficiales durante la temporada de lluvias, las entradas de agua al vaso lacustre derivan exclusivamente de la lluvia estacional y la filtración, por lo que las variaciones de nivel son continuas (Chacón *et al*, 1991; Bradbury, 2000).

Presenta un clima de tipo C (W₂) (w) b (e) g que es templado subhúmedo con lluvias en verano y con temperaturas que oscilan de 9.2° a 23.2° C y con una precipitación anual de 950 mm, que varía significativamente año con año, la precipitación anual baja fue de 567 mm (1957), mientras el valor alto fue de 1635 mm (1935); la evaporación media anual es de alrededor de 1500 mm/año en primavera y principios de verano. Las altas temperaturas ocurren durante la estación seca (Bradbury, 2000).

Es una cuenca cerrada de forma alargada con ensanchamientos tanto en la parte norte como en la parte sur y con una curvatura hacia el noroeste, dándole una forma de “C” por lo que en la dirección este-oeste tiene una longitud de 50 km y en dirección norte-sur una longitud de 33 km (Fig. 2). El lago presenta un perfil básicamente homogéneo, con una pendiente de relieve suave en la zona litoral y más abrupta en las zonas limfáticas y con una rugosidad del fondo media característica de una región volcánica (Chacón *et al*, 1989 y 1991).

Según De Buen (1941a) se distinguen cuatro zonas: El seno de Quiroga, en la parte norte del lago, con una amplitud máxima de 10 km en su eje Sureste-Noroeste y 3.5 km de longitud Noroeste-Suroeste; el cuello en la parte media y la más angosta del lago, con una amplitud promedio de 3.75 km en su eje Sureste-Noroeste y una longitud de 7.5 km en su eje Noreste- Suroeste; el seno Erongarícuaro, perteneciente a la parte suroeste, con una amplitud promedio de 7.2 km en su eje Sureste-Noroeste y una longitud promedio de 3.9 km en su eje Noreste- Suroeste; y, por último, el seno Ihuatzio en el extremo sur, con una amplitud promedio en su eje Sureste-Noroeste de 8.25 km y una longitud promedio de 4 km en su eje Noreste-Suroeste. Estas dimensiones son variables

debido a la pérdida del nivel del agua en esta última zona, que es la considerada como menos profunda y, además, por la presencia de mucha vegetación que borra el contorno natural del lago uniéndolo con la zona terrestre. A partir de esto, se puede considerar que la máxima longitud o eje mayor del lago es de 19.75 km medida en dirección SSO-NNE, su perímetro es de 114.1 km y la máxima amplitud o anchura es de 10.9 km (Chacón, *et al.* 1991). En la parte norte cerca de San Jerónimo, se encuentra la máxima profundidad, que es de 10.8 m, en el cuello presenta de 5 a 9 m y en la parte sur de 2 a 3 m, estimando que el volumen total del lago es de aproximadamente 628.4 millones de metros cúbicos, siendo esta también una medida variable (Fig. 3).

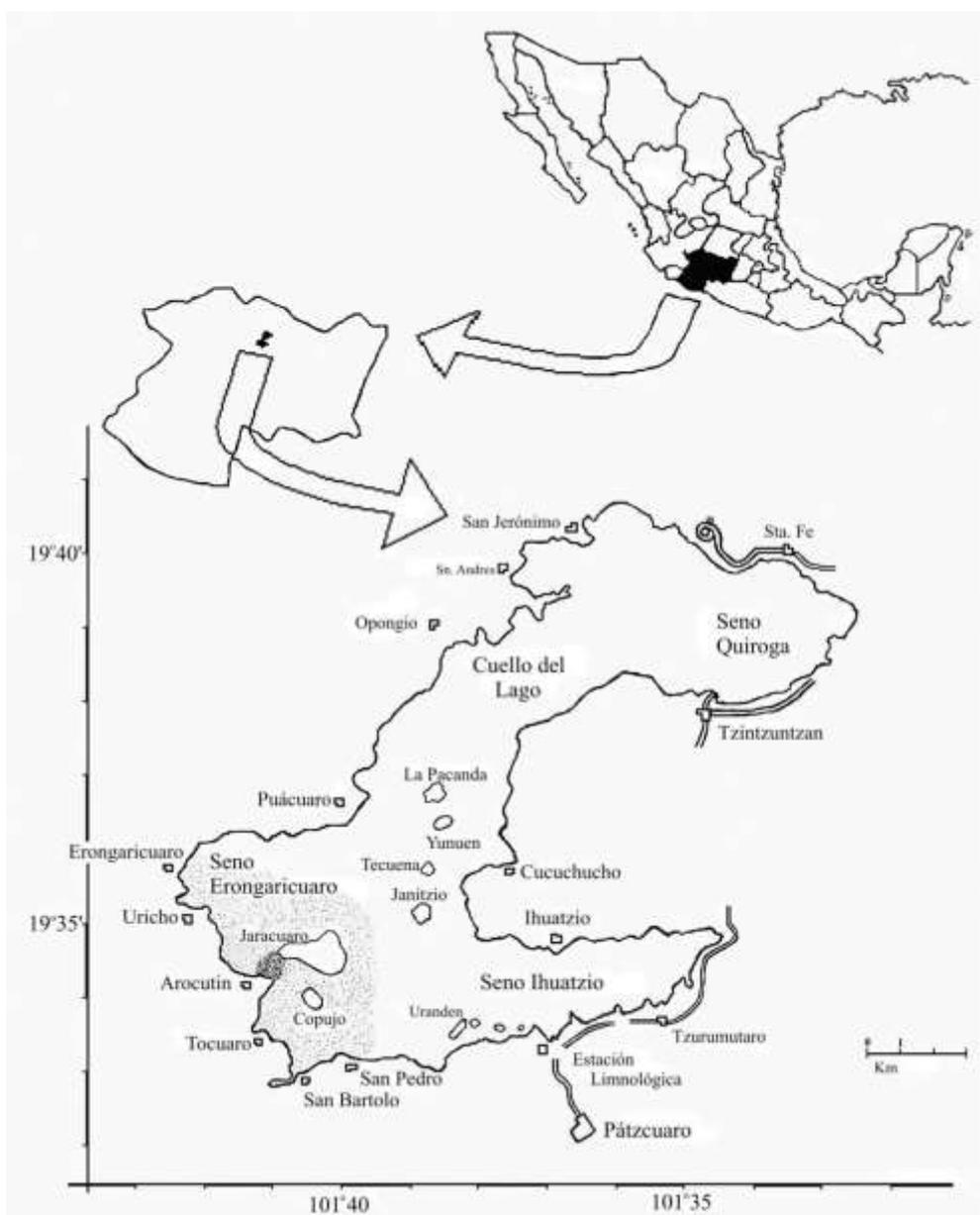


Fig. 2. Ubicación del área de estudio.

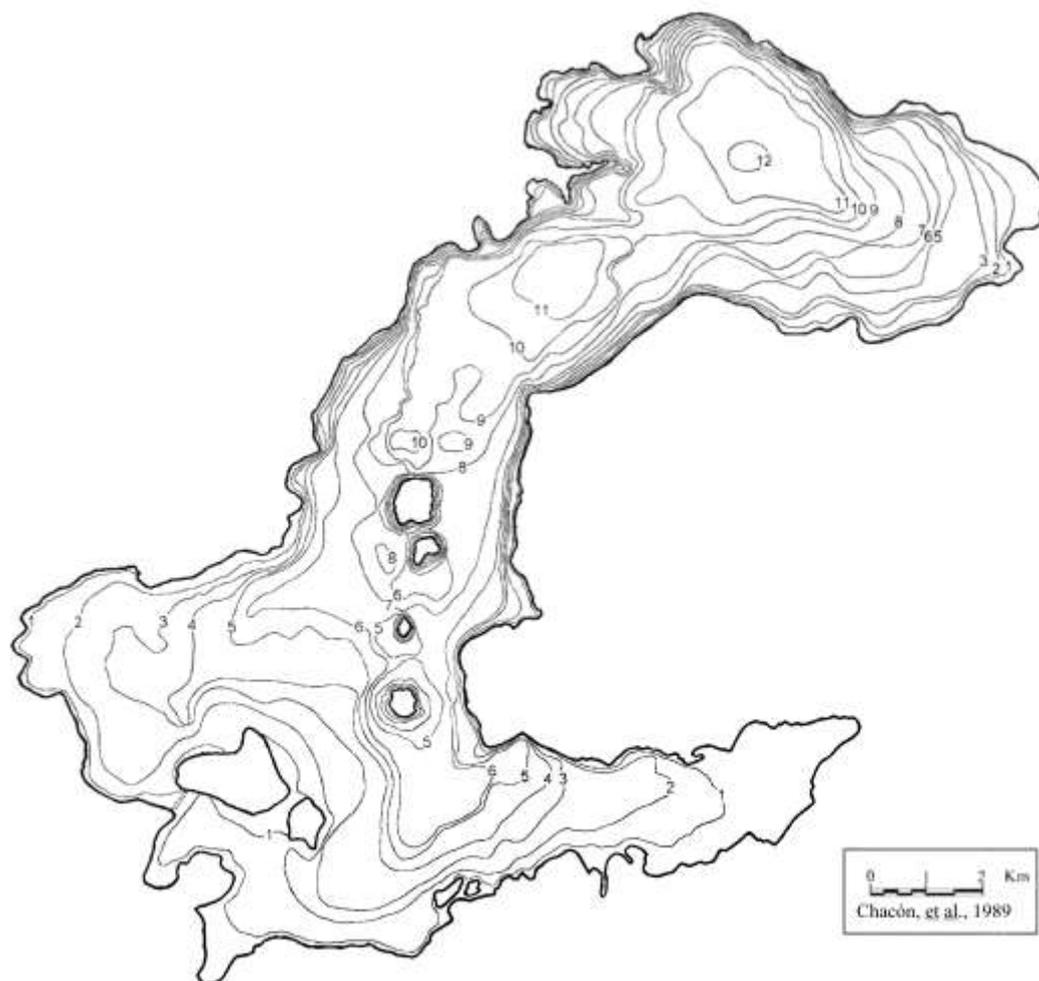


Fig. 3. Batimetría del lago de Pátzcuaro (Fuente: Chacón *et al*, 1989).

Este estero está rodeado por 26 pueblos pequeños indígenas. Actualmente cuenta con cuatro islas al centro del lago, que son: Janitzio, La Pacanda, Yunuén, y Tecuena, un pequeño islote llamado “La Tecuenita”, por encontrarse cerca de ésta última, así como Jarácuaro, la más grande y la que ya es posible llegar por un camino de terracería; además, tres de sus islas prácticamente ya han pasado a formar parte de tierra firme debido al azolvamiento, ellas son Uranden, Morales y Uranden Carian (Ramírez y Jiménez, 1992).

MÉTODOS Y MATERIALES

Se realizaron dos recolectas de individuos de *Chirostoma* en 6 localidades representativas de las 4 zonas principales del Lago de Pátzcuaro descritas por De Buen (1941a): El seno de Quiroga, el cuello en la parte media, el seno Erongarícuaro y el seno Ihuatzio, las cuales se pueden apreciar en el mapa de la Figura 4.

- Estación I En el centro del Seno de Quiroga.
- Estación II En la parte norte del cuello del lago.
- Estación III Frente al poblado de Opongio.
- Estación IV Entre la Pacanda y Puácuaro.
- Estación V En la zona del seno Erongarícuaro.
- Estación VI En el seno Ihuatzio junto al poblado del mismo nombre.

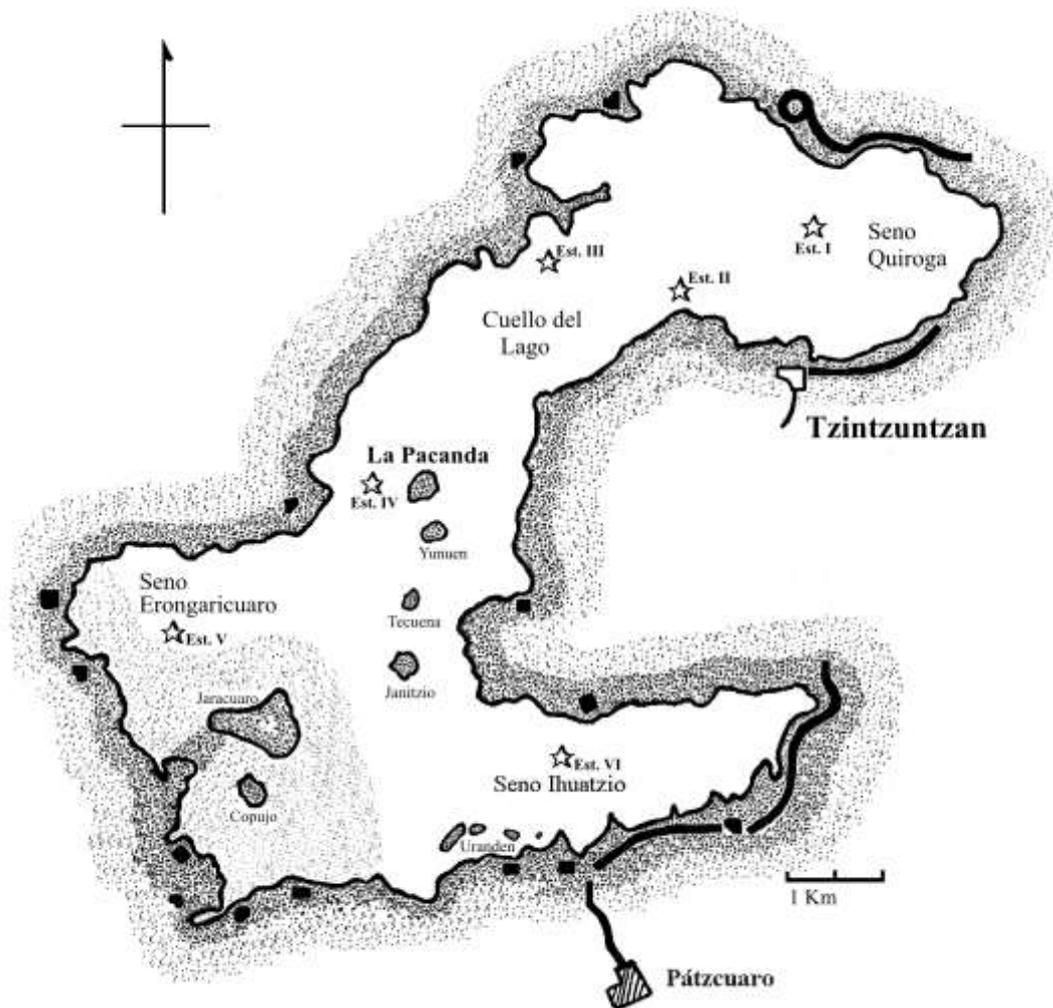


Fig. 4. Zonas de colecta en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán.

TRABAJO DE CAMPO

Para cada localidad se tomaron *in situ* los siguientes parámetros ambientales: la temperatura del agua (para evaluar la distribución en función de la temperatura), el oxígeno disuelto (con ayuda de un oxímetro), el pH (por medio de un potenciómetro). Adicionalmente se obtuvo la turbidez que se utiliza para estimar la disminución de la intensidad de luz en el agua, y se determina por medio de un disco de Secchi, el cual es un disco blanco de 20 a 25 cm de diámetro, que se va hundiendo lentamente con un cable marcado, hasta que desaparece totalmente su contorno; a la profundidad que ocurre esto se le llama “profundidad de visibilidad”, que es una medida de transparencia del agua (Haering, 1975). Estos parámetros se tomaron tanto del fondo, como a media agua y en la superficie (a medio metro de la superficie).

Los muestreos y recolectas se realizaron en dos períodos diferentes del año, uno considerado para la temporada seca de noviembre a principios de mayo y otro para la de lluvias que va de fines de mayo a octubre (Orbe y Acevedo, 1995). Para tomar los parámetros fisicoquímicos se empleó una lancha con motor fuera de borda, proporcionada por el Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de Pátzcuaro; utilizando la misma lancha para solicitar a los pescadores en las zonas de recolecta los peces capturados, muy temprano durante su jornada de trabajo. La pesca que se realiza en el Lago de Pátzcuaro es considerada tradicional, por las artes de pesca utilizada y por las características y destino de los productos capturados. Los pescadores del lago utilizan tres artes de pesca: chinchorros, redes agalleras y de mariposas que ahora emplean sólo para ser fotografiados constantemente. Las recolectas se realizaron de esta manera por la dificultad de la pesca y su escases, además que se debe pedir la autorización correspondiente, por medio de un permiso para la pesca en lago abierto.

Los especímenes recolectados fueron procesados en el Laboratorio de Acuicultura del CRIP de Pátzcuaro, donde se llevó a cabo el muestreo de tejido de los peces. Dadas sus características y tamaño, se les extirpó el hígado, ojos y músculo por uno de sus costados. Los tejidos fueron almacenados individualmente en pequeños sobres de plástico de aproximadamente 4x3cm, envueltos dentro de un trozo de papel aluminio de 10x10cm, minuciosamente etiquetados con plumón indeleble. Se conservaron en hielo seco y fueron transportados al laboratorio del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM donde se mantuvieron a -60° C en un ultracongelador tipo REVCO.

Para el análisis genético de las poblaciones de peces, se utilizó la técnica de electroforesis que permite usar tejido muy variado como hígado, músculo blanco, corazón, bazo, intestino, cerebro, aleta, branquia, ojo, testículo, ovario, células sanguíneas y suero (0.2 g) (González, 1982). Los tejidos fueron suspendidos en una solución amortiguadora específica (ver anexo I) para la extracción de proteínas (Echelle *et al.*, 1987), para posteriormente analizarlos mediante electroforesis. Después de extirpar sus tejidos, los organismos fueron conservados en bolsas de plástico con alcohol al 30 %. Los estudios fenotípicos correspondientes fueron realizados en el laboratorio de Genética de Organismos Acuáticos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

ANÁLISIS MORFOMÉTRICO Y MERÍSTICO

Para el análisis de los caracteres fenotípicos, a cada uno de los peces colectados se les tomaron, con un vernier de precisión de 1 mm, 19 medidas morfométricas y 7 merísticas (Figura 5 y Tabla 2); a su vez se observó el sexo que presentaban y se contó el número vértebras.

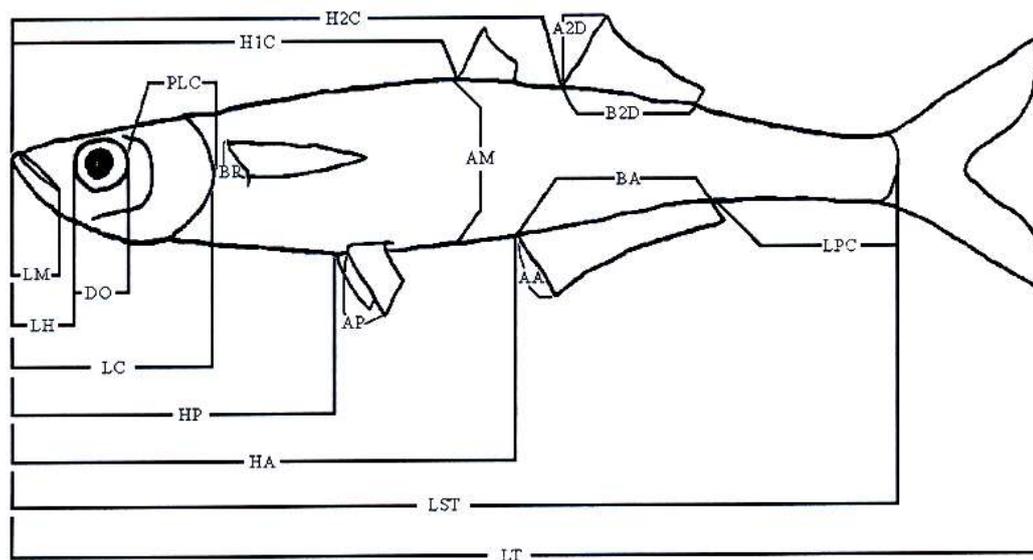


Fig. 5. Medidas morfométricas realizadas en cada organismo.

Los datos fueron procesados en una computadora personal, por medio del programa STATISTICA ver. 6.0, primero se realizó una matriz de datos de todos los organismos y se aplicó el método de Análisis de agrupamiento “Cluster analysis”, de tipo

jerárquico, el cual permite agrupar variables y que opera sobre la matriz de similaridad, construida a partir de las medidas de asociación aplicadas a los datos, dando como resultado final un árbol o dendrograma que identifica relaciones entre las entradas agrupadas. Se aplicó el método de ligamiento completo “complete linkage” donde la distancia entre grupos se define por el más distante del par de individuos comparados, esto implica que cada vez que una entidad se adiciona a un grupo la distancia de este grupo con respecto a los restantes o no cambia o crece. Cuando más crezca un grupo menor será su tendencia a incorporar nuevas entidades lo que implica que en datos poco estructurados las entidades se agruparán en pequeños conjuntos que se combinarán a su vez en uno mayor. Distancia Euclidiana es la suma de las diferencias entre los valores de los atributos de cada entidad comparada y es una extensión simple en un espacio de varias dimensiones del teorema de Pitágoras.

Tabla 2. Variables estimadas en cada individuo.

Características morfométricas	Claves	Características merísticas	Claves
Longitud total	LT	Branquiespinas	BQ
Longitud estándar	LST	Escamas predorsales	EP
Longitud cefálica	LC	Escamas de la línea lateral	EL
Altura máxima	AM	Radios anales	RA
Diámetro del ojo	DO	Radios pectorales	RP
Longitud del maxilar	LM	Radios de la segunda dorsal	R2D
Longitud del hocico	LH	Espinas de la primera dorsal	E1D
Post-orbital al largo de la cabeza	PLC		
Hocico a la primera dorsal	H1C		
Hocico a la segunda dorsal	H2C		
Hocico a la pélvica	HP		
Hocico a la anal	HA		
Base de la aleta anal	BA		
Base de la segunda dorsal	B2D		
Base de la aleta pectoral	BP		
Altura de la aleta anal	AA		
Altura de la segunda dorsal	A2D		
Altura de la aleta pélvica	AP		
Largo del pedúnculo caudal	LPC		

Gracias al análisis Cluster se obtuvieron grupos de organismos, entonces se procedió a la identificación de estos grupos hasta especie, con ayuda de claves taxonómicas (Alvarez del Villar, 1970). En el caso de *Chirostoma estor* se adoptó la decisión de tomar en cuenta una longitud total (LT) hasta de 120 mm para considerarlos como jóvenes y más de 140mm la LT para los adultos, ya que el grupo estimado como *C. estor* joven presentó una LT máxima de 118mm y así mismo *C. estor* adulto una LT

mínima de 141mm, esta decisión se tomó ya que García de León, 1985 consideró que los adultos de *Chirostoma estor* tenían más de 150mm. Esta especie es muy fácil confundirla cuando es juvenil y de tallas pequeñas con *C. grandocule*, lo cual ya no sucede cuando aumenta de talla, por lo que según Estrada (1991), para los adultos la talla ayuda de manera importante para la separación de estas especies.

Después se trabajó con las especies por separado (grupos), para analizar las características morfométricas y merísticas que son más importantes para definir cada especie, por lo que se empleó el análisis factorial, el cual es una técnica estadística multivariante cuya finalidad es analizar las relaciones de interdependencia existentes entre un conjunto de variables, calculando un conjunto de variables latentes, denominadas Factores, que explican con un número menor de dimensiones, dichas relaciones. Por esta razón el análisis factorial es una técnica de reducción de datos que permite expresar la información contenida en un conjunto de datos con un número menor de variables sin distorsionar dicha información, lo cual aumenta el grado de manejabilidad e inteligibilidad de la misma.

La extracción se realizó, factorizando por ejes principales, el cual es un método interactivo, es decir, que se ejecuta repetitivamente hasta alcanzar la solución idónea. Se comienza estimando la comunalidad inicial de cada variable mediante el coeficiente de correlación múltiple entre esa variable y todas las demás. Esas comunalidades estimadas sustituyen a los valores originales de la diagonal de la matriz de correlaciones, dando lugar a la matriz de correlaciones reducida (denominada así porque los nuevos valores son normalmente menores que los originales de la matriz de correlaciones).

La solución factorial sin rotar, muestra las saturaciones factoriales sin rotar (la matriz de componentes o factorial), las comunalidades y los autovalores de la solución factorial. La rotación de la solución se realiza para facilitar su interpretación. Por lo tanto, se realizó la rotación por variación máxima o VARIMAX, el cual, es un método de rotación ortogonal que minimiza el número de variables que tienen saturaciones altas en cada factor, simplifica la interpretación de los factores optimizando la solución por columna y nos ayuda a detectar las variables más importantes para cada grupo, por lo tanto, las características morfométricas o merísticas más importantes.

Igualmente con ayuda de Estadística descriptiva, se realizaron los diagramas de caja (con su media, su desviación estándar y error estándar) de las 19 medidas

morfométricas y 7 merísticos para cada grupo, asimismo, se realizó una tabla por grupo con la media, el valor mínimo, valor máximo y la desviación estándar. Además se realizaron histogramas para comparar la abundancia por sexos (tomando en cuenta machos, hembras y hembras ovígeras) para cada grupo, entre la temporada de secas y la de lluvias.

Asimismo, se realizó una gráfica de pastel para ver la abundancia, con el porcentaje de individuos que se encontraron por cada especie en el Lago de Pátzcuaro. A su vez, se realizó una gráfica de pastel para cada grupo, para conocer su localización con el porcentaje de la especie encontrado en cada sitio de recolecta.

Las medidas fueron expresadas en porcentaje, con respecto a la longitud cefálica (en milímetros) para las variables de la región de la cabeza, y la longitud estándar (en milímetros) para las variables de la región del cuerpo, esto con el propósito de reducir los cambios de dimensión relativa de las partes corporales correlacionados con los cambios en el tamaño total (Moyle P. B. and J. J. Cech, 2004).

ANÁLISIS GENÉTICO

La electroforesis se realizó por medio de una cámara horizontal en geles de almidón. Esta es una técnica que se utiliza para separar mezclas de proteínas aplicándoles una corriente eléctrica que causa la migración a diferentes distancias de las enzimas por sus diferentes pesos moleculares, que están presentes en soluciones mantenidas sobre una matriz porosa sólida como el almidón (Lehninger, 1982).

El gel de almidón es más un gel que un líquido viscoso, porque las cadenas de los carbohidratos se ramifican y entrelazan entre sí lo suficiente para formar un sólido semirígido de tipo gel (Gordon, 1975). Se seleccionó a los geles de almidón porque existe un gran número de trabajos sobre la separación en gel de almidón y por la gran facilidad con que se puede rebanar en capas delgadas, lo que permite que para una misma muestra y corrida de gel, se puedan teñir y visualizar varias enzimas simultáneamente. Otras razones para escoger este sistema son la simplicidad del método y el carácter totalmente inocuo del almidón de papa en comparación con la toxicidad del monómero de la acrilamida, así como, por el costo relativamente bajo del almidón y de las soluciones amortiguadoras de corrida y de tinción que son requeridas para ésta técnica.

PREPARACIÓN Y EXTRACCIÓN DE PROTEÍNAS. Después de transportar las muestras al laboratorio, las células de los tejidos son maceradas por medio de un homogeneizador de vidrio con un buffer de Tris 0.01M y EDTA 0.001M pH 6.8 (ver anexo I), para la liberación de las proteínas contenidas en la muestra, según el tamaño de la misma, se agregaron 2/3 partes de la solución. Las proteínas suelen tener una carga neta positiva o negativa a causa de los restos de aminoácidos de su superficie que tienen una carga correspondiente. Si se aplica un campo eléctrico a una solución que contiene una molécula proteica ésta migrará a una velocidad que depende de su carga neta, de su tamaño y de su forma. La carga neta de cada proteína varía con el pH; con pH bajo los grupos amino están cargados positivamente, y con pH alto los grupos carboxilo son cargados negativamente. Por lo tanto, las movilidades están determinadas por el gradiente de voltaje en el gel, las cargas netas de las moléculas que se están sujetando a electroforesis, el pH y la concentración de la solución amortiguadora en el gel; el pH del amortiguador es el más importante por su papel en la determinación de las cargas que se acarrean y, por lo tanto, en las movilidades de las sustancias que se están separando (Albert, 1994; Lehninger, 1982).

PREPARACIÓN DE GELES. Se mezcla el almidón en una solución amortiguadora previamente preparada con un pH específico (ver anexo II), se recomienda probar en concentraciones de almidón de 9.2%, 12% y 12.5% (Hillis and Moritz, 1990), asimismo se sugiere que los geles sean empleados no más de 12 horas después de haber sido preparados. Después de esto, y de la liberación de las proteínas contenidas en las muestras, macerando los tejidos con el buffer de extracción, como se vio en el punto anterior, las muestras de proteína son embebidas en pedazos de papel filtro Whatman no. 3, de aproximadamente 4 x 12mm, y se colocan en forma vertical en el gel por medio de un corte en el extremo catódico, con una separación entre las muestras de 5mm aproximadamente. El contacto del buffer del electrodo (ver anexo II) con el gel se lleva a cabo colocando un par de toallas que van a cada extremo del gel. Se recomienda que durante el corrimiento se conserve la temperatura a 4° C con ayuda de un refrigerador (Selander, *et al.* 1986).

En este estudio se manejaron dos sistemas de buffers de corrida de tipo continuo. El Sistema I: 0.155M de tris y 0.043 M de ácido cítrico a pH= 7.0 (Shaw y Prasad, 1970) y buffer del gel Tris-citratos pH= 7.0, en donde se revelaron 3 enzimas; y el Sistema A: Tris- Citrato a pH=8.0 (Selander, *et al.*, 1986), con el buffer del gel tris-citratos pH= 8.0,

para seis enzimas (Tabla 18). En total se revelan nueve enzimas, ocho para cada tipo de tejido como sigue: para ojo MDH-1, IDH, MDH-2, LDH, EST, PGM, PGI, GOT; para músculo MDH-1, IDH, α -GPD, MDH-2, LDH, EST, PGM, PGI; y para hígado MDH-1, IDH, MDH-2, LDH, EST, PGM, PGI, GOT.

TRATAMIENTO DE LOS GELES DESPUÉS DE LA ELECTROFORESIS. Una vez que terminaron de correr las proteínas, los geles fueron rebanados horizontalmente con un alambre en tensión y se procedió a la tinción. Para la tinción (ver anexo III), a cada enzima sometida a migración se le prepara una solución de tinción específica en la que se sumergen los geles. Las soluciones constan de un substrato específico, un cofactor y una sustancia química que al reducirse, como consecuencia de la reacción enzimática, se colorea (Shaw and Prasad, 1970; Selander, *et al.*, 1986). Al término de la tinción se lavan los geles con agua para detener el proceso y se fijan los geles con alcohol al 50%. Después, se realizó la lectura e interpretación de los geles, analizando los patrones de bandeo formados por la movilidad electroforética; la designación de los loci y alelos en todos los geles para todas las enzimas, se hizo con base en la movilidad relativa de las proteínas, por lo que de la lectura de los zimogramas se determinó el número de alelos para cada locus y estos fueron designados alfabéticamente de acuerdo a la migración del alelo más común en los loci polimórficos. De esta forma se determinaron los genotipos para cada individuo y loci (Dillon, 1991; Richardson, 1986).

ANÁLISIS DE DATOS. Los índices de variación genética dentro y entre las especies estudiadas, fueron estimados con las frecuencias alélicas obtenidas a partir de los genotipos individuales analizados con el programa BIOSYS-1 versión 1.7 (Swofford and Selander, 1981). Posteriormente, se procedió al análisis de datos electroforéticos corroborando el ajuste de las frecuencias genotípicas al modelo biológico clásico de Hardy-Weinberg, el cual está basado en los siguientes supuestos; la población es infinita con apareamientos al azar, por un locus en el cual no hay efectos de fuerzas evolutivas como mutación, migración o selección, permitiendo la manifestación estadística de un gen; por lo tanto, si se expresa este equilibrio nada cambia y las frecuencias de los genes permanecen iguales, si el equilibrio no se expresa entonces cambiarían las frecuencias alélicas (Hillis, and Moritz, 1990).

La variabilidad genética se estimó mediante los parámetros usados normalmente en este tipo de estudios: polimorfismo (P), número medio de alelos por locus (A),

heterocigosis media por locus (H), así como la heterocigosis media observada (H_o) y heterocigosis media esperada (H_e) bajo el modelo de Hardy-Weinberg. El número y abundancia relativa de los alelos en una población es una medida de su variación genética, a menudo llamada “heterocigocidad”.

El porcentaje de loci polimórficos, (P) se estimó como: $P = \frac{\text{N}^\circ \text{ de loci polimórficos}}{\text{N}^\circ \text{ total de loci analizados}}$. Para evitar la esperada corrección positiva entre P y el tamaño de la muestra, generalmente, se considera que un locus es polimórfico sólo si la frecuencia del alelo más común es inferior a un valor arbitrario, que típicamente es 0.95 o 0.99. Por lo que un locus fue considerado polimórfico si la frecuencia del alelo más común no excedió el 0.95 y 0.99. Entre más alto, es mayor la variación genética hasta llegar a 1, donde todos los genes analizados son polimórficos, es decir, todos los genes tienen dos o más formas alternativas de un gen (Hedrick, 1983).

Las frecuencias alélicas son las proporciones de los diferentes alelos en cada locus, presentes en la población. Para un locus con dos alelos, sean n_1, n_2, n_3 las frecuencias absolutas de los tres genotipos (los dos genotipos homocigos y el heterocigo) y N el tamaño de la muestra, entonces $n_1+n_2+n_3=N$ $p = \frac{2n_1+n_2}{2n}$
 $q = \frac{n_2+2n_3}{2N}$

El número medio de alelos por locus o riqueza alélica, (A) que es el número de alelos promedio para cada locus, (incluye tanto loci monomórficos como polimórficos). Fue estimada con: $A = \frac{\text{Número de alelos en el total de loci analizados}}{\text{número de loci analizados}}$.

Se determinó heterocigosis promedio (H) de los individuos por locus, por medio de contabilización directa y según lo esperado bajo el equilibrio de Hardy-Weinberg de acuerdo a la fórmula de Nei (1978), incorporando la corrección de Levene (1949) para pequeñas muestras. Esta se define como el porcentaje promedio de loci heterocigóticos por individuo (o de manera equivalente, el porcentaje medio de individuos heterocigóticos por locus). La heterocigosis media por locus (H)= $\frac{\text{Total de heterocigos}}{\text{No. total de individuos}}$.

La heterocigocidad media observada (H_o) se estima como: $H_o = \frac{\text{No. de genotipos heterocigóticos}}{\text{No. total de genotipos analizados}}$.

La proporción esperada de individuos heterocigos por loci en una población con cruzamientos al azar, (H_e) se calculó: $H_e = 1 - \sum q_i^2 = 1 - (q_a^2 + q_b^2 + q_c^2 + q_d^2 + \dots + q_k^2)$, donde q_i es la frecuencia del alelo i .

De las muestras que se analizaron para el estudio de la variación genética se obtuvieron las frecuencias alélicas y a partir de éstas se realizaron todos los análisis de la estructura genética, utilizando los siguientes índices y estimadores:

Índice de fijación (F) refleja desviaciones del equilibrio de Hardy-Weinberg. Si este índice tiene un valor cercano a cero, consideramos que la población se encuentra próximo al equilibrio de Hardy-Weinberg, dado que la heterocigosis observada es igual que la heterocigosis esperada y puede tomar valores entre -1 a $+1$, alcanzando un valor de -1 si existen exclusivamente individuos heterocigos (usualmente debido a selección a favor de los heterocigos), hasta $+1$ si todos los individuos son homocigos (usualmente debido a apareamiento entre parientes, o sea endogamia) y se calculó con la siguiente fórmula:

$$F = (H_e - H_o) / H_e$$

Donde; H_e = heterocigosis esperada en Hardy-Weinberg, H_o = heterocigosis observada.

A su vez, se calcularon los Estadísticos F de Wright (F_{ST} , F_{IS} , F_{IT}) que son descriptores de la estructura genética poblacional a tres niveles jerárquicos, individuos, subpoblaciones y la población total.

El valor de F_{ST} o índice de fijación mide la diferenciación genética entre dos poblaciones y si se considera que no existe subdivisión dentro de la población total. Si el valor de F_{ST} difiere significativamente de 0 es indicativo de un decremento en el flujo génico y si el valor se aproxima a 1 sería indicativo de una interrupción total del flujo, se calcula según la siguiente fórmula:

$$F_{ST} = H_T - H_S / H_T \quad 0 < F_{ST} < 1 \quad \text{Mide la subdivisión geográfica}$$

Donde; H_T = Heterocigosis promedio esperada sobre todos los loci a nivel de toda la población, H_S = Heterocigosis promedio esperada sobre todos los loci a nivel de subpoblación (Hedrick, 1983).

También se estimó el coeficiente de endogamia (F_{IS}) que calcula la probabilidad de que dos gametos formadores de un cigoto lleven, debido a su parentesco, copias

idénticas de un gen. Cuando F_{IS} es positivo indica un déficit de heterocigotos así como valores negativos un exceso, y viene determinado por la siguiente relación:

$$F_{IS} = H_S - H_O / H_S \quad -1 < F_{IS} < 1 \quad \text{Mide la subdivisión intrapoblacional}$$

Donde; H_O = Heterocigosis promedio observada sobre todos los loci, a nivel subpoblación, H_S = Heterocigosis promedio esperada sobre todos los loci a nivel subpoblación (Hedrick, 1983).

El último de los parámetros medidos, el coeficiente de endogamia global (F_{IT}), mide el incremento o la reducción de la heterocigosis en los individuos, en relación con la población total.

$$F_{IT} = H_T - H_O / H_T \quad -1 < F_{IT} < 1 \quad \text{Mide la endogamia total}$$

Donde; H_T = Heterocigosis promedio esperada sobre todos los loci a nivel de toda la población, H_O = Heterocigosis promedio observada sobre todos los loci, a nivel subpoblación (Hedrick, 1983).

Estos tres tipos de Coeficientes de endogamia de Sewall Wright (1921) guardan la siguiente relación: $(1 - F_{IT}) = (1 - F_{ST}) (1 - F_{IS})$ (Nei, 1973).

Los estadísticos F de Wright pueden sugerir los posibles procesos evolutivos que están causando la diferenciación genética de las poblaciones.

Para saber la probabilidad de que F, F_{IS} , F_{IT} de cada loci, son significativamente diferentes de 0, se realizó una prueba de chi-cuadrada $\chi^2 = F^2 N (K-1)$, para $K (K-1)/2$ grados de libertad, donde N es el tamaño de la muestra y K es el número de alelos (Li y Horvitz, 1953; Workman y Niswander, 1970).

Flujo génico (Nm)

El flujo génico es el movimiento de individuos o gametos entre las poblaciones, provocando así la mezcla de sus genes. Entonces Nm es el número de migrantes, y determina hasta que punto cada población local de una especie es una unidad evolutiva independiente. Si existe una gran cantidad de flujo génico entre poblaciones locales, entonces, todas las poblaciones evolucionan juntas; pero si hay poco flujo génico cada población evoluciona en forma casi independiente (Slatkin, M., 1994). El flujo génico fue estimado usando la fórmula de Wright:

$$Nm = (1 - F_{ST}) / 4 F_{ST}$$

Este concepto se utiliza para cuantificar la magnitud del movimiento que existe entre diferentes grupos como resultado de un intercambio genético; sin embargo, esto resulta muy difícil de obtener en poblaciones naturales, por lo que se emplean medidas de estructuración genética como el coeficiente F_{ST} , para calcular el número de migrantes entre poblaciones.

Distancias e Identidades Genéticas de Nei.

Se obtuvo una matriz de distancia e identidad genética, la identidad genética I de Nei se obtiene de la forma siguiente (Hedrick, 1983; Nei, 1987):

$$I = J_{xy} / (J_x J_y)^{1/2}$$

Donde $J_{xy} = \sum p_i \times p_i$ y la definimos como la probabilidad de que los dos alelos sean idénticos cuando elegimos (al azar) un alelo de la población X y el otro alelo de la población Y (Hartl y Clark, 1989).

$J_x = \sum p_i^2$ es la probabilidad de que dos alelos elegidos al azar de la población X sean idénticos (es la homocigosidad en la población X).

$J_y = \sum p_i^2$ es la probabilidad de que dos alelos elegidos al azar de la población Y sean idénticos (Hartl y Clark, 1989).

La distancia genética por su parte, se define como la diferencia entre dos entidades, descrita por su variación genética (Nei, 1973). La distancia genética normalizada D de Nei, se calcula como (Hedrick, 1983; Nei, 1987):

$$D = -\ln(I)$$

Las identidades y distancias genéticas se obtienen para pares de poblaciones. Si las dos poblaciones son idénticas, entonces, $J_{xy} = J_x = J_y$ y la identidad normalizada toma valores de 1, si tienen frecuencias alélicas idénticas y valores de 0 si las dos poblaciones no comparten alelos. Para la distancia genética de Nei (D) tienen valores de 0, cuando las frecuencias alélicas de las poblaciones son idénticas y de infinito cuando las poblaciones no comparten alelos (Hedrick, 1983).

Análisis Cluster

Para evaluar la relación entre el grado de diferenciación poblacional con respecto al grado de proximidad de las muestras estudiadas, se construyó el dendrograma con las distancias calculadas anteriormente, los cálculos se realizaron empleando el programa BIOSYS-1 versión 1.7 (Swofford and Selander, 1981).

RESULTADOS

MARCO AMBIENTAL.

TEMPERATURA

Se registraron variaciones ligeras en la temperatura en los dos periodos muestreados (en las dos diferentes épocas del año). En la temporada de secas se presentaron temperaturas superficiales que van de 18.3 a 18.7°C en las estaciones I a la IV, en la parte norte y centro del lago (Fig. 4), para las estaciones V y VI al sur del lago fueron de 20.0 a 20.3°C. A media agua se presentaron muy leves diferencias con respecto a las superficiales (menores a 1°C) con temperaturas que van de 18.0 a 18.9°C en las estaciones I a la IV (en la parte norte y centro del lago), en la parte sur no se pudo tomar la temperatura a media agua por ser la menos profunda; en el fondo se encontraron temperaturas de 17.9 a 19.5°C en las estaciones I a la IV y de 19.5 a 22.4°C en las estaciones V y VI. Para la temporada de lluvias, la temperatura aumentó un poco con respecto a la registrada en la época de secas. Las temperaturas cálidas de verano en la superficie fueron de 20.6 a 21.5°C en todas las estaciones, a media agua de 20.0 a 21.0°C en todas las estaciones y no se encontraron diferencias entre media agua y fondo.

En la época de secas se observan ligeras diferencias entre las temperaturas superficiales y del fondo para las estaciones I a la IV, localizadas al norte y centro del lago, en comparación con las estaciones V y VI localizadas en el sur del mismo, esto se debe posiblemente, al calentamiento superficial dada la escasa profundidad de estas zonas que van de 2.0-3.0 metros (Fig. 3). Para la época de lluvias estas diferencias estacionales y en profundidad disminuyen al presentarse el verano con temperaturas mayores.

TURBIDEZ

En la época de secas se observó una turbidez promedio de 50 cm en todas las estaciones, sin embargo, en la época de lluvias esta fue de 50 cm como mínimo a 60 cm como máximo para las estaciones I, II, III y IV localizadas al norte y centro del lago, posiblemente debido al aporte de agua proveniente de las lluvias con agua más clara, siendo mayor la turbidez en la parte sur del lago, en las estaciones V y VI, con 30 cm y 40 cm de turbidez, posiblemente debido a que en esta zona hay muy poca profundidad,

con mayor presencia de vegetación acuática y ambientes pantanosos en las orillas del lago.

OXÍGENO DISUELTO

Con respecto al oxígeno disuelto, durante la temporada de secas se encontró en la parte norte y centro del lago (estaciones I-IV) valores que van de 5,4-5.8 mg/l en la superficie, de 5.3-5.5 mg/l a media agua y 4.6-4.8 mg/l en el fondo del lago, en la estación I (seno de Quiroga) se presentó el menor valor 4.6 mg/l posiblemente por ser la zona más profunda del lago; en la parte del cuello de lago, en la estación IV, cerca de la isla La Pacanda con 5.8 mg/l de oxígeno disuelto en la superficie, 5.5 mg/l a media agua y 4.7 mg/l en el fondo. Sin embargo, al sur del lago en las estaciones V (seno Erongarícuaro) los valores de oxígeno disuelto se vió disminuido a 4.2 mg/l en la superficie y 3.4 mg/l en el fondo y la estación VI (seno Ihuatzio) de 6.4 mg/l en la superficie y 5.7 mg/l en el fondo.

Para la temporada de lluvias se encontró en la parte norte y centro del lago (estaciones I-IV) valores que van de 5.9-6.0 mg/l en la superficie, 5.4- 5.6 mg/l a media agua y en el fondo de 4.7-4.6 mg/l, así mismo, en la estación V (seno Erongarícuaro) 4.3 mg/l en la superficie y 3.5 mg/l en el fondo y en la estación VI (seno Ihuatzio) 6.0 mg/l en la superficie y 5.3 mg/l en el fondo.

pH

En general el pH registrado varió ligeramente disminuyendo en dirección norte-sur en las estaciones de muestreo del lago. De la época de secas a la de lluvias sólo la estación I al norte del lago permaneció casi sin cambios, el pH fue de 8.3 en superficie, 8.2 a media agua y 8.4 en el fondo en la época de secas, y 8.2 en superficie, 8.3 a media agua y 8.8 en el fondo en la época de lluvias, esto posiblemente porque la estación esta localizada en el centro del seno de Quiroga lejos de la periferia del lago y en la zona de mayor profundidad.

En el resto de las estaciones (II a la VI) se ve un ligero descenso en el pH de norte a sur del lago y además se marca una disminución del pH de la época de secas a la de lluvias. En la época de secas la estación II presentó pH superficial del agua de 8.0 y de 7.8 a media agua y 7.9 en el fondo; la estación III un pH superficial de 8.0, a media agua

de 7.9, y en el fondo de 8.0; la estación IV un pH de 7.9 en la superficie, 7.8 a media agua y 7.9 en el fondo; la estación V con un pH superficial de 7.9 y de fondo de 7.8 y la estación VI un pH superficial de 8.0 y de fondo 7.9. Para la época de lluvias la estación II bajo a un pH superficial del agua de 7.7, 7.6 a media agua y en el fondo; para la estación III un pH superficial de 7.5, 7.6 a media agua y fondo; en la estación IV de 7.5 en la superficie, a media agua y en el fondo; la estación V con un pH de 7.6 en la superficie y fondo y la estación VI de 7.6 en la superficie y fondo.

ANÁLISIS MORFOMÉTRICO Y MERÍSTICO

Se analizaron 232 organismos por medio del método llamado Análisis Cluster, con el cual se pudieron apreciar 5 grupos principales (Fig. 6). Para cada grupo se obtuvieron los valores medios de cada una de sus características, y se les aplicó el método de Análisis de Factores, con el objeto de saber cuales de estas características son las más importantes para cada grupo y separarlos como tales. Con ayuda de las claves taxonómicas se encontró que el grupo 1 corresponde a *Chirostoma grandocule*, el grupo 2 a *Chirostoma sp.* (híbridos entre *C. grandocule* x *C. estor*), el grupo 3 a *Chirostoma estor* juveniles mientras que el grupo 4 al de adultos y el grupo 5 a *Chirostoma attenuatum*, cabe mencionar que en el presente trabajo no se encontraron ejemplares de *Chirostoma patzcuaro*. En un estudio basado en la comparación del aparato mandibular, realizado por Soria-Barreto y Paulo-Maya en el 2005, mencionan que las medidas óseas son semejantes entre los individuos de una misma especie y que la separación interespecífica se puede relacionar con una divergencia en el tipo de alimento que utilizan, basados en esto, ellos encontraron la presencia de cuatro grupos mayores, relacionando primero a *C. grandocule* y *C. patzcuaro*, como tercer grupo que se le une a los anteriores *C. estor* y por último *C. attenuatum*.

Ligamiento Completo; Distancia Euclidiana

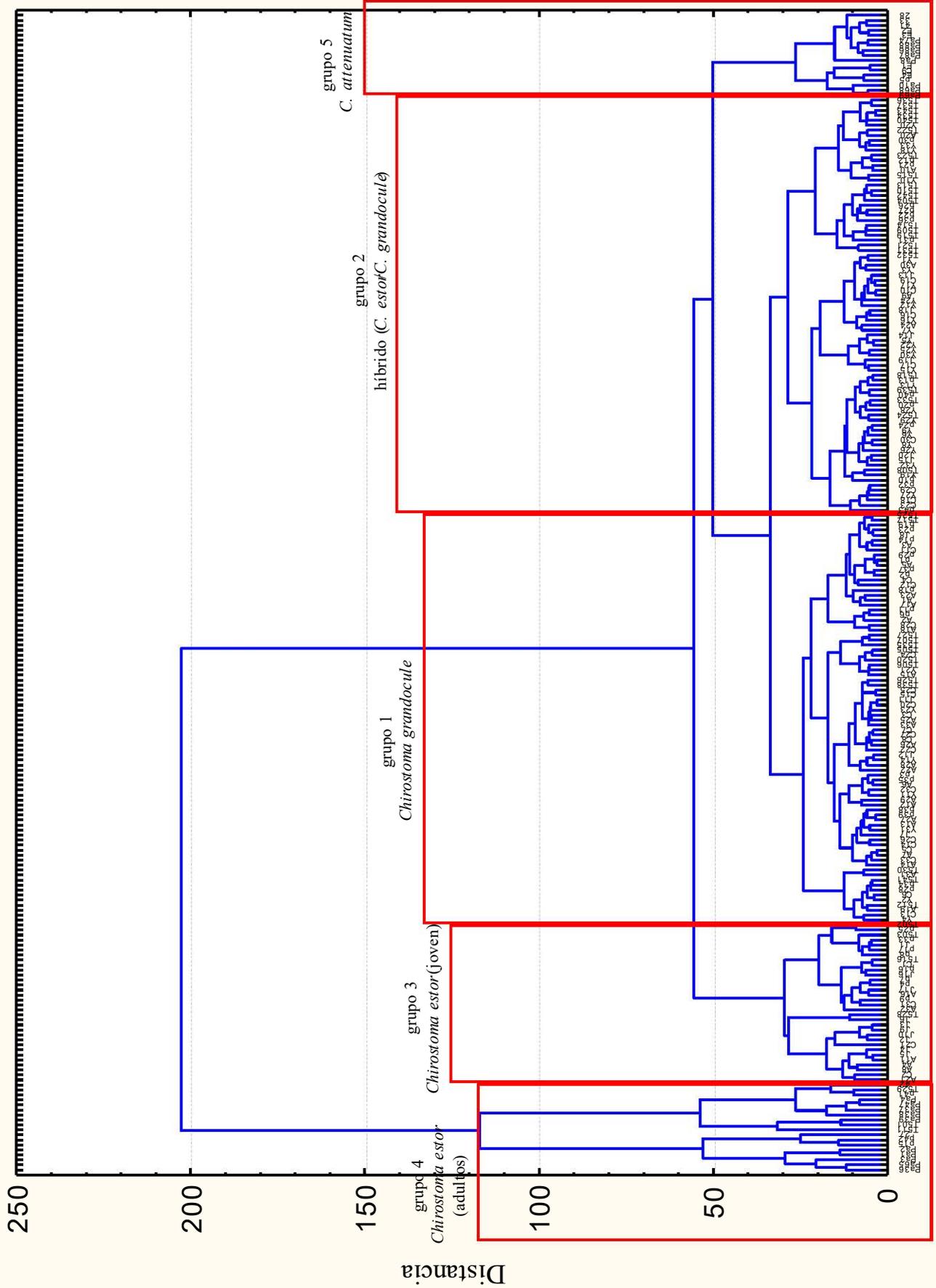


Fig. 6. Análisis cluster para todos los organismos.

Grupo 1 *Chirostoma grandocule* Steindachner, 1894.

Estos peces presentan escamas predorsales de tamaño medio, con una reducción hacia la región de la cabeza, en donde se presentan numerosas escamas pequeñas con un arreglo un tanto irregular. El hocico es agudo presentando la mandíbula inferior marcadamente angosta. Cuerpo generalmente con forma alargada y esbelta.

Es difícil distinguir a esta especie en el campo, ya que se puede confundir fácilmente con *C. estor* y *C. patzcuaro*.

Los individuos reproductivos de *C. grandocule* se presentan en los mismos sitios que *C. estor*, coincidiendo la declinación del periodo reproductivo (Estrada, 1991).

Para el conjunto de individuos que conforman el grupo de *C. grandocule* se muestran sus características morfométricas y merísticas promedio en la Figura 7 y la Tabla 3, con un mínimo de longitud total (LT) de 81 mm y un máximo de 102 mm, así como un mínimo de longitud estándar (LST) de 69 mm y un máximo de 86 mm.

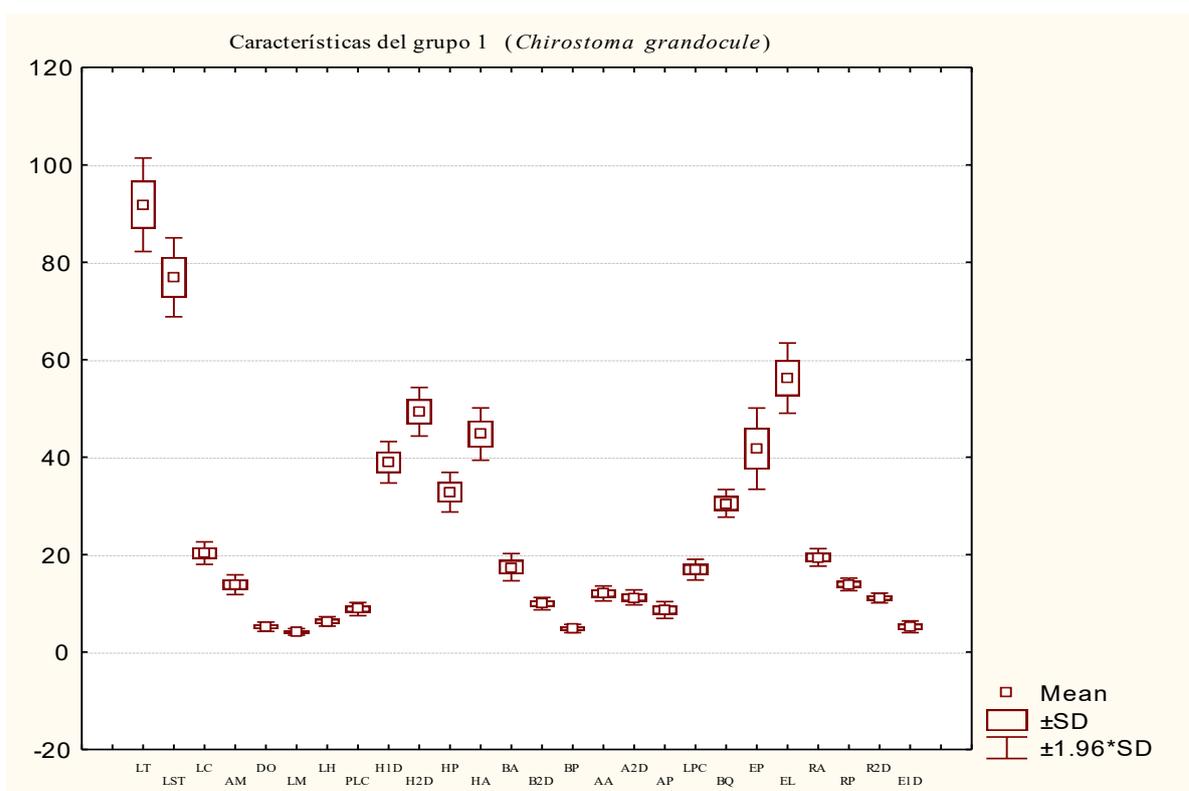


Fig. 7. Diagramas de caja para cada característica del grupo 1 *Chirostoma grandocule*.

Tabla 3. Características morfométricas y merísticas del grupo 1, *Chirostoma grandocule*.

Variables	Estadística Descriptiva (grupo1)			
	Media	Mínimo	Máximo	Desv.Std.
LT	91.82	81.00	102.00	4.90
LST	76.91	69.00	86.00	4.14
LC	20.30	18.00	23.00	1.17
AM	13.83	12.00	16.00	1.03
DO	5.21	4.00	6.00	0.49
LM	4.13	4.00	5.00	0.34
LH	6.30	5.00	7.00	0.49
PLC	8.83	8.00	10.00	0.68
H1D	38.95	35.00	44.00	2.17
H2D	49.32	45.00	55.00	2.55
HP	32.82	29.00	37.00	2.07
HA	44.73	40.00	51.00	2.74
BA	17.40	11.00	21.00	1.42
B2D	9.95	9.00	11.00	0.65
BP	4.84	4.00	6.00	0.43
AA	12.02	10.00	15.00	0.78
A2D	11.22	9.00	13.00	0.79
AP	8.63	7.00	11.00	0.88
LPC	16.93	14.00	19.00	1.09
BQ	30.52	27.00	34.00	1.45
EP	41.74	31.00	51.00	4.25
EL	56.23	47.00	64.00	3.67
RA	19.44	18.00	23.00	0.92
RP	13.90	12.00	15.00	0.66
R2D	11.10	10.00	12.00	0.51
E1D	5.19	3.00	6.00	0.62

Para el análisis de factores (factorizando por ejes principales) en las Tablas 4 y 5 así como, las Figuras 8 y 9, se observa que las características más importantes para este grupo son, además de la longitud total (LT: \bar{x} = 91.82mm) y estándar (LST: \bar{x} = 67.49mm), las siguientes:

*Del Hocico a la segunda aleta dorsal (H2D: \bar{x} = 49.32mm)

*Longitud cefálica (LC: \bar{x} = 20.30mm)

*Del Hocico a la primera aleta dorsal (H1D: \bar{x} = 38.95mm)

*Del hocico a la aleta anal (HA: \bar{x} = 44.73mm)

*Del hocico a la aleta pélvica (HP: \bar{x} = 32.82mm) y con una menor importancia por no ser considerada después de la rotación (VARIMAX) es el post-orbital al largo de la cabeza (PLC: \bar{x} = 8.83mm).

Se observó la presencia de 42-45 vértebras, con una moda de 44 vértebras (Tabla 18).

Tabla 4. Análisis de factores (Sin rotar) grupo 1
Extracción: Factorizando por ejes principales;
(Peso marcado >.700000)

Variable	Factor 1	Factor 2
LT	-0.950967*	-0.131597
LST	-0.950476*	-0.164994
LC	-0.905400*	0.210704
AM	-0.531191	-0.126011
DO	-0.561104	0.478456
LM	-0.287085	0.083086
LH	-0.529308	-0.301756
PLC	-0.711582*	0.077597
H1D	-0.901739*	-0.118553
H2D	-0.939343*	-0.133721
HP	-0.824127*	-0.204898
HA	-0.865687*	-0.143891
BA	-0.629493	-0.101342
B2D	-0.635960	-0.031423
BP	-0.399170	0.017451
AA	-0.661723	0.299868
A2D	-0.695016	0.148071
AP	-0.550711	0.370977
LPC	-0.668666	-0.079133
BQ	0.218934	-0.444839
EP	-0.058855	-0.332504
EL	-0.156245	-0.230492
RA	0.101641	-0.192566
RP	0.134455	-0.423224
R2D	0.047340	-0.147580
E1D	-0.153407	-0.032119
Exp.. Var	9.978877	1.400215
% Total	0.383803	0.053854

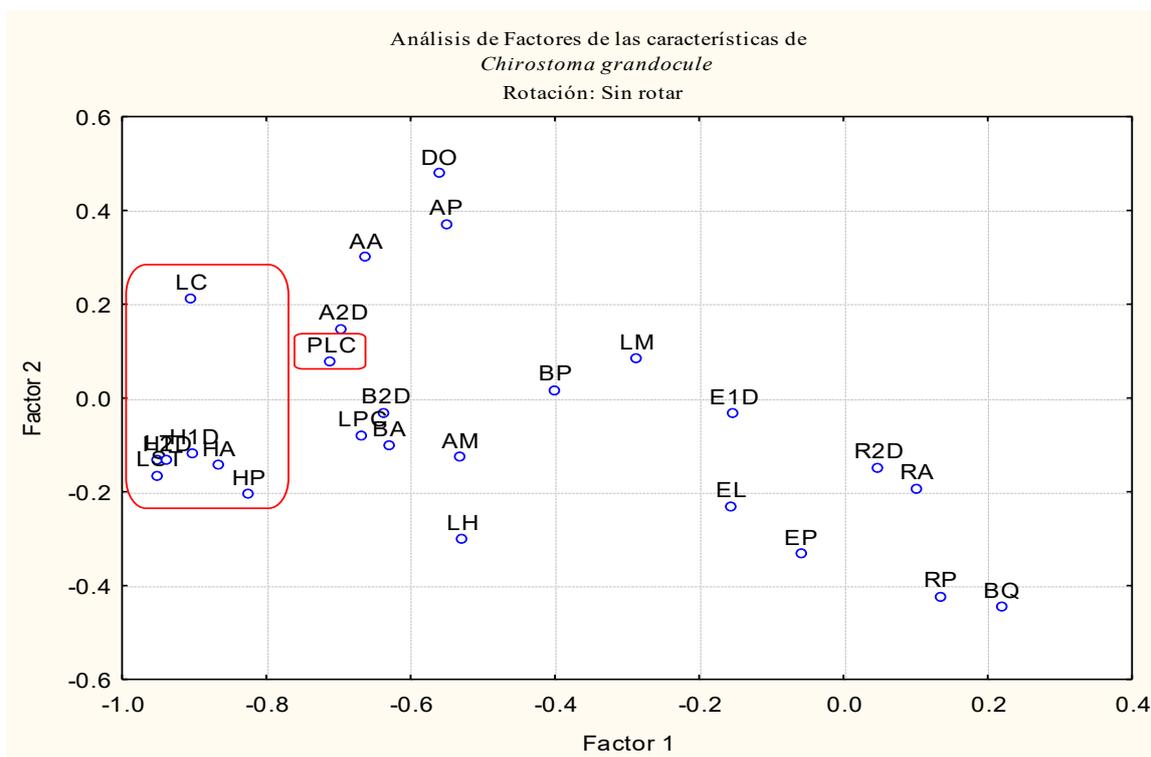


Fig. 8. Relación entre las variables del grupo 1, sin rotar

Tabla 5. Análisis de factores (VARIMAX) grupo 1;
Extracción: Factorizando por ejes principales;
(Peso marcado >.700000)

Variable	Factor 1	Factor 2
LT	0.957607*	0.068140
LST	0.964042*	0.035364
LC	0.842159*	0.393590
AM	0.545771	-0.013305
DO	0.449888	0.584259
LM	0.2636663	0.140723
LH	0.580314	-0.185631
PLC	0.680098	0.223240
H1D	0.906746*	0.070709
H2D	0.946675*	0.063656
HP	0.848692*	-0.029834
HA	0.876721*	0.038457
BA	0.636836	0.031183
B2D	0.628686	0.100925
BP	0.386908	0.099716
AA	0.585302	0.430372
A2D	0.649301	0.288757
AP	0.461972	0.476957
LPC	0.670561	0.061020
BQ	-0.122092	-0.480528
EP	0.1264420	-0.313115
EL	0.200580	-0.193149
RA	-0.059570	-0.209437
RP	-0.043919	-0.441892
R2D	-0.015759	-0.154183
E1D	0.156733	0.000338
Exp.. Var	9.611158	1.767935
% Total	0.369660	0.067997

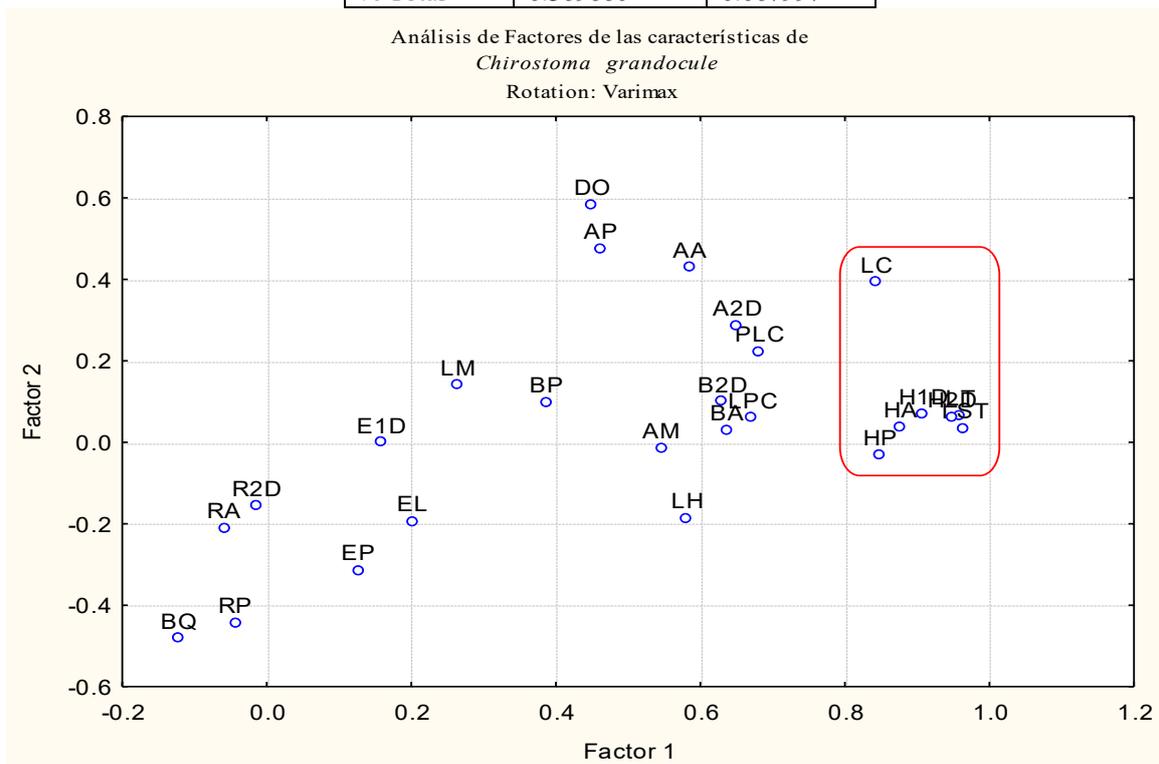


Fig. 9. Relación entre las variables del grupo 1, con rotación (VARIMAX).

Para las medidas expresadas en porcentaje se encontró para la región de la cabeza que este grupo presenta un diámetro del ojo (DO) de 25.66% de la longitud cefálica, la longitud del maxilar (LM) del 20.34%, la longitud del hocico (LH) del 31.03% y el post-orbital largo de la cabeza (PLC) del 43.50% (ver Tabla 19).

Con una amplitud máxima (AM) del 17.98% la longitud estándar y una longitud cefálica (LC) del 26.39% la longitud estándar. En cuanto a la localización de las aletas, la longitud de la base y su altura; del hocico a la primera aleta dorsal (H1D) el 50.64% de la longitud estándar, del hocico a la segunda aleta dorsal (H2D) del 64.13%, del hocico a la aleta pélvica (HP) del 42.67% y del hocico a la aleta anal (HA) del 58.16%. La base de la aleta anal (BA) del 22.62%, la base de la segunda aleta dorsal (B2D) del 12.94%, la base de la aleta pectoral (BP) del 6.29%. La altura de la aleta anal (AA) del 15.63%, la altura de la segunda aleta dorsal (A2D) del 14.59%, la altura de la aleta pélvica (AP) del 11.22% y el largo del pedúnculo caudal (LPC) del 22.01% (ver Tabla 19).

Chirostoma grandocule se obtuvo de manera abundante en el lago, en un 35% (Fig. 10). Rojas, *et al*, (1990) encontraron en Ichupio a esta especie con un 46.7% de abundancia en relación al resto de las otras especies capturadas de *Chirostoma*. Andrade (1990) comparó la abundancia entre *C. grandocule* y *C. patzcuaro* manifestando una relación de 700-800 *C. grandocule* por cada 4-5 *C. patzcuaro*.

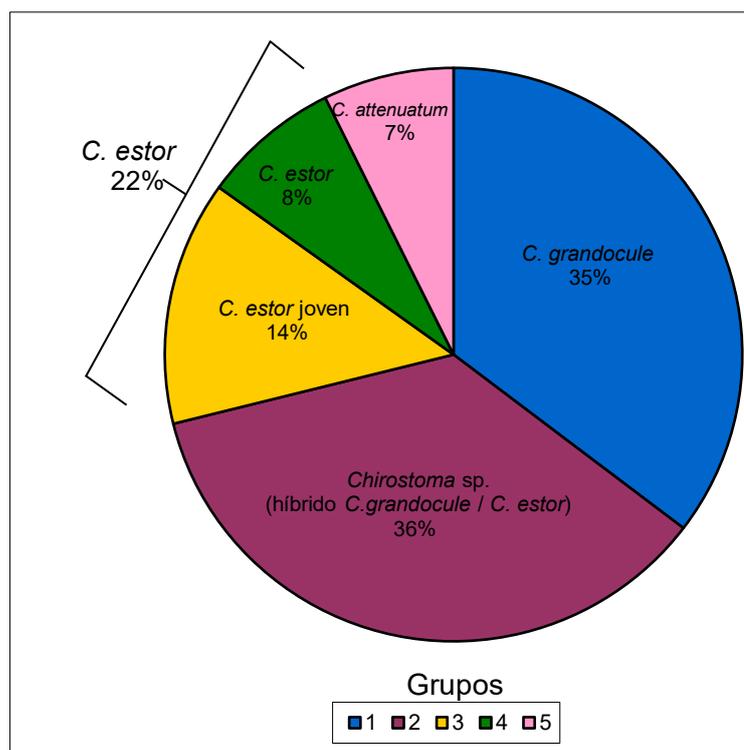


Fig. 10. Abundancia de las especies de *Chirostoma* en el lago de Pátzcuaro.

En este estudio, se encontró al grupo 1, *Chirostoma grandocule* localizado principalmente en la parte centro del lago en Janitzio (26%), Cucuchucho (24%), Yunuen (9%) y Pacanda (20%) (Fig. 11 y 12). Al norte se encontró hasta Tzintzuntzán (16%).

No fue localizado, tan al sur en el seno Ihuatzio, lo más al sur fue en el seno Erongarícuaro en Jarácuaro (5%) pero en muy bajo porcentaje.

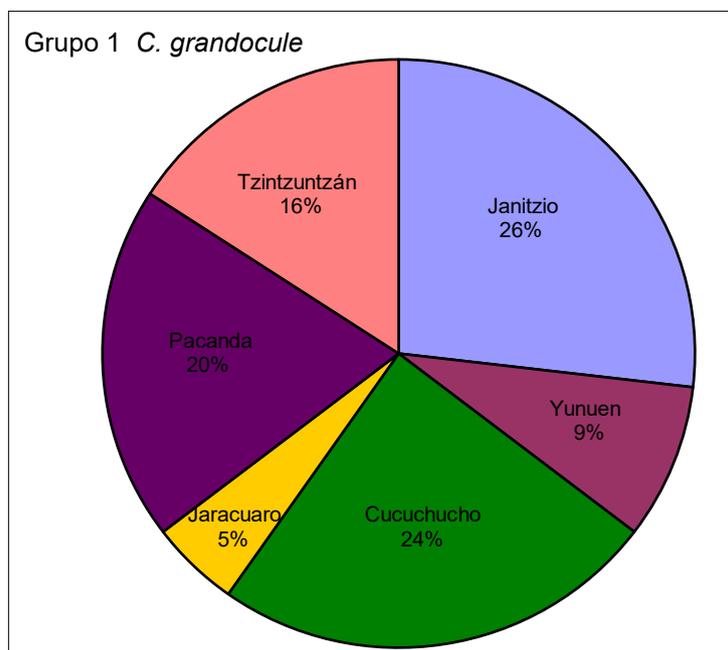


Fig. 11. Localización de *Chirostoma grandocule* en el Lago de Pátzcuaro, Mich.

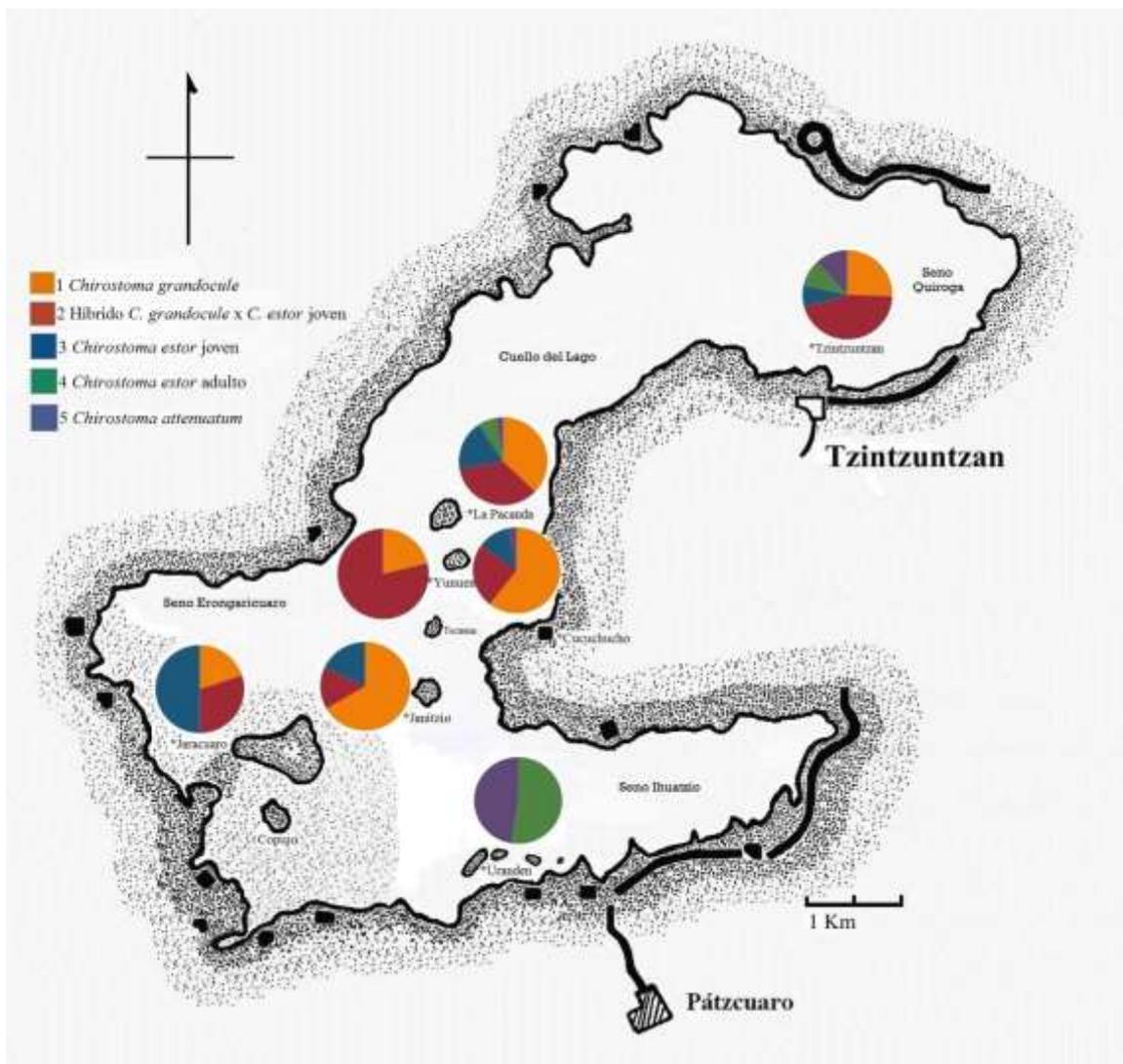


Fig. 12. Distribución y abundancias de las especies del género *Chirostoma* encontradas en el Lago.

En cuanto a la abundancia por sexos, no se encontraron diferencias en la proporción de estos para la temporada de secas ni la de lluvias (Fig. 13). No obstante se obtuvo la presencia de machos y hembras ovígeras en ambas temporadas (Fig. 14) sugiriendo que en ambas temporadas hay eventos reproductivos.

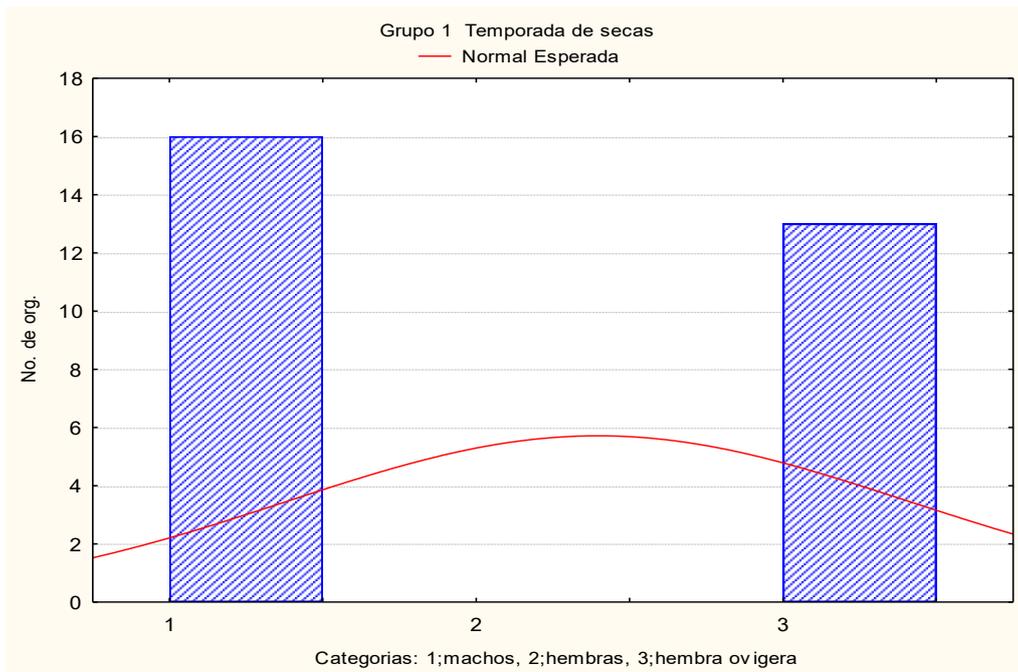


Fig 13. Sexualidad del grupo 1 en temporada de secas.

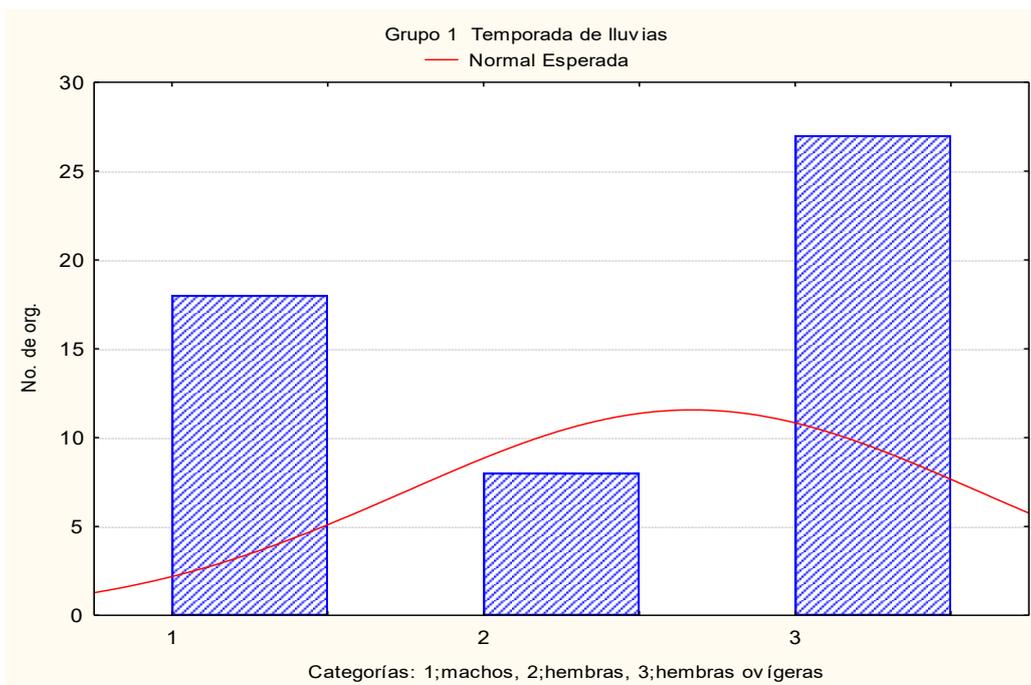


Fig. 14. Sexualidad del grupo 1 en temporada de lluvias.

Grupo 2 *Chirostoma* sp. (Híbridos entre *C. grandocule* x *C. estor*)

Las condiciones de desove para *C. grandocule* x *C. estor* son muy semejantes, ambas ocurren en suelo areno-rocoso con abundante vegetación que se encuentra adherida a rocas en poca profundidad, que va de 25 a 130 cm, con oleaje continuo; ambas desovan sobre algas filamentosas, aunque también es frecuente en potamogetonáceas, por lo que, al tener semejantes áreas de desove se incrementan las posibilidades de hibridación natural.

Asimismo, en el trabajo de Estrada (1991), se pudo comprobar experimentalmente en el laboratorio que es posible la obtención de híbridos artificiales entre *C. grandocule* x *C. estor*, ya que la cruce híbrida se desarrolló sin problemas hasta la fase de juvenil. Esto se puede extrapolar a su hábitat natural, ya que estas especies son simpátricas y estrechamente emparentadas, presentan períodos reproductivos traslapados y tienen similares preferencias en cuanto a sitios de desove, considerando además, la fecundación externa característica de estas especies. En el estudio experimental solo pudieron llegar a juveniles pero las características de estos se conservan en los adultos.

En el presente trabajo encontramos para *C. grandocule* (grupo 1) una talla mínima para hembras maduras, incluso ovígeras, de 70 mm de longitud estándar (LST) y una talla mayor de 86 mm de LST, también ovígeras; en el caso de los machos las tallas mínimas fueron de 70 mm de LST y las tallas mayores de 84 mm de LST. En el caso del grupo 3 *C. estor* joven la talla mínima en hembras fue de 77mm de LST la cual se encontraba ovígera y una talla mayor de 99 mm de LST, para los machos las tallas mínimas fueron de 80 mm de LST y las tallas mayores de 98 mm de LST. Por lo tanto, posiblemente hay buena oportunidad para que se puedan cruzar estas dos especies de manera natural.

Para este grupo 2, híbrido entre *C. grandocule* x *C. estor* se muestran sus características morfométricas y merísticas en la Figura 15 y la Tabla 6, donde podemos notar que es el grupo de menor talla promedio con una Longitud total (LT) de 80.69 mm, una longitud estándar (LST) de 67.49 mm, asimismo con la menor talla en cuanto a la longitud cefálica (LC) de 17.71 mm.

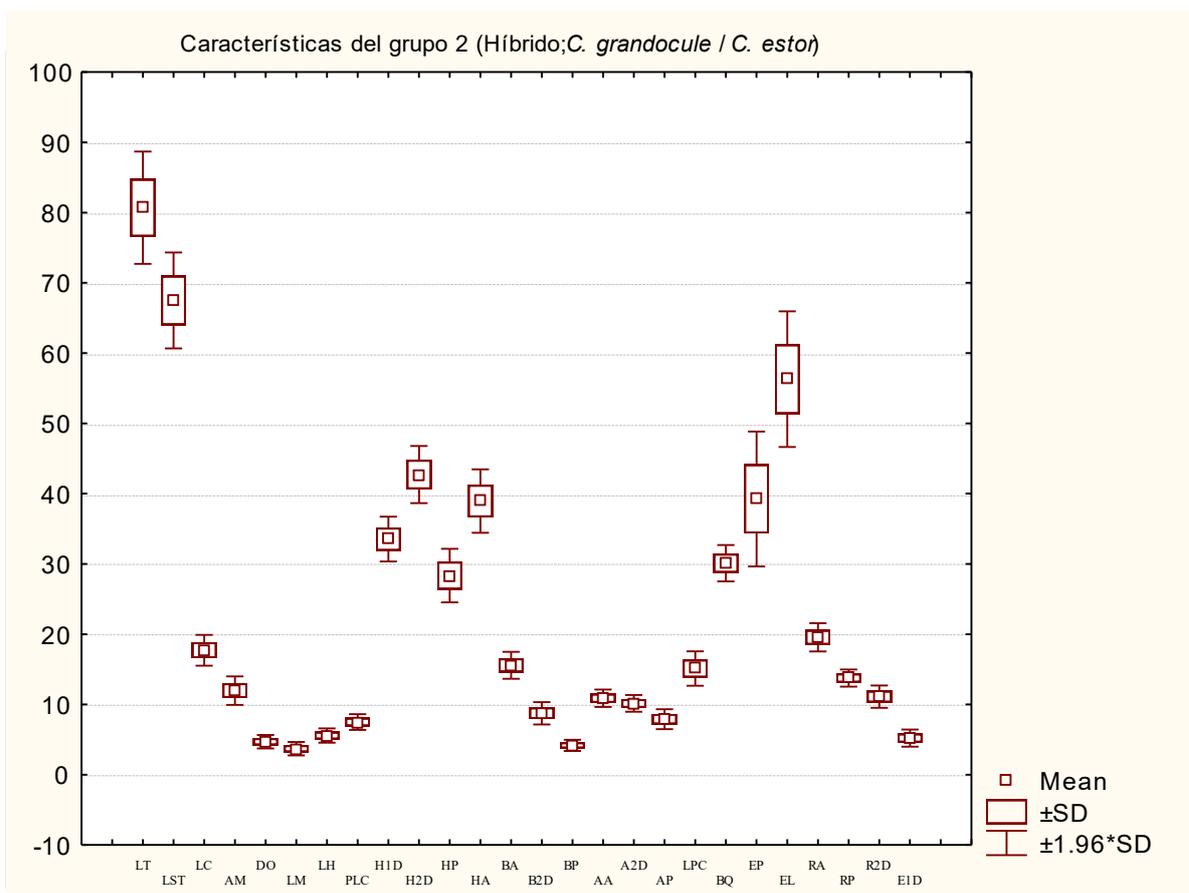


Fig. 15. Diagramas de caja para cada característica del grupo 2 (híbrido) *C. grandocule* x *C. estor*.

Asimismo, con ayuda del análisis de factores (factorizando por ejes principales), podemos ver que en las Tablas 6 y 7 así como, las Figuras 16 y 17, se muestran las características más importantes para este grupo, además de la longitud total (LT) y estándar (LST) las cuales son las siguientes:

*Del hocico a la aleta anal (HA: $\bar{x} = 38.94$ mm)

*Del hocico a la segunda aleta dorsal (H2D: $\bar{x} = 42.71$ mm)

*Del hocico a la aleta pélvica (HP: $\bar{x} = 28.34$ mm)

* Longitud cefálica (LC: $\bar{x} = 17.71$ mm)

Este grupo fue el que mostró, mediante el análisis de factores después de la rotación (VARIMAX) una mayor estabilidad de sus valores.

Se observó la presencia de 42-45 vértebras, con una moda de 44 vértebras, igual que el grupo 1 (*C. grandocule*) (Tabla 18).

Tabla 6. Características morfométricas y merísticas del grupo 2, (híbridos entre *C. grandocule* x *C. estor*).

Variables	Estadística Descriptiva (grupo2)			
	Media	Mínimo	Máximo	Desv.Std.
LT	80.69	73.00	90.00	4.08
LST	67.49	61.00	75.00	3.48
LC	17.71	12.00	20.00	1.12
AM	11.96	7.00	14.00	1.04
DO	4.70	4.00	6.00	0.49
LM	3.70	3.00	5.00	0.49
LH	5.57	4.00	6.00	0.52
PLC	7.49	7.00	9.00	0.57
H1D	33.53	30.00	37.00	1.62
H2D	42.71	39.00	47.00	2.07
HP	28.34	21.00	32.00	1.95
HA	38.94	34.00	44.00	2.30
BA	15.57	12.00	18.00	0.98
B2D	8.73	6.00	11.00	0.81
BP	4.17	3.00	5.00	0.41
AA	10.88	10.00	12.00	0.63
A2D	10.14	9.00	11.00	0.61
AP	7.90	6.00	10.00	0.73
LPC	15.11	11.00	18.00	1.25
BQ	30.10	28.00	33.00	1.32
EP	39.24	31.00	49.00	4.89
EL	56.29	45.00	67.00	4.93
RA	19.54	17.00	22.00	1.03
RP	13.75	12.00	15.00	0.62
R2D	11.11	8.00	13.00	0.81
E1D	5.20	4.00	6.00	0.62

En este estudio, el grupo 2 (híbridos entre *C. grandocule* x *C. estor*), se encontró de manera abundante como se puede ver en la Figura 10, con un 36% se puede observar ligeramente más abundante con respecto al grupo 1 (*C. grandocule*) el cual se encontró con una abundancia del 35%.

Tabla 7. Análisis de factores (Sin rotar) grupo 2;
Extracción: Factorizando por ejes principales;
(Peso marcado >.700000)

Variable	Factor 1	Factor 2
LT	0.961071*	-0.033523
LST	0.928888*	-0.039732
LC	0.752530*	-0.079450
AM	0.585174	0.019578
DO	0.202753	-0.352058
LM	0.478347	-0.091147
LH	0.573151	0.230678
PLC	0.670463	0.069430
H1D	0.661742	0.141514
H2D	0.852048*	0.098402
HP	0.793351*	0.074006
HA	0.875602*	0.066786
BA	0.524222	-0.165806
B2D	0.525640	-0.544079
BP	0.446366	0.020921
AA	0.568712	-0.191986
A2D	0.556058	-0.253360
AP	0.279208	-0.312224
LPC	0.646628	0.342596
BQ	0.018886	0.285932
EP	-0.297089	-0.243604
EL	-0.307191	-0.104089
RA	-0.268742	-0.354408
RP	0.045269	0.007750
R2D	-0.104080	-0.373006
E1D	0.053370	-0.110356
Exp.. Var	8.453143	1.308099
% Total	0.325121	0.050311

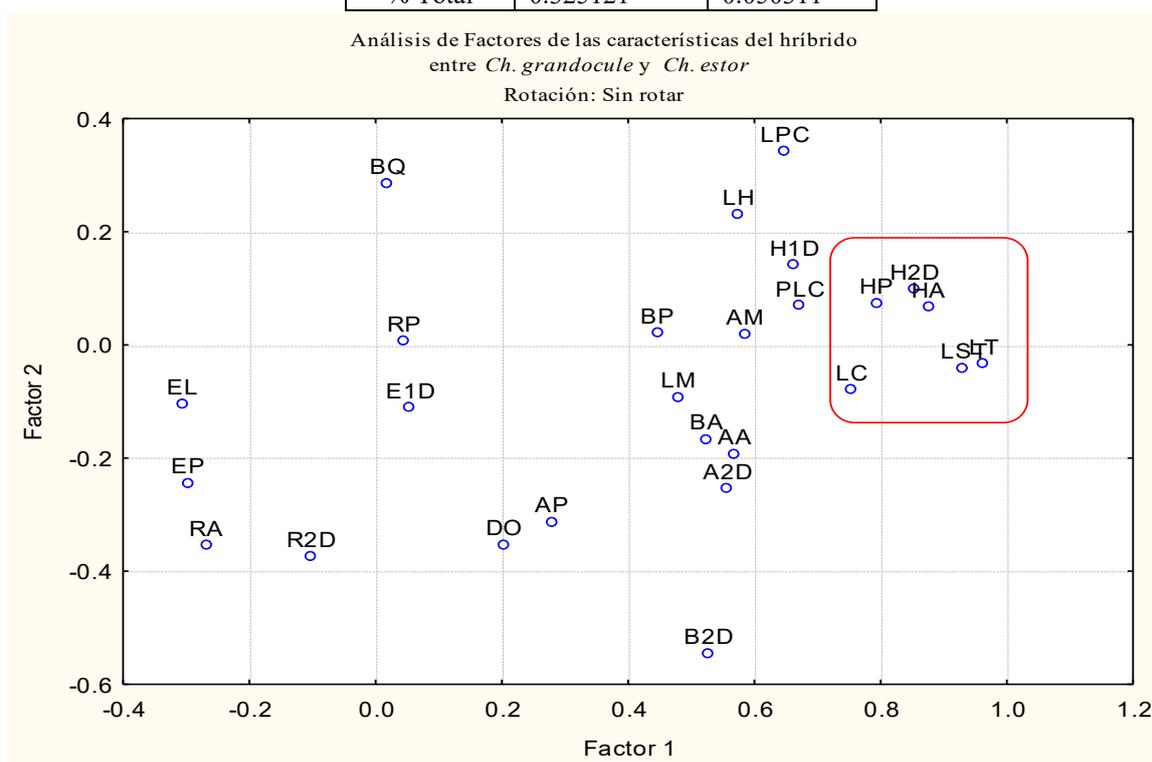


Fig. 16. Relación entre las variables del grupo 2, sin rotar.

Tabla 8. Análisis de factores (VARIMAX) grupo 2;
Extracción: Factorizando por ejes principales;
(Peso marcado >.700000)

Variable	Factor 1	Factor 2
LT	0.954718*	0.115302
LST	0.922123*	0.118745
LC	0.743022*	0.143291
AM	0.584714	0.030361
DO	0.172013	0.368056
LM	0.468839	0.131580
LH	0.590724	-0.180996
PLC	0.673940	-0.012042
H1D	0.671395	-0.084606
H2D	0.857334*	-0.025434
HP	0.796771*	-0.006128
HA	0.878108*	0.008074
BA	0.508186	0.209877
B2D	0.477362	0.586894
BP	0.446525	0.017193
AA	0.550282	0.239752
A2D	0.532444	0.299825
AP	0.251585	0.334882
LPC	0.673471	-0.286246
BQ	0.043184	-0.283283
EP	-0.316768	0.217400
EL	-0.314944	0.077532
RA	-0.297966	0.330217
RP	0.045765	-0.003864
R2D	-0.135488	0.362779
E1D	0.043772	0.114503
Exp. Var	8.901255	1.359988
% Total	0.323125	0.052307

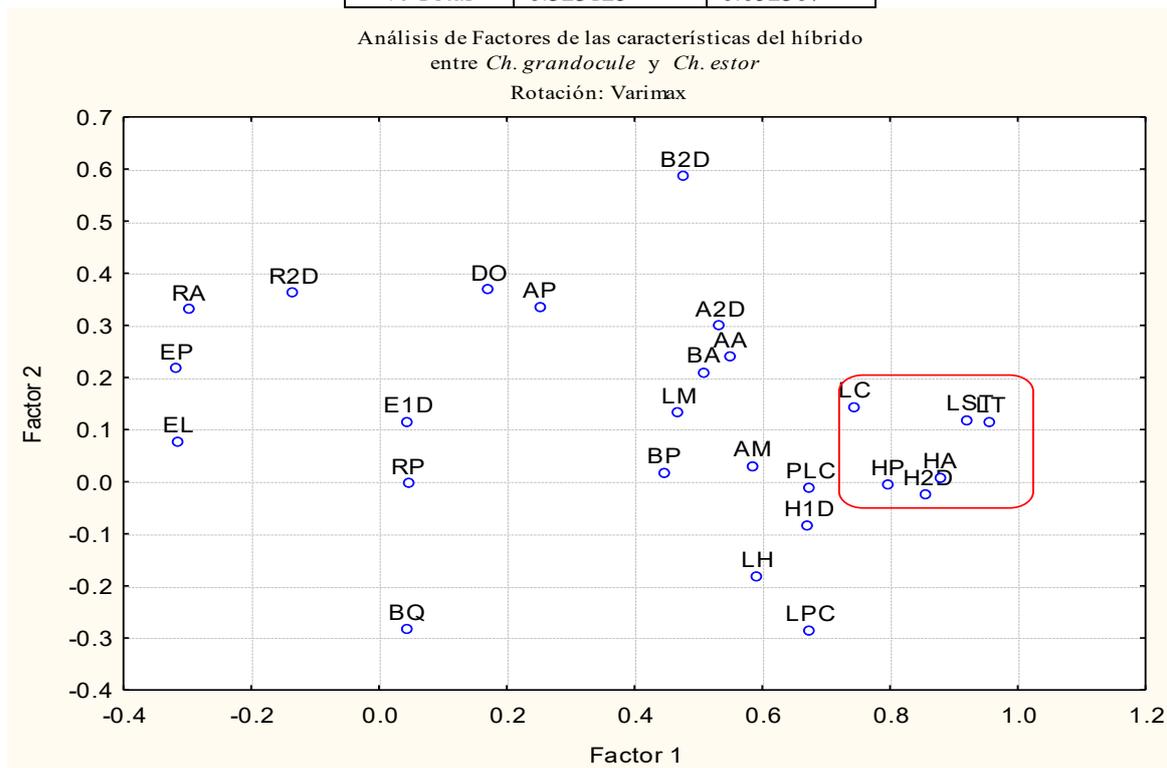


Fig. 17. Relación entre las variables del grupo 2, con rotación (VARIMAX).

Con respecto a las medidas expresadas en porcentaje, para la región de la cabeza en este grupo se encontró que presenta un diámetro del ojo (DO) del 26.54% de la longitud cefálica, la longitud del maxilar (LM) del 20.89%, la longitud del hocico (LH) del 31.45% y el post-orbital largo de la cabeza (PLC) del 42.29% (ver Tabla 19).

Con una amplitud máxima (AM) del 17.73% la longitud estándar y una longitud cefálica (LC) del 26.24% de la longitud estándar. En cuanto a la localización de las aletas, la longitud de la base y su altura; del hocico a la primera aleta dorsal (H1D) con el 49.68% de la longitud estándar, del hocico a la segunda aleta dorsal (H2D) del 63.28%, del hocico a la aleta pélvica (HP) del 41.99% y del hocico a la aleta anal (HA) del 57.70%. La base de la aleta anal (BA) del 23.07%, la base de la segunda aleta dorsal (B2D) del 12.94%, la base de la aleta pectoral (BP) del 6.18%. La altura de la aleta anal (AA) del 16.12%, la altura de la segunda aleta dorsal (A2D) del 15.02%, la altura de la aleta pélvica (AP) del 11.71% y el largo del pedúnculo caudal (LPC) del 22.39% (ver Tabla 19).

El grupo 2 híbrido (*C. grandocule* x *C. estor*) se localizó principalmente al norte del lago en Tzintzuntzán (28%) (Fig. 18), además, se encontró en el centro del lago en la Pacanda (18%), Yunuen (31%), Cucuchucho (10%) con respecto a lo más al sur del centro del lago fue en Janitzio (6%). En el sur fue encontrado en Jarácuaro (7%) pero en un bajo porcentaje (Fig. 12).

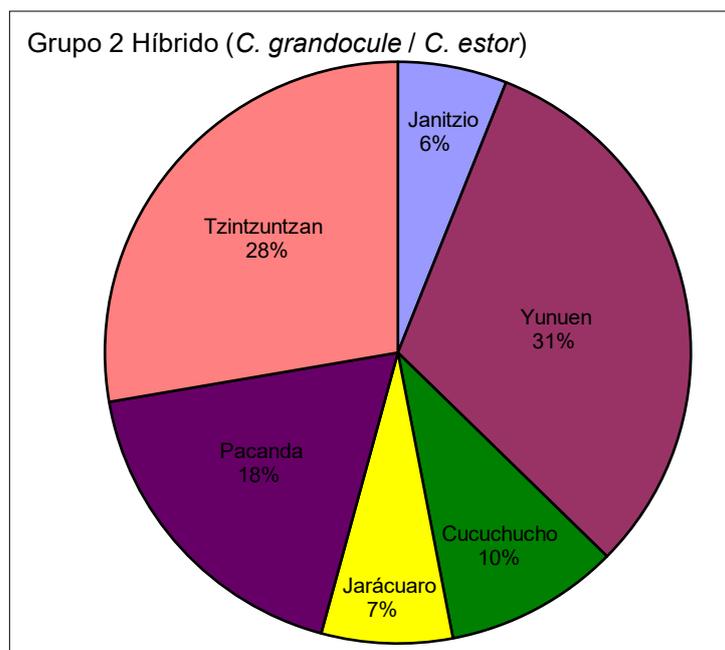


Fig. 18. Localización del híbrido entre *Chirostoma grandocule* x *C. estor* en el Lago de Pátzcuaro, Mich.

En lo que se refiere a la abundancia por sexos (Fig. 19 y 20), tanto en la temporada de secas como en la de lluvias se encontró un comportamiento similar, ya que las cantidades de machos, hembras y hembras ovígeras fueron semejantes, lo que podemos notar es que en la temporada de lluvias es ligeramente mayor, además que en ambas temporadas hay hembras ovígeras y por lo tanto se pueden reproducir en estas temporadas.

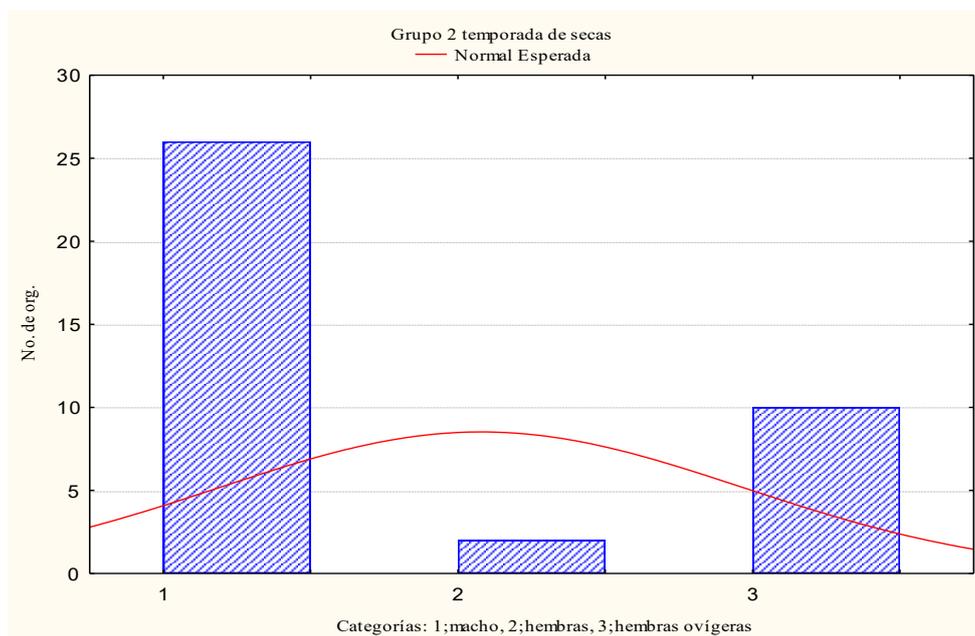


Fig. 19. Sexualidad del grupo 2 en temporada de secas.

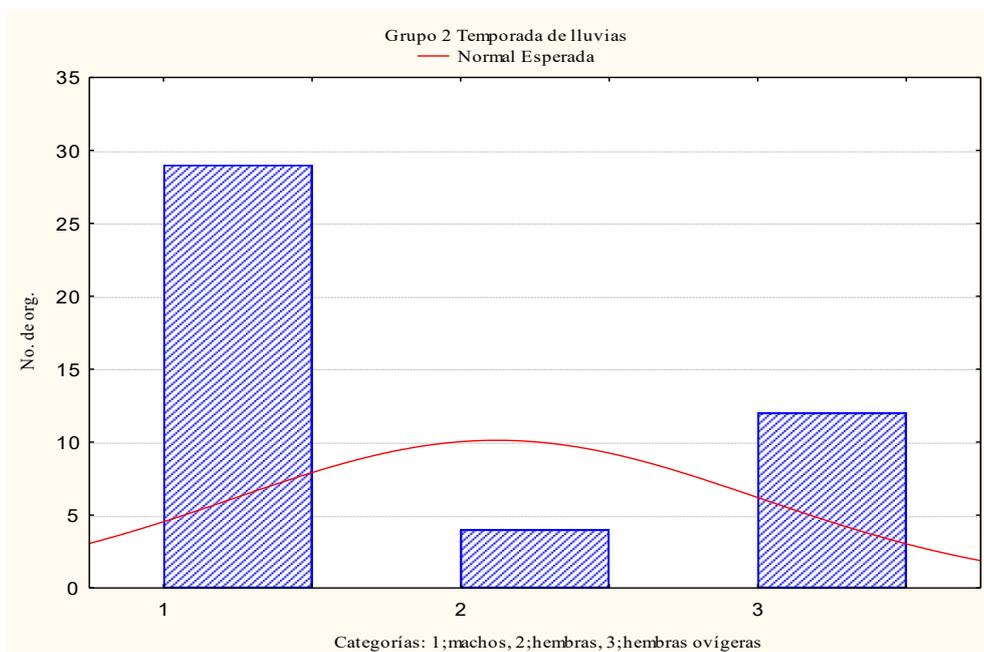


Fig. 20. Sexualidad del grupo 2 en temporada de lluvia.

Grupo 3 *Chirostoma estor estor*, Jordan, 1879 joven.

El pescado blanco ha migrado a los lugares de mayor profundidad al norte del lago (hasta de un 77.7% en la zona norte y 67.6% en la zona sur), además, se ha encontrado una mayor incidencia de parasitosis en este lugar, principalmente por sanguijuelas (*Myzobdella patzcuarensis*), cuyos hábitos reproductivos son los sitios fangosos y de vegetación emergente que coincide con las zonas de desove del pez blanco. Además, presentan una marcada preferencia por la cavidad bucal, por lo que los peces presentan serias dificultades para poder alimentarse, causándole daños como anemias severas producidas por la pérdida de sangre, lesiones hemorrágicas en el sitio infectado y evidencias de desnutrición (Sabanero y Hernández, 1990).

Es una especie muy sensible, por lo que no soporta el manejo después de su captura y tiende a estresarse muy fácilmente cuando está en cautiverio (Estrada, 1991), en el presente trabajo se observó como se rompían la mandíbula al chocar con las paredes de la cubeta, por lo que se optó por ponerlos en obscuridad.

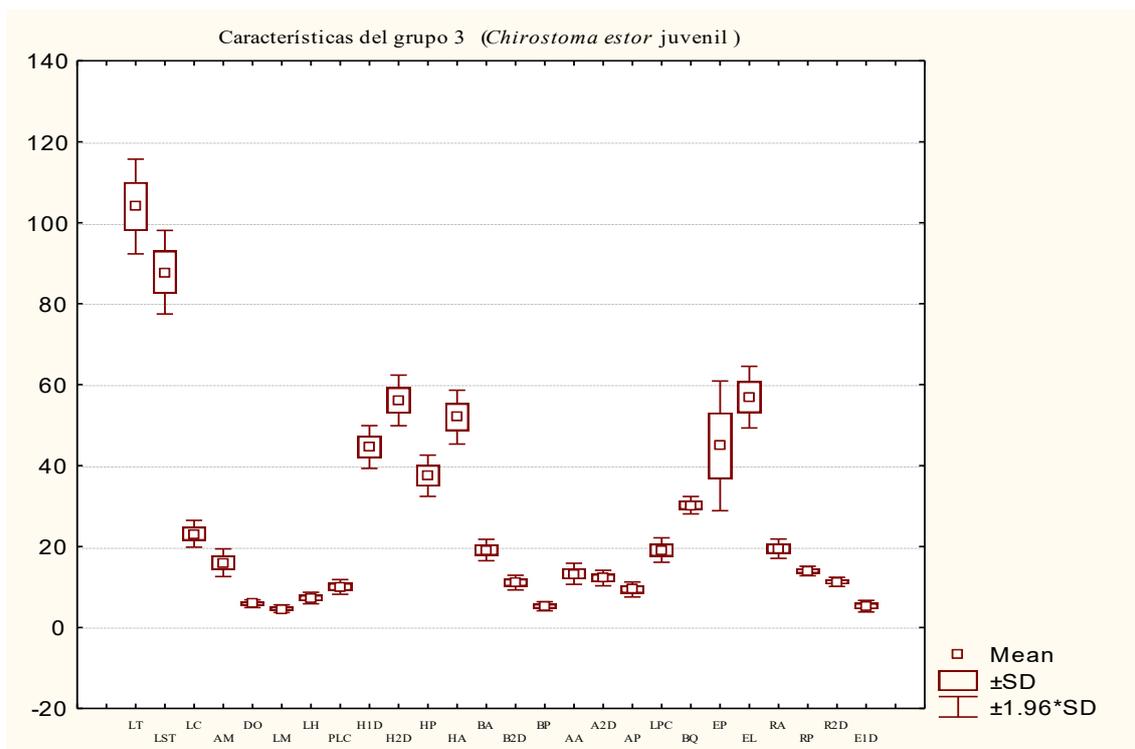


Fig. 21. Diagramas de caja para cada característica del grupo 3 *Chirostoma estor* joven.

Chirostoma estor joven (de talla pequeña) y *C. grandocule* tienen en común la forma de la mandíbula inferior, así como el tamaño y arreglo de las escamas predorsales (Estrada, 1991). Además, ambas especies pertenecen al grupo JORDANI con valores merísticos altos, escamas de la línea lateral con canales y escamas con márgenes lacinados (Barbour, 1973b).

Para el grupo 3 (*C. estor* joven) se muestran sus características morfométricas y merísticas promedio en la Figura 21 y la Tabla 9, con un mínimo de longitud total (LT) de 92.0 mm y un máximo de 118.0 mm, una longitud estándar (LST) de \bar{x} = 87.75 mm y longitud cefálica (LC) de \bar{x} = 23.16 mm.

Tabla 9. Características morfométricas y merísticas del grupo 3, (*Chirostoma estor* joven).

Variables	Estadística Descriptiva (grupo3)			
	Media	Mínimo	Máximo	Desv.Std.
LT	104.00	92.00	118.00	5.97
LST	87.75	77.00	99.00	5.26
LC	23.16	20.00	28.00	1.69
AM	16.00	12.00	20.00	1.74
DO	5.88	5.00	7.00	0.49
LM	4.66	4.00	5.00	0.48
LH	7.28	6.00	9.00	0.73
PLC	10.03	8.00	13.00	0.93
H1D	44.59	40.00	50.00	2.70
H2D	56.09	51.00	63.00	3.19
HP	37.50	33.00	43.00	2.60
HA	51.97	46.00	60.00	3.39
BA	19.16	17.00	24.00	1.35
B2D	11.09	10.00	14.00	0.93
BP	5.25	4.00	7.00	0.57
AA	13.28	12.00	18.00	1.32
A2D	12.22	10.00	15.00	0.97
AP	9.41	8.00	12.00	0.94
LPC	19.13	15.00	22.00	1.54
BQ	30.22	27.00	32.00	1.10
EP	44.88	34.00	61.00	8.18
EL	56.91	47.00	65.00	3.89
RA	19.47	16.00	21.00	1.22
RP	13.97	13.00	15.00	0.59
R2D	11.28	10.00	12.00	0.58
E1D	5.28	4.00	7.00	0.73

Por medio del análisis de factores (factorizando por ejes principales) en las Tablas 10 y 11 así como, las Figura 22 y 23, se observa que además, de las tres anteriores longitudes (total, estándar y cefálica), las características más importantes para este grupo son, las siguientes:

*Del hocico a la segunda aleta dorsal (H2D: $\bar{x} = 56.09$ mm)

*Longitud cefálica (LC: $\bar{x} = 17.71$ mm)

*Del hocico a la primera aleta dorsal (H1D: $\bar{x} = 44.59$ mm)

*Del hocico a la aleta pélvica (HP: $\bar{x} = 37.50$ mm)

*Del hocico a la aleta anal (HA: $\bar{x} = 51.97$ mm)

*Base de la aleta anal (BA: $\bar{x} = 19.16$ mm)

*Altura de la segunda dorsal (A2D: $\bar{x} = 12.22$ mm)

*Post-orbital al largo de la cabeza (PLC: $\bar{x} = 10.03$ mm)

*Base de la segunda dorsal (B2D: $\bar{x} = 11.09$ mm)

*Altura de la aleta pélvica (AP: $\bar{x} = 9.41$ mm)

*Base de la aleta pectoral (BP: $\bar{x} = 5.25$ mm)

*Radios de las aletas anales (RA: $\bar{x} = 19.47$ mm) y con una menor importancia por no ser considerada después de la rotación (VARIMAX) es el largo del pedúnculo caudal LPC: $\bar{x} = 19.13$ mm

Este grupo presentó de 39-46 vértebras, con una moda de 44 vértebras (Tabla 18).

Tabla 10. Análisis de factores (Sin rotar) grupo 3;
Extracción: Factorizando por ejes principales;
(Peso marcado >.700000)

Variable	Factor 1	Factor 2
LT	0.97289*	-0.003799
LST	0.96631*	-0.068683
LC	0.91702*	0.089914
AM	0.69500	0.086569
DO	0.67069	-0.031174
LM	0.34430	-0.223878
LH	0.69438	-0.025672
PLC	0.78823*	0.114643
H1D	0.89279*	0.044160
H2D	0.94680*	-0.065595
HP	0.88912*	-0.070518
HA	0.87501*	-0.152850
BA	0.80745*	-0.336826
B2D	0.75739*	-0.272589
BP	0.75262*	0.083488
AA	0.53476	0.286092
A2D	0.79731*	0.168128
AP	0.75418*	0.308400
LPC	0.69943	0.253963
BQ	-0.27901	-0.421351
EP	-0.22755	-0.613841
EL	0.39703	-0.295464
RA	0.17739	-0.759526*
RP	0.05808	-0.531077
R2D	0.12762	-0.642932
E1D	-0.01850	0.105381
Exp.. Var	12.23623	2.509271
% Total	0.47062	0.096510

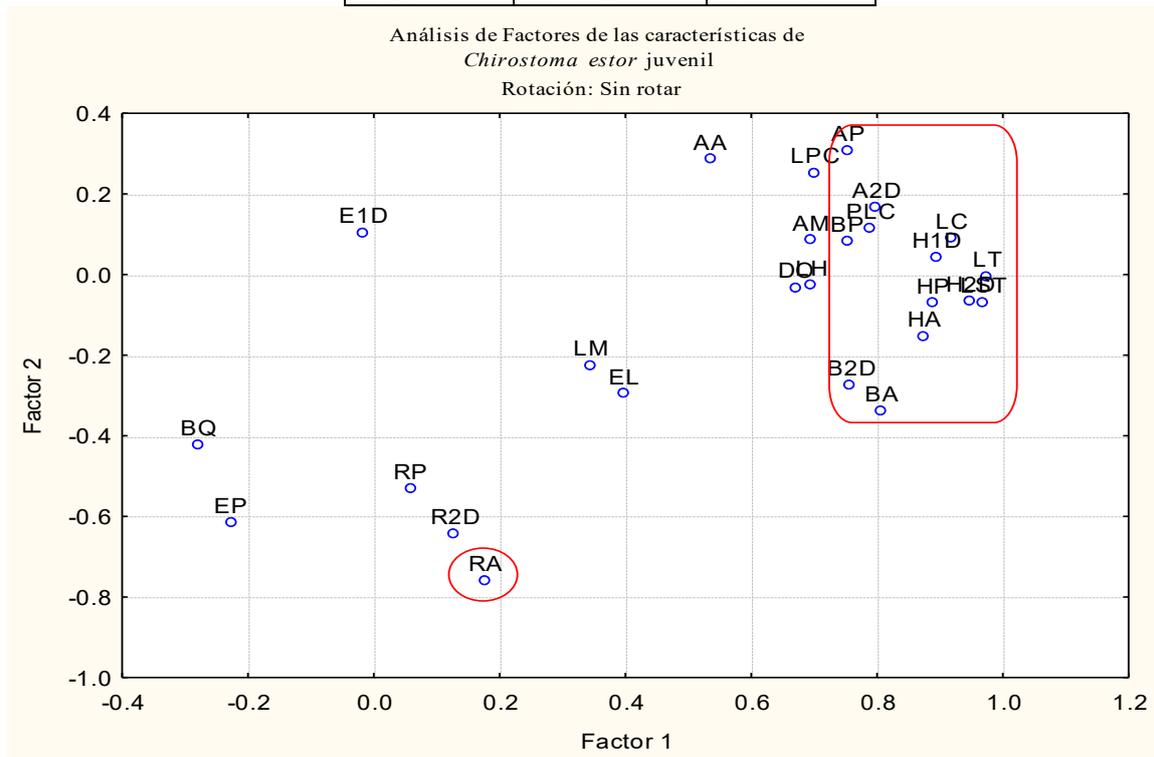


Fig. 22. Relación entre las variables del grupo 3, sin rotar.

Tabla 11. Análisis de factores (VARIMAX) grupo 3;
Extracción: Factorizando por ejes principales;
(Peso marcado >.700000).

Variable	Factor 1	Factor 2
LT	0.97284*	0.011099
LST	0.96577*	0.075931
LC	0.91767*	-0.083031
AM	0.69563	-0.081352
DO	0.67044	0.036206
LM	0.34262	0.226455
LH	0.69417	0.030881
PLC	0.78907*	-0.108725
H1D	0.89310*	-0.037460
H2D	0.94628*	0.072697
HP	0.88857*	0.077187
HA	0.87384*	0.159411
BA	0.80490*	0.342875
B2D	0.75533*	0.278264
BP	0.75323*	-0.077839
AA	0.53689	-0.282072
A2D	0.79855*	-0.162141
AP	0.75647*	-0.302733
LPC	0.70132*	-0.248708
BQ	-0.28216	0.419246
EP	-0.23215	0.612117
EL	0.39480	0.298435
RA	0.17169	0.760836*
RP	0.05409	0.531498
R2D	0.12280	0.643872
E1D	-0.01770	-0.105516
Exp.. Var	12.23568	2.509818
% Total	0.47060	0.096531

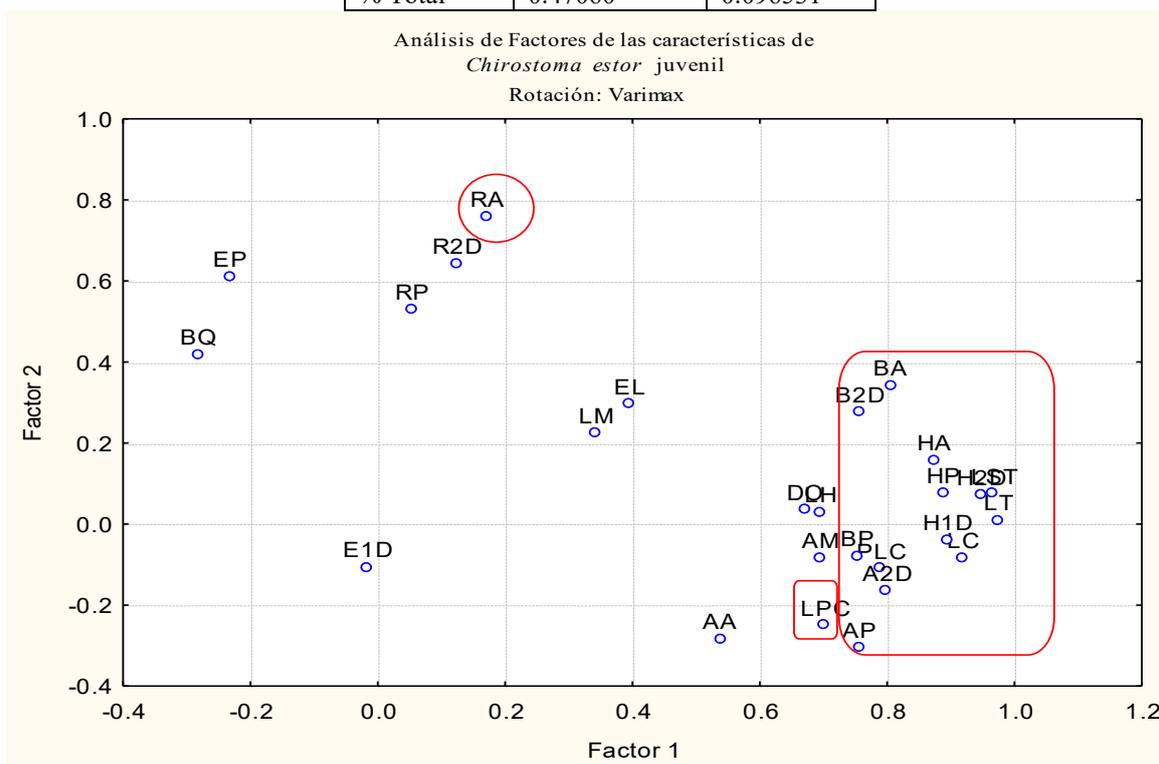


Fig. 23. Relación entre las variables del grupo 3, con rotación (VARIMAX).

Asimismo, este grupo comprende el 14% con respecto a los demás grupos localizados en el lago, que junto a *C. estor* adulto forman el 22% como especie (Fig. 10).

Las medidas morfométricas, en porcentaje, de la región de la cabeza presentan un diámetro del ojo (DO) del 25.39% de la longitud cefálica, la longitud del maxilar (LM) del 20.12%, la longitud del hocico (LH) del 31.43% y el post-orbital largo de la cabeza (PLC) del 43.31% (ver Tabla 19).

Con una amplitud máxima (AM) del 18.23% de la longitud estándar y una longitud cefálica (LC) con 26.38% de la longitud estándar. En cuanto a la localización de las aletas, la longitud de la base y su altura; del hocico a la primera aleta dorsal (H1D) de el 50.80% de la longitud estándar, del hocico a la segunda aleta dorsal (H2D) del 63.90%, del hocico a la aleta pélvica (HP) del 42.72% y del hocico a la aleta anal (HA) del 59.20%. La base de la aleta anal (BA) del 21.83%, la base de la segunda aleta dorsal (B2D) del 12.63%, la base de la aleta pectoral (BP) del 5.98%. La altura de la aleta anal (AA) del 15.13%, la altura de la segunda aleta dorsal (A2D) del 13.92%, la altura de la aleta pélvica (AP) del 10.72% y el largo del pedúnculo caudal (LPC) del 21.79% (ver Tabla 19).

Chirostoma estor de talla pequeña o juvenil se localizó principalmente (Fig. 24), el centro del lago, en el centro del lago, en Pacanda (25%), Cucuchucho (13%) y Janitzio (19%), pero no se encontró en Yunuén (Fig. 12), aunque es muy posible que también se encuentre ahí, al encontrarlo en las partes alrededor de Yunuén. Asimismo en el sur, en Jarácuaro (30%). Y por último en el norte en Tzintzuntzán (13%)

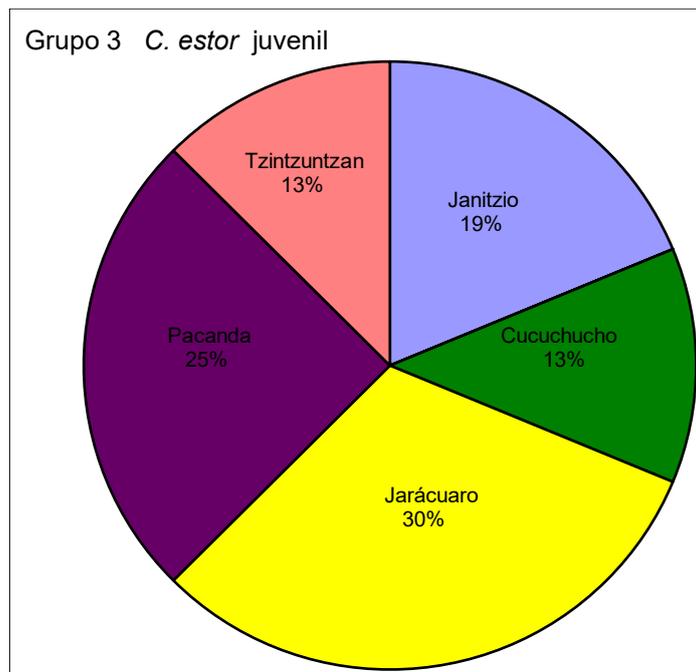


Fig. 24. Localización de *Chirostoma estor* juvenil en el lago de Pátzcuaro, Mich.

En cuanto a la abundancia de los sexos en la temporada de seca (Fig. 25), se encontraron machos y hembras ovígeras. En la temporada de lluvias (Fig. 26), se observó una alta presencia de hembras y hembras ovígeras y aunque en baja proporción se encontraron machos, por lo que podemos notar que en las dos temporadas de muestreo se puede reproducir el grupo 3 (*C. estor* juvenil).

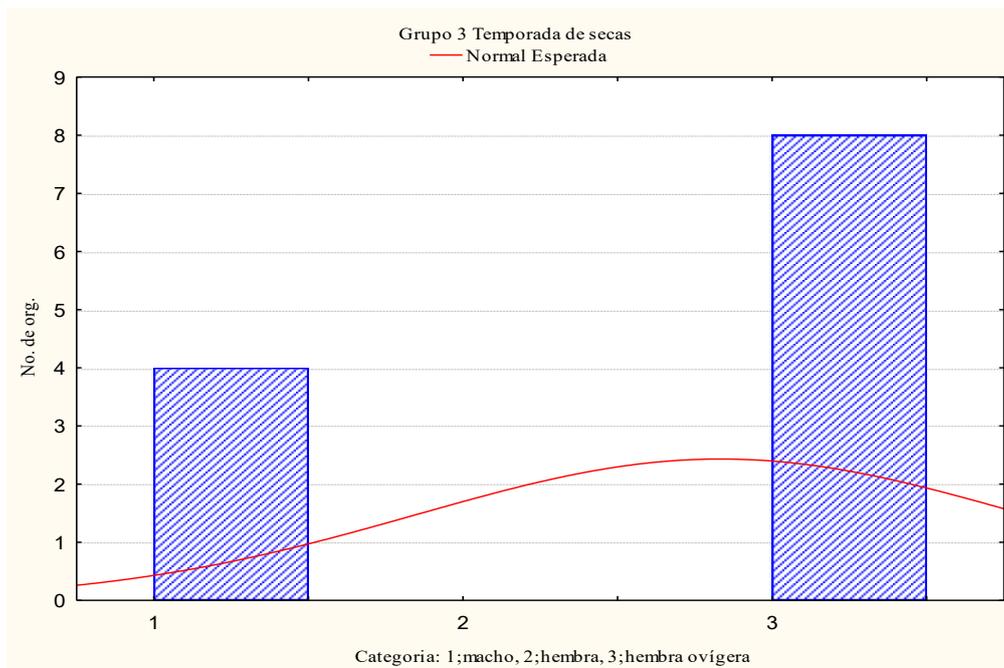


Fig. 25. Sexualidad del grupo 3 en temporada de secas.

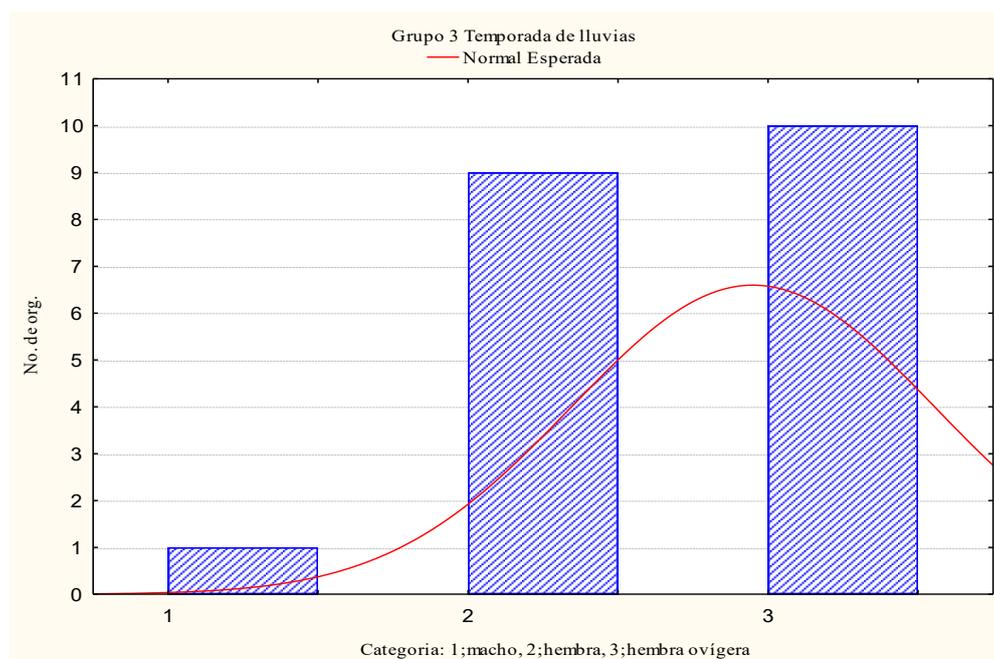


Fig. 26. Sexualidad del grupo 3 en temporada de lluvias.

Grupo 4 *Chirostoma estor estor* Jordan, 1879.

Se sabe que *C. estor* es un pez neártico de nado rápido, propio de aguas templadas (de 18° a 24°C), claras o medio turbias y sin vegetación; le gustan los fondos arenosos o gravas. Es depredador de Atherinopsidos del mismo género cuando es adulto, también depreda crías de lobina negra, y a su vez es depredado por la lobina; como juvenil y como cría es zooplantófago. En cuanto a su biología, no tiene dimorfismo sexual, es ovíparo, y desova todo el año, pero esta actividad se acentúa entre los meses de enero y agosto, con una mayor frecuencia de febrero a mayo y madura sexualmente al año. En cautiverio una hembra de 150 a 200 gr de peso desova un promedio de 10,000 a 15,000 óvulos a una temperatura de 20 a 22°C (Rosas, 1976; Estrada, 1991).

Las áreas de postura que prefiere se localizan al norte del lago donde el agua es más clara, oxigenada y con poco oleaje, desovando en orillas con algas filamentosas a una profundidad de 0.80 a 1.5 m. Pueden alcanzar tallas de hasta 37cm, aunque éstos son ahora escasos debido a la sobre pesca (Rosas, 1976; Instituto Nacional de la Pesca, 2005).

Esta especie es muy fácil confundirla con *C. grandocule*, cuando *C. estor* es juvenil y es de tallas pequeñas, pero al alcanzar tallas mayores, entre 170 y 200 mm la LT, según Estrada (1991), la talla ayuda de manera importante para la separación de estas especies.

Para *C. estor* en la Figura 27 y la Tabla 12 se dan sus características morfométricas y merísticas promedio, con un mínimo de longitud total (LT) de 141 mm y un máximo de 240 mm, un mínimo de longitud estándar (LST) de 119 mm y un máximo de 208 mm, así como un promedio de longitud cefálica (LC) de 49 mm.

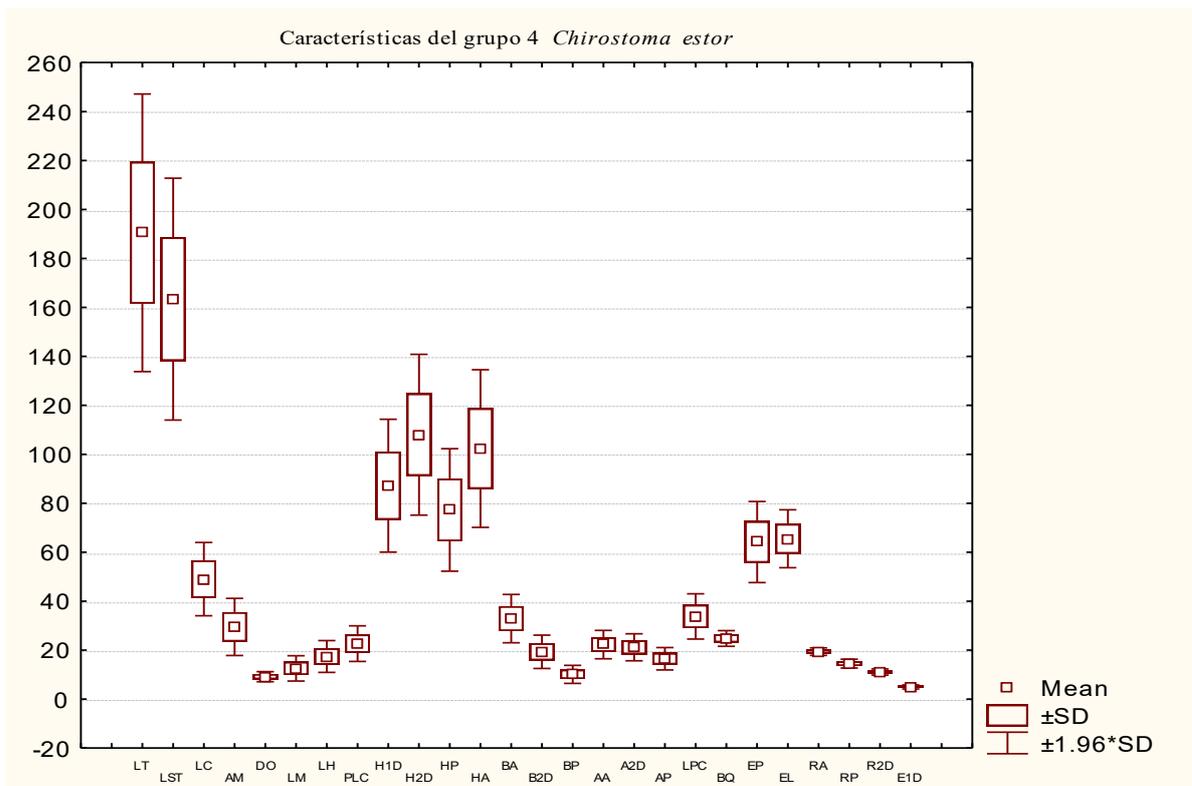


Fig. 27. Diagramas de caja para cada característica del grupo 4 *Chirostoma estor*.

Con ayuda del análisis de factores (factorizando por ejes principales) en las Tablas 13 y 14 así como, las Figura 28 y 29, se observa las siguientes características importantes:

- *Hocico ala primera dorsal (H1D: $\bar{x} = 87.17$ mm)
- *Hocico a la pélvica (HP: $\bar{x} = 77.28$ mm)
- *Hocico a la segunda dorsal (H2D: $\bar{x} = 108$ mm)
- *Hocico a la anal (HA: $\bar{x} = 102.33$ mm)
- *Longitud del hocico (LH: $\bar{x} = 17.39$ mm)
- *Post-orbita al largo de la cabeza (PLC: $\bar{x} = 22.67$ mm)
- *Base de la aleta anal (BA: $\bar{x} = 32.89$ mm)
- *Base de la segunda dorsal (B2D: $\bar{x} = 19.33$ mm)
- *Altura de la aleta pélvica (AP: $\bar{x} = 16.5$ mm)
- *Altura de la aleta anal (AA: $\bar{x} = 22.28$ mm)
- *Altura de la segunda dorsal (A2D: $\bar{x} = 21.17$ mm)
- *Largo del pedúnculo caudal (LPC: $\bar{x} = 33.78$ mm)

- *Altura máxima (AM: $\bar{x} = 29.5$ mm)
- *Base de la aleta pectoral (BP: $\bar{x} = 10.11$ mm)
- *Diámetro del ojo (DO: $\bar{x} = 9.17$ mm)
- *Longitud del maxilar (LM: $\bar{x} = 12.56$ mm)
- *Los radios de la segunda dorsal (R2D: $\bar{x} = 11.06$)

Es importante mencionar que con este análisis, las características sobresalientes para este grupo son las morfométricas.

Este grupo presentó de 43-46 vértebras, con una moda de 45 vértebras (Tabla 18).

Tabla 12. Características morfométricas y merísticas del Grupo 4, *Chirostoma estor*.

Variables	Estadística Descriptiva (grupo 4)			
	Media	Mínimo	Máximo	Desv.Std
LT	190.44	141.00	240.00	28.93
LST	163.39	119.00	208.00	25.20
LC	49.00	35.00	63.00	7.63
AM	29.50	20.00	42.00	5.95
DO	9.17	7.00	11.00	1.04
LM	12.56	8.00	19.00	2.64
LH	17.39	12.00	24.00	3.31
PLC	22.67	16.00	30.00	3.71
H1D	87.17	63.00	114.00	13.84
H2D	108.00	78.00	138.00	16.76
HP	77.28	57.00	99.00	12.75
HA	102.33	75.00	129.00	16.42
BA	32.89	25.00	44.00	5.04
B2D	19.33	14.00	28.00	3.48
BP	10.11	7.00	14.00	1.87
AA	22.28	16.00	27.00	2.95
A2D	21.17	16.00	27.00	2.81
AP	16.50	12.00	22.00	2.33
LPC	33.78	25.00	41.00	4.72
BQ	24.78	23.00	28.00	1.63
EP	64.17	47.00	81.00	8.44
EL	65.50	54.00	77.00	6.03
RA	19.39	18.00	21.00	0.78
RP	14.50	12.00	16.00	0.92
R2D	11.06	10.00	12.00	0.64
E1D	4.94	4.00	6.00	0.42

Tabla 13. Análisis de factores (Sin rotar) grupo 4;
Extracción: Factorizando por ejes principales;
(Peso marcado >.700000).

Variable	Factor 1	Factor 2
LT	-0.96296*	0.094257
LST	-0.96412*	0.090547
LC	-0.96178*	0.081886
AM	-0.85193*	-0.104429
DO	-0.85172*	-0.138365
LM	-0.75150*	-0.254628
LH	-0.95240*	0.078013
PLC	-0.94724*	0.036314
H1D	-0.96792*	0.046250
H2D	-0.96405*	0.101796
HP	-0.96745*	0.096404
HA	-0.96330*	0.087379
BA	-0.93870*	-0.155217
B2D	-0.92262*	-0.250334
BP	-0.89428*	-0.218808
AA	-0.92063*	0.065072
A2D	-0.91322*	-0.048647
AP	-0.92100*	-0.017161
LPC	-0.90755*	0.262377
BQ	0.03143	0.588113
EP	-0.27314	-0.036206
EL	-0.29297	0.476540
RA	0.14871	-0.517383
RP	0.16934	0.468326
R2D	-0.06613	-0.801458*
E1D	0.06203	0.145359
Exp.. Var	16.43830	2.090639
% Total	0.63224	0.080409

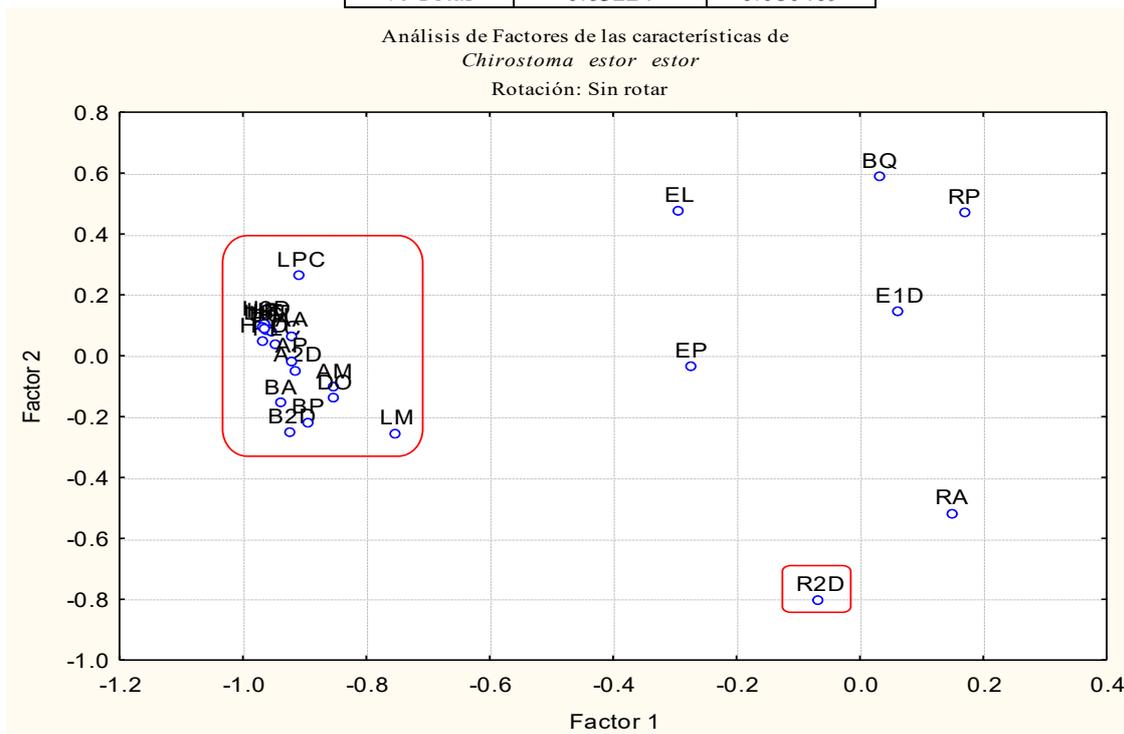


Fig. 28. Relación entre las variables del grupo 4, sin rotar.

Tabla 14. Análisis de factores (VARIMAX) grupo 4;
Extracción: Factorizando por ejes principales;
(Peso marcado >.700000).

Variable	Factor 1	Factor 2
LT	0.96511*	0.068813
LST	0.96617*	0.065074
LC	0.96360*	0.056478
AM	0.84888*	-0.126874
DO	0.84778*	-0.160793
LM	0.74452*	-0.274370
LH	0.95412*	0.052853
PLC	0.94787*	0.011306
H1D	0.96881*	0.020692
H2D	0.96640*	0.076321
HP	0.96966*	0.070841
HA	0.96527*	0.061928
BA	0.93427*	-0.1799334
B2D	0.91569*	-0.274594
BP	0.88819*	-0.242330
AA	0.92203*	0.040756
A2D	0.91162*	-0.072729
AP	0.92023*	-0.041459
LPC	0.91416*	0.238337
BQ	-0.01590	0.588737
EP	0.27209	-0.043401
EL	0.30544	0.468644
RA	-0.16231	-0.513278
RP	-0.15692	0.472632
R2D	0.04496	-0.802924*
E1D	-0.05717	0.146945
Exp.. Var	16.42831	2.100630
% Total	0.63186	0.080793

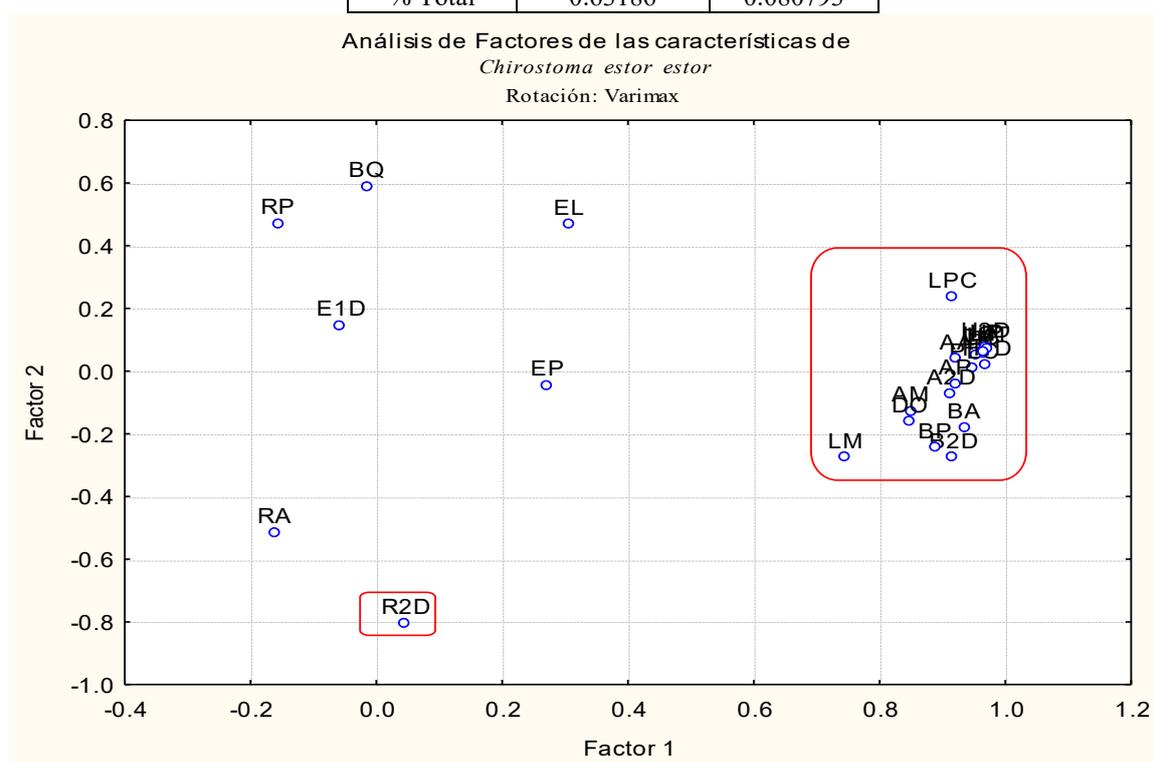
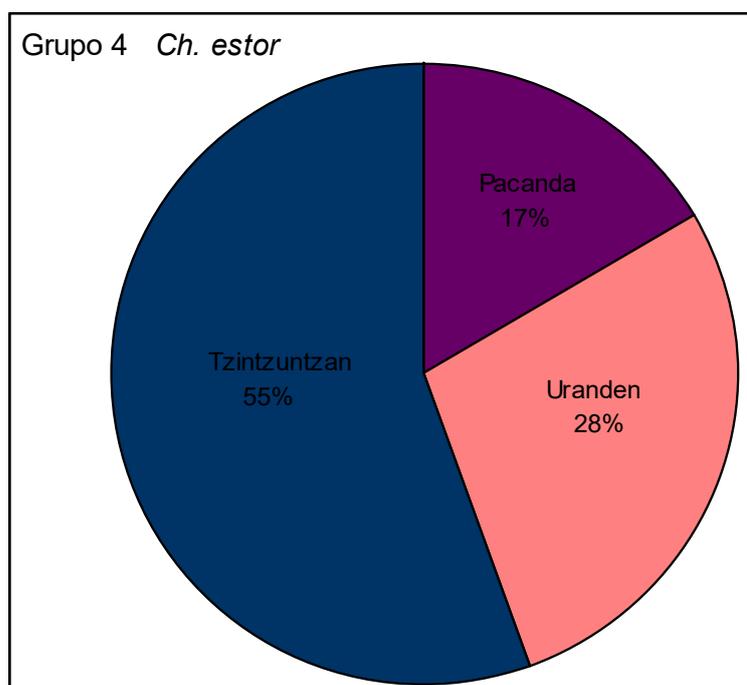


Fig. 29. Relación entre las variables del grupo 4, con rotación (VARIMAX).

Asimismo, este grupo se encontró con una abundancia del 8% con respecto a los demás grupos de *Chirostoma* localizados en el lago (Fig. 10), además, hay que mencionar que *C. estor* (joven) esta en un 14%, por lo que en total la especie se encontró en un 22%.

Para las medidas expresadas en porcentaje en la región de la cabeza se encontró que presenta un diámetro del ojo (DO) de 18.71% de la longitud cefálica, la longitud del maxilar (LM) del 25.63%, la longitud del hocico (LH) del 35.49% y el post-orbital largo de la cabeza (PLC) del 46.26% (ver Tabla 19).

Con una amplitud máxima (AM) del 18.05% de la longitud estándar y una longitud cefálica (LC) con 29.99% de la longitud estándar. En cuanto a la localización de las aletas, la longitud de la base y su altura; del hocico a la primera aleta dorsal (H1D) del 53.35% de la longitud estándar, del hocico a la segunda aleta dorsal (H2D) del 66.10%, del hocico a la aleta pélvica (HP) del 47.30% y del hocico a la aleta anal (HA) del 62.63%. La base de la aleta anal (BA) del 20.13%, la base de la segunda aleta dorsal (B2D) del 11.83%, la base de la aleta pectoral (BP) del 6.19%. La altura de la aleta anal (AA) del 13.64%, la altura de la segunda aleta dorsal (A2D) del 12.96%, la altura de la aleta pélvica (AP) del 10.10% y el largo del pedúnculo caudal (LPC) del 20.67% (ver Tabla 19).



Este grupo 4, *Chirostoma estor estor* se encuentra al norte del lago (Fig. 30) en Tzintzuntzan (55%), en alto porcentaje. En el centro del lago se encontró en La Pacanda en un 17% y al sur del lago en Uranden de un 28% (Fig. 12).

Fig. 30. Localización de *Chirostoma estor estor* en el lago de Pátzcuaro, Mich.

En cuanto a la abundancia de los sexos, para el grupo 4, la temporada de secas se encontraron miembros machos, hembras y hembras ovígeras (Fig. 31), y no se encontraron organismos en este estudio en la temporada de lluvias, aunque cabe mencionar que se puede deber al bajo porcentaje de esta especie (8%) en estado adulto, por el impacto ocasionado por la pesca excesiva que esta especie presenta, ya que es muy apreciada en la región.

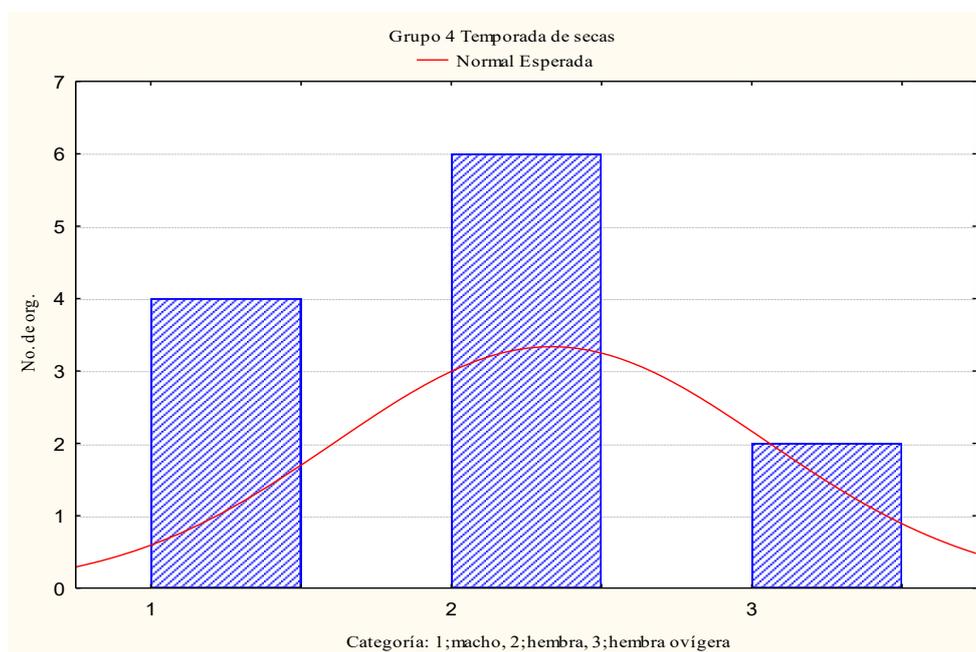


Fig. 31. Sexualidad del grupo 4 en temporada de secas.

Grupo 5 *Chirostoma attenuatum* Meek, 1902.

Es un pez de cuerpo un poco delgado, no muy comprimido, con escamas grandes con borde entero; especialmente las escamas predorsales son grandes, de arreglo y tamaño uniforme y en un número menor, con un abdomen un poco abultado y de cuerpo robusto. El cuerpo presenta un color ligeramente oliváceo, translúcido y la cabeza un poco oscura, por lo que es fácilmente distinguible en el campo.

Para el grupo 5, *Chirostoma attenuatum* se observan sus características morfométricas y merísticas promedio en la Figura 32 y Tabla 15, con un mínimo de longitud total (LT) de 85 mm y un máximo de 110 mm y un mínimo de longitud estándar (LST) de 70 mm y un máximo de 95 mm; así mismo un promedio de longitud cefálica (LC) de 20.41 mm.

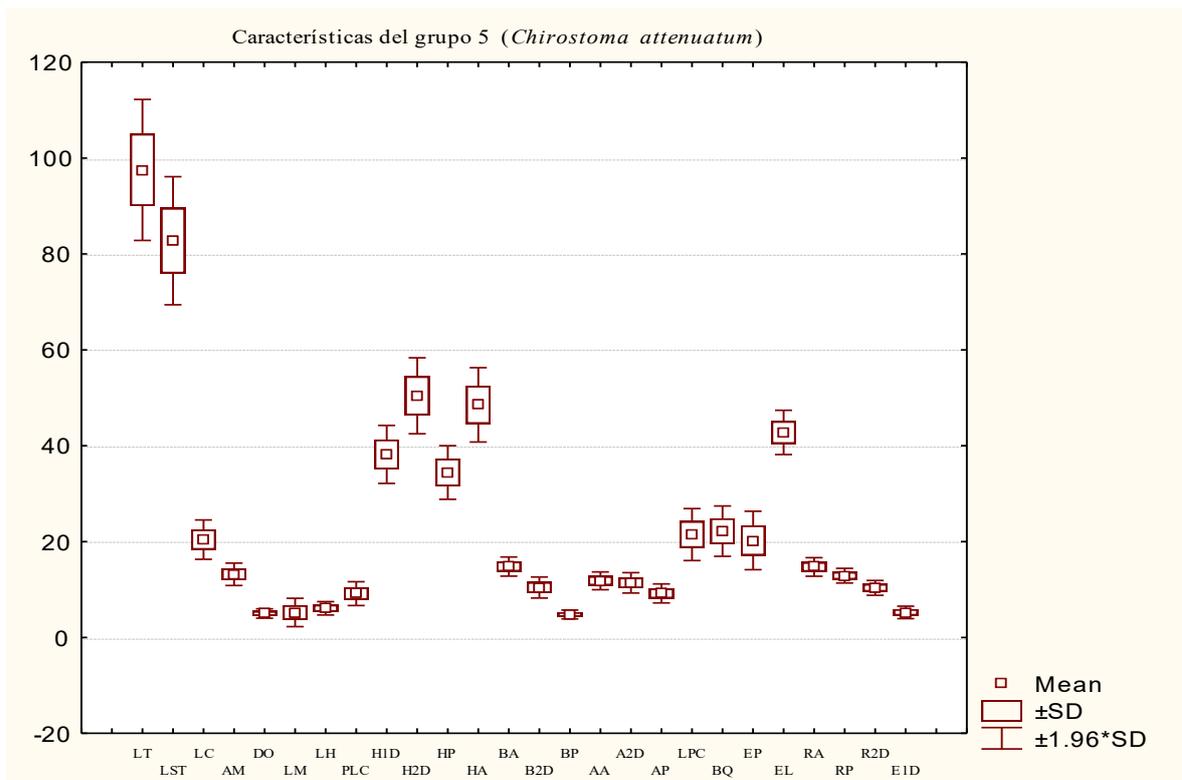


Fig. 32. Diagramas de caja para cada característica del grupo 5 *Chirostoma attenuatum*.

Con ayuda del análisis de factores (factorizando por ejes principales) en las Tablas 16 y 17 así como, las Fig. 33 y 34, se observan las siguientes características importantes:

*Hocico a la anal (HA: $\bar{x} = 48.53$ mm)

*Hocico a la primera dorsal (H1D: $\bar{x} = 38.18$ mm)

*Hocico a la segunda dorsal (H2D: $\bar{x} = 50.41$ mm)

*Post-orbital al largo de la cabeza (PLC: $\bar{x} = 9.15$ mm)

*Hocico a la pélvica (HP: $\bar{x} = 34.41$ mm)

*Base de la segunda dorsal (B2D: $\bar{x} = 10.41$ mm)

*Altura de la aleta pélvica (AP: $\bar{x} = 9.18$ mm)

*Diámetro del ojo (DO: $\bar{x} = 5$ mm)

*Largo del pedúnculo caudal (LPC: $\bar{x} = 21.47$ mm)

*Escamas predorsales (EP: $\bar{x} = 20.23$)

*Branquiespinas (BQ: $\bar{x} = 22.18$) y con una menor importancia por no ser considerada después de la rotación (VARIMAX) la altura de la segunda dorsal es (A2D: $\bar{x} = 11.38$ mm).

Tabla 15. Características morfométricas y merísticas del grupo 5, *Chirostoma attenuatum*.

Variables	Estadística Descriptiva (grupo 5)			
	Media	Mínimo	Máximo	Desv.Std.
LT	97.53	85.00	110.00	7.50
LST	82.76	70.00	95.00	6.81
LC	20.41	16.00	24.00	2.09
AM	13.18	12.00	16.00	1.18
DO	5.00	4.00	6.00	0.50
LM	5.21	4.00	8.00	1.51
LH	6.09	5.00	8.00	0.71
PLC	9.15	7.00	12.00	1.27
H1D	38.18	32.00	43.00	3.04
H2D	50.41	42.00	55.00	4.05
HP	34.41	29.00	40.00	2.85
HA	48.53	42.00	55.00	3.95
BA	14.79	13.00	17.00	1.02
B2D	10.41	8.00	13.00	1.12
BP	4.79	4.00	5.50	0.47
AA	11.82	10.00	13.00	0.95
A2D	11.38	10.00	14.00	1.08
AP	9.18	7.00	11.00	1.01
LPC	21.47	16.00	25.00	2.76
BQ	22.18	19.00	29.00	2.67
EP	20.23	15.00	27.00	3.11
EL	42.76	39.00	47.00	2.36
RA	14.71	13.00	16.00	0.98
RP	12.88	11.00	14.00	0.78
R2D	10.35	9.00	12.00	0.79
E1D	5.23	4.00	6.00	0.66

Cabe mencionar que entre los bajos valores merísticos que presenta, el más importante son las escamas de la línea lateral, tanto en número como en forma, así como el color oliváceo de su cuerpo más oscuro en la región de la cabeza, con lo que hace que esta especie sea más sencilla de identificar.

Asimismo, se observó la presencia de 41-44 vértebras, con una moda de 41 vértebras (Tabla 18).

La especie *Chirostoma attenuatum* se encontró en una baja proporción con respecto a los demás grupos de *Chirostoma* encontrados en el lago, como se puede ver en la Fig. 10, en tan sólo un 7%.

Tabla 16. Análisis de factores (Sin rotar) grupo 5;
Extracción: Factorizando por ejes principales;
(Peso marcado >.700000).

Variable	Factor 1	Factor 2
LT	0.92744*	-0.002382
LST	0.93456*	0.026196
LC	0.91836*	0.253829
AM	0.59021	0.140736
DO	0.71279*	0.534382
LM	0.60571	-0.131018
LH	0.50692	0.358512
PLC	0.82282*	-0.021877
H1D	0.87379*	-0.019614
H2D	0.86669*	0.043330
HP	0.78915*	0.123510
HA	0.90871*	0.123379
BA	0.39758	0.257421
B2D	0.74669*	0.138656
BP	0.57359	-0.350570
AA	0.44818	0.220262
A2D	0.71664*	0.058787
AP	0.73846*	0.165250
LPC	0.47524	-0.712615*
BQ	-0.52611	0.715718*
EP	-0.45923	0.750949*
EL	-0.19940	-0.106869
RA	-0.32356	0.142612
RP	-0.34167	0.494985
R2D	-0.31791	0.133809
E1D	-0.07195	0.067073
Exp. Var	11.08278	2.720246
% Total	0.42626	0.104625

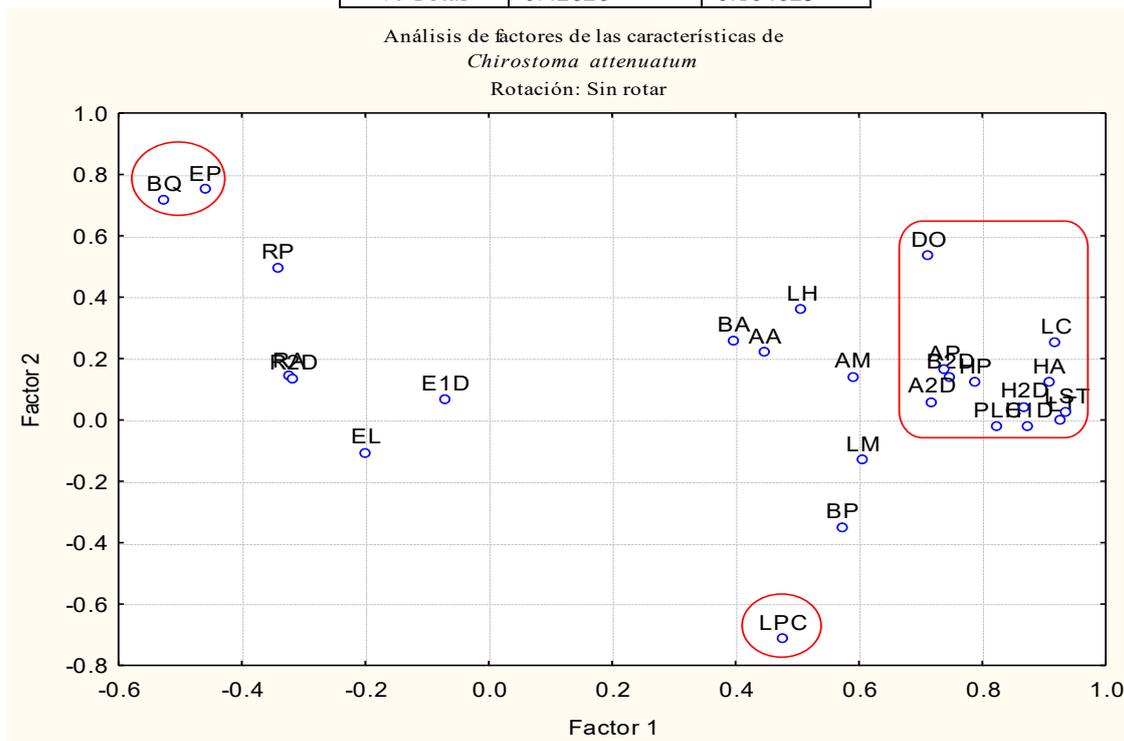


Fig. 33. Relación entre las variables del grupo 5, sin rotar.

Tabla 17. Análisis de factores (VARIMAX) grupo 5;
Extracción: Factorizando por ejes principales;
(Peso marcado >.700000).

Variable	Factor 1	Factor 2
LT	0.86674*	0.330017
LST	0.88350*	0.305800
LC	0.94880*	0.087132
AM	0.60186	0.076948
DO	0.85566*	-0.247969
LM	0.52031	0.336641
LH	0.60091	-0.156212
PLC	0.76199*	0.311278
H1D	0.81046*	0.327174
H2D	0.82607*	0.265784
HP	0.78187*	0.163375
HA	0.89367*	0.205753
BA	0.46290	-0.100287
B2D	0.74750*	0.134197
BP	0.41267	0.530671
AA	0.49710	-0.047646
A2D	0.69116	0.198292
AP	0.74920*	0.106411
LPC	0.19271	0.834589*
BQ	-0.23920	-0.855471*
EP	-0.16418	-0.864789*
EL	-0.22430	0.029497
RA	-0.25228	-0.247766
RP	-0.14468	-0.583797
R2D	-0.250010	-0.237533
E1D	-0.04360	-0.088174
Exp. Var	10.03817	3.764854
% Total	0.38608	0.144802

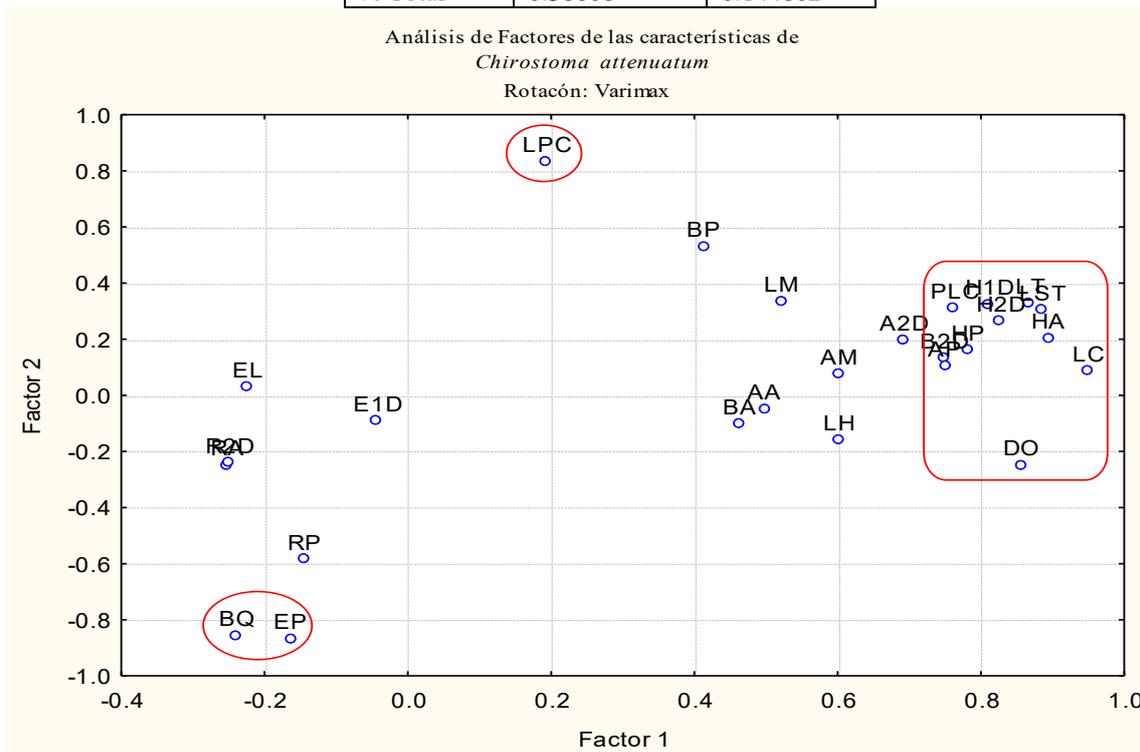


Fig. 34. Relación entre las variables del grupo 5, con rotación (VARIMAX).

Para las medidas expresadas en porcentaje, *Chirostoma attenuatum* (Tabla 19), presenta en la región de la cabeza un diámetro del ojo (DO) del 24.50% de la longitud cefálica, la longitud del maxilar (LM) del 25.53%, la longitud del hocico (LH) del 29.84% y el post-orbital largo de la cabeza (PLC) del 44.83%.

La amplitud máxima (AM) es del 15.92% de la longitud estándar y la longitud cefálica (LC) del 24.66% de la longitud estándar (ver Tabla 19). En cuanto a la localización de las aletas, la longitud de la base y su altura; del hocico a la primera aleta dorsal (H1D) del 46.13% de la longitud estándar, del hocico a la segunda aleta dorsal (H2D) del 60.91%, del hocico a la aleta pélvica (HP) del 41.58% y del hocico a la aleta anal (HA) del 58.63%. La base de la aleta anal (BA) del 17.87%, la base de la segunda aleta dorsal (B2D) del 12.58%, la base de la aleta pectoral (BP) del 5.79%. La altura de la aleta anal (AA) del 14.28%, la altura de la segunda aleta dorsal (A2D) del 13.75%, la altura de la aleta pélvica (AP) del 11.09% y el largo del pedúnculo caudal (LPC) del 25.94% (ver Tabla 19).

Chirostoma attenuatum se localizó principalmente en la zona norte del lago (Fig. 35), en Tzintzuntzan (53%), en bajas cantidades en el centro del lago, en la Pacanda (6%) y Cucuchucho (6%), así como de una cantidad regular en la parte sur del lago en Uranden (35%); por la localización encontrada se cree que se puede hallar en algunos otros sitios pero en muy bajo porcentaje (Fig 12).

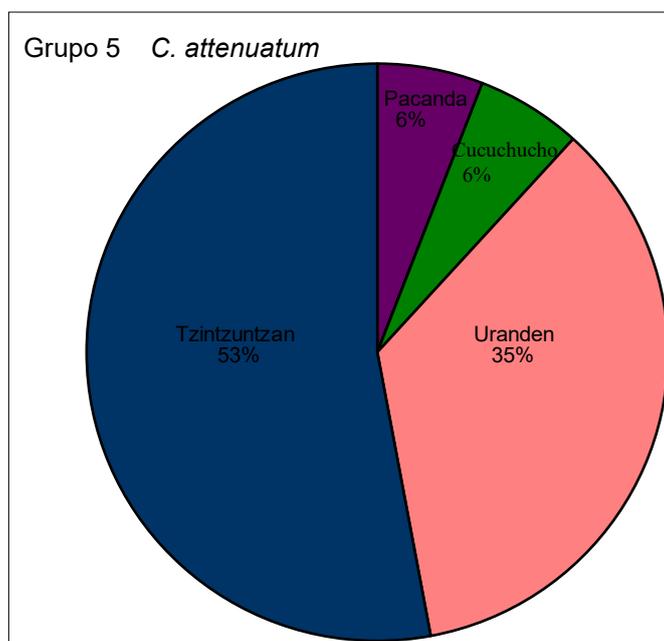


Fig. 35. Localización de *Chirostoma attenuatum* en el lago de Pátzcuaro, Mich.

En lo que se refiere a la abundancia de los sexos para *Chirostoma attenuatum*, se pudo observar en la temporada de secas una baja proporción de machos y hembras, y en mucho menor cantidad hembras ovígeras (Fig. 36): cabe mencionar que se reporta su reproducción de enero a mayo, siendo mayor en febrero. Tampoco encontramos en este estudio organismos en la temporada de lluvias, aunque posiblemente se deba al bajo porcentaje de esta especie (7%).

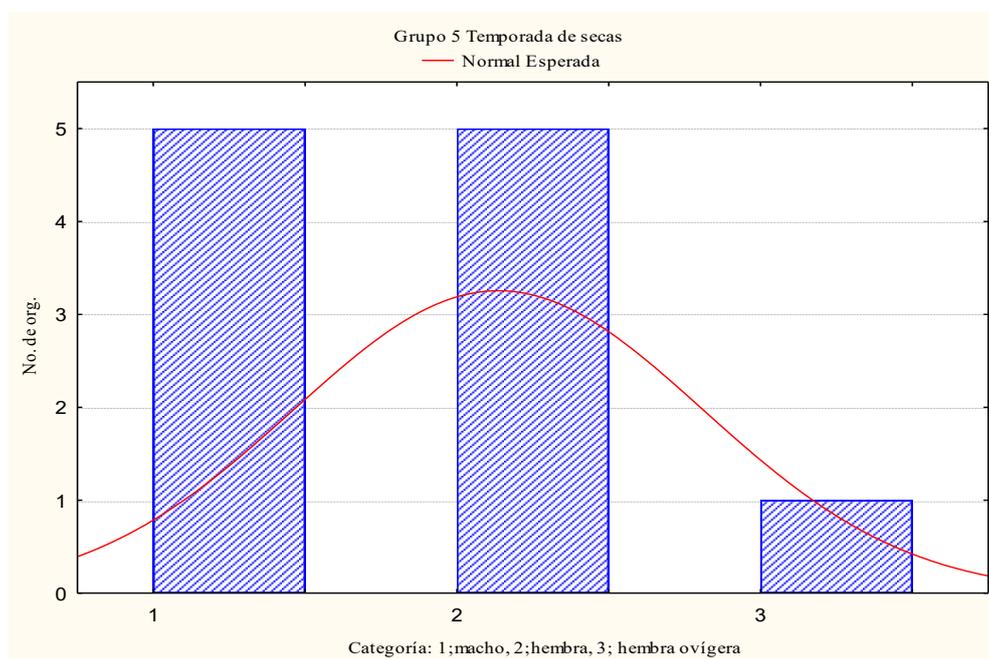


Fig. 36. Sexualidad del grupo 5 en temporada de secas.

***Chirostoma patzcuaro* Meck, 1902.**

No se encontraron ejemplares de esta especie en el presente trabajo. Por lo tanto, ya que esta especie endémica de Pátzcuaro al parecer no ha sido encontrada y no se ha recolectado en mucho tiempo, se recomienda y se sugiere se incluya y se le designe una categoría de riesgo para esta especie silvestres de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM 059-Ecol) que determina a las especies y subespecies de flora y fauna silvestre, terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras o probablemente extintas en el medio silvestre y las sujeta a protección especial, estableciendo especificaciones para su protección. A diferencia de lo que sucede con otros hábitats naturales, las especies asociadas a los lagos y los peces han recibido escaso interés en los programas de conservación, ya que los lagos han sido considerados sólo como reservorios de agua y los peces vistos como un recurso alimentario inagotable de fácil explotación para el hombre (Villaseñor, 2005).

Por medio del análisis de factores se pudo observar que para todos los grupos tiene importancia la longitud total (LT), la longitud estándar (LST) y la longitud cefálica (LC), además de las siguientes características:

Para el grupo 1 *Ch. grandocule*; del hocico a la primera aleta dorsal (H1D: $\bar{x} = 38.95$ mm), del hocico a la segunda aleta dorsal (H2D: $\bar{x} = 49.32$ mm), del hocico a la aleta anal (HA: $\bar{x} = 44.73$ mm) y del hocico a la aleta pélvica (HP: $\bar{x} = 32.82$ mm), cabe mencionar que para este grupo es importante la posición de las aletas (Tabla 18).

Para el grupo 2 *Chirostoma* sp. (híbrido *Ch. grandocule* x *Ch. estor*); del Hocico a la segunda aleta dorsal (H2D: $\bar{x} = 42.71$ mm), del hocico a la aleta pélvica (HP: $\bar{x} = 28.34$ mm), del hocico a la aleta anal (HA: $\bar{x} = 38.94$ mm); para este grupo es también importantes la posición de las aletas a excepción del hocico a la primera aleta dorsal (H1D) (Tabla 18).

Para el grupo 3 *Ch. estor* joven; del post-orbital al largo de la cabeza (PLC: $\bar{x} = 10.03$ mm), del hocico a la primera aleta dorsal (H1D: $\bar{x} = 44.59$ mm), del hocico a la segunda aleta dorsal (H2D: $\bar{x} = 56.09$ mm), la distancia del hocico a la aleta pélvica (HP: $\bar{x} = 37.50$ mm), del hocico a la aleta anal (HA: $\bar{x} = 51.97$ mm), la base de la aleta anal (BA: $\bar{x} = 19.16$ mm), la base de la segunda aleta dorsal (B2D: $\bar{x} = 11.09$ mm), la base de la aleta pectoral (BP: $\bar{x} = 5.25$ mm), altura de la segunda aleta dorsal (A2D: $\bar{x} = 12.22$ mm), la altura de la aleta pélvica (AP: $\bar{x} = 9.41$ mm) y los radios de la aleta anal (RA: $\bar{x} = 19.47$ mm); para este grupo es importante la posición de las aletas, las bases de las aletas, la altura de la segunda aleta dorsal (A2D), así como la altura de la aleta pélvica (AP); con menos importancia el largo del pedúnculo caudal (LPC) y los radios anales (RA) como única característica merística (Tabla 18).

Para el grupo 4 *Ch. estor* adulto; la altura máxima (AM: $\bar{x} = 29.50$ mm), el diámetro del ojo (DO: $\bar{x} = 9.17$ mm), la longitud del maxilar (LM: $\bar{x} = 12.56$ mm), la longitud del hocico (LH: $\bar{x} = 17.39$ mm), la distancia que va del post-orbital al largo de la cabeza (PLC: $\bar{x} = 22.67$ mm), del hocico a la primera aleta dorsal (H1D: $\bar{x} = 87.17$ mm), del hocico a la segunda aleta dorsal (H2D: $\bar{x} = 108.00$ mm), la distancia del hocico a la aleta pélvica (HP: $\bar{x} = 77.28$ mm), del hocico a la aleta anal (HA: $\bar{x} = 102.33$ mm), la base de la aleta anal (BA: $\bar{x} = 32.89$ mm), la base de la segunda aleta dorsal (B2D: $\bar{x} = 19.33$ mm), la base de la aleta pectoral (BP: $\bar{x} = 10.11$ mm), la altura

de la aleta anal (AA: \bar{x} = 22.28 mm), la altura de la segunda dorsal (A2D: \bar{x} = 21.17 mm), la altura de la aleta pélvica (AP: \bar{x} = 16.50 mm), la longitud del pedúnculo caudal (LPC: \bar{x} = 33.78 mm) y los radios de la segunda aleta dorsal (R2D: \bar{x} = 11.06). Con ayuda del análisis de factores, se resalta que en general para *Ch. estor* adulto son muy importantes todas las características morfométricas. Los radios de la segunda aleta dorsal (R2D), como única característica merística, pero la menos importante (Tabla 18).

Tabla 18. Comparación de las medidas morfométricas (mm) y merísticas del género *Chirostoma* encontrados en el Lago de Pátzcuero.

	<i>C. grandocule</i>		<i>Chirostoma</i> sp.		<i>C. estor</i> joven		<i>C. estor</i> adulto		<i>C attenuatum</i>	
	\bar{x}	Desv. Std.	\bar{x}	Desv. Std.	\bar{x}	Desv. Std.	\bar{x}	Desv. Std.	\bar{x}	Desv. Std.
LT	91.82	4.90	80.69	4.08	104.0	5.97	190.44	28.93	97.53	7.50
LST	76.91	4.14	67.49	3.48	87.78	5.26	163.39	25.20	82.76	6.81
LC	20.30	1.17	17.71	1.12	23.16	1.69	49.00	7.63	20.41	2.09
AM	13.83	1.03	11.96	1.04	16.0	1.74	29.50	5.95	13.18	1.18
DO	5.21	0.49	4.7	0.49	5.88	0.49	9.17	1.04	5.00	0.50
LM	4.13	0.34	3.7	0.49	4.66	0.48	12.56	2.64	5.21	1.51
LH	6.30	0.49	5.57	0.52	7.28	0.73	17.39	3.31	6.09	0.71
PLC	8.83	0.68	7.49	0.57	10.03	0.93	22.67	3.71	9.15	1.27
H1D	38.95	2.17	33.53	1.62	44.59	2.70	87.17	13.84	38.18	3.04
H2D	49.32	2.55	42.71	2.07	56.09	3.19	108.00	16.76	50.41	4.05
HP	32.82	2.07	28.34	1.95	37.50	2.60	77.28	12.75	34.41	2.85
HA	44.73	2.74	38.94	2.30	51.97	3.39	102.33	16.42	48.53	3.95
BA	17.40	1.42	15.57	0.98	19.16	1.35	32.89	5.04	14.79	1.02
B2D	9.95	0.65	8.73	0.81	11.09	0.93	19.33	3.48	10.41	1.12
BP	4.84	0.43	4.17	0.41	5.26	0.57	10.11	1.87	4.79	0.47
AA	12.02	0.78	10.88	0.63	13.28	1.32	22.28	2.95	11.82	0.95
A2D	11.22	0.79	10.14	0.61	12.22	0.97	21.17	2.81	11.38	1.08
AP	8.63	0.88	7.90	0.73	9.41	0.94	16.50	2.33	9.18	1.01
LPC	16.93	1.09	15.11	1.25	19.13	1.54	33.78	4.72	21.47	2.76
BQ	30.52	1.45	30.10	1.32	30.22	1.10	24.78	1.63	22.18	2.67
EP	41.74	4.25	39.24	4.89	44.88	8.18	64.17	8.44	20.23	3.11
EL	56.23	3.67	56.29	4.93	56.91	3.89	65.50	6.03	42.76	2.36
RA	19.44	0.92	19.54	1.03	19.47	1.22	19.39	0.78	14.71	0.98
RP	13.90	0.66	13.75	0.62	13.97	0.59	14.50	0.92	12.88	0.78
R2D	11.10	0.51	11.11	0.81	11.28	0.58	11.06	0.64	10.35	0.79
E1D	5.19	0.62	5.20	0.62	5.28	0.73	49.94	0.42	5.23	0.66
vertebras	42-45	moda = 44	42-45	moda = 44	39-46	moda = 44	43-46	moda = 45	41-44	moda = 41

Para el grupo 5, *Ch. attenuatum*; son importantes el diámetro del ojo (DO: \bar{x} = 5 mm), la distancia del post-orbital al largo de la cabeza (PLC: \bar{x} = 9.15 mm), del hocico a la primera aleta dorsal (H1D: \bar{x} = 38.18 mm), del hocico a la segunda aleta dorsal (H2D: \bar{x} = 50.41 mm), la distancia del hocico a la aleta pélvica (HP: \bar{x} = 34.41 mm), del hocico a la aleta anal (HA: \bar{x} = 48.53 mm), la base de la segunda aleta dorsal (B2D: \bar{x} = 10.4

lmm), la altura de la aleta pélvica (AP: \bar{x} = 9.18 mm), el largo del pedúnculo caudal (LPC: \bar{x} = 21.47 mm), las branquiespinas (BQ: \bar{x} = 22.18) y las escamas predorsales (EP: \bar{x} = 20.23). Son importantes para este grupo la posición de las aletas, la base de la segunda aleta dorsal (B2D) y la altura de la aleta pélvica (AP), para la zona de la cabeza del post-orbital al largo de la cabeza (PLC) y el diámetro del ojo (DO); asimismo es importante el largo del pedúnculo caudal (LPC). Los valores merísticos en general estos son bajos, especialmente las escamas predorsales (EP), ya que esta especie presenta escamas muy grandes (Tabla 18).

Para la forma del cuerpo podemos notar que los grupos 3 y 4 que corresponden a *Ch. estor* joven y adulto, son los más anchos (grupo 3 AM: 18.23% y grupo 4 AM: 18.05% la LST) y de pedúnculo caudal corto (grupo 3 LPC: 21.79% y grupo 4 LPC: 20.67% la LST). La longitud cefálica del grupo 3 *Ch. estor* joven (LC: 26.38% la LST) es muy semejante al grupo 1 *Ch. grandocule* (LC: 26.39% la LST) y el grupo 4 presenta los valores mayores de longitud cefálica (LC: 29.99% la LST). El grupo 5 *Ch. attenuatum* es el grupo más delgado (AM: 15.92% la LST), de pedúnculo caudal más largo (LPC: 25.94% la LST) y de cabeza más pequeña (LC: 24.66% la LST). Asimismo, los grupos 1 *Ch. grandocule* y 2 híbrido *Chirostoma* sp. (*Ch. grandocule* x *Ch. estor*) son muy semejantes en cuanto a la amplitud máxima (AM: 17.98% y 17.73% la LST), así como al largo del pedúnculo caudal (LPC: 22.01% y 22.39% la LSD (Tabla 19).

En cuanto a la posición y el tamaño de las aletas, el grupo 5 *Ch. attenuatum* presenta la primera (H1D 46.13% la LST) y segunda aleta dorsal (H2D 60.91% la LST), así como la aleta pélvica (HP 41.58% la LST) muy cercanas al hocico. Los grupos 3 y 4 *Ch. estor* presentan las distancias de estas aletas más lejanas al hocico. Para la base de la segunda aleta dorsal el grupo 1 *Ch. grandocule* y grupo 2 híbrido *Chirostoma* sp. (*Ch. grandocule* x *Ch. estor*) presentan el mismo valor (B2D: 12.94% la LST), el grupo 3 *Ch. estor* joven tiene un valor ligeramente menor (B2D: 12.63% la LST), notando que al crecer el organismo, este valor es menor en proporción a la longitud estandar en el grupo 4 *Ch. estor* adulto (B2D: 11.83% la LST). Para la altura de las aletas, el grupo 2 híbrido *Chirostoma* sp. (*Ch. grandocule* x *Ch. estor*) es el que presenta valores más altos en la aleta anal (AA: 16.12% la LST), la segunda dorsal (A2D: 15.02% la LST) y la aleta pélvica (AP: 11.71% la LST). Asimismo, el grupo 4 *Ch. estor* adulto es el grupo que

presenta los valores menores en cuanto a la altura de la aleta anal (AA: 13.64% la LST), la segunda dorsal (A2D: 12.96% la LST) y la pélvica (AP: 10.10% la LST) (Tabla 19).

Para las proporciones de la cabeza, la longitud del hocico es similar para el grupo 2 híbrido *Chirostoma* sp. (*Ch. grandocule* x *Ch. estor*) y el grupo 3 *Ch. estor* joven (con LH: 31.45% y LH: 31.43 la LC, respectivamente), seguidos por el grupo 1 *Ch. grandocule* (LH: 31.05% la LC), el grupo 5 *Ch. attenuatum* que presenta el menor valor en longitud del hocico (LH: 29.84% la LC). El grupo 4 *Ch. estor* adulto presenta ojos pequeños (DO 18.71% la LC) y una cabeza grande (LC 29.99% la LST), en cambio el grupo 2 híbrido *Chirostoma* sp. (*Ch. grandocule* x *Ch. estor*) presenta ojos grandes (DO 26.54% la LC) y una cabeza regular (LC 26.24% la LST). Los más semejantes en cuanto al diámetro del ojo son el grupo 1 *Ch. grandocule* (DO: 25.66% la LC) y el grupo 3 *Ch. estor* joven (DO: 25.39 % la LC). En cuanto del post-orbital al largo de la cabeza (PLC) el grupo 4 *Ch. estor* adulto presentó el mayor valor (PLC: 46.26% la LC), además, cómo ya se dijo, es de cabeza grande con valores mayores en cuanto a la longitud del maxilar (LM: 25.63% la LC) y la longitud del hocico (LH: 35.49% la LC) y es de ojo pequeño (DO: 18.71% la LC) (Tabla 19).

Tabla 19. Resultados en % con respecto a la longitud cefálica (LC) para medidas de la cabeza y longitud estándar (LST) para medidas del cuerpo.

	Grupo 1 <i>C. grandocule</i>	Grupo 2 Híbridos	Grupo 3 <i>C. estor</i> joven	Grupo 4 <i>C. estor</i> adulto	Grupo 5 <i>C. attenuatum</i>
	LC=20.3mm	LC=17.71mm	LC=23.16mm	LC=49.0mm	LC=20.41mm
DO	25.66 %	26.54 %	25.39 %	18.71 %	24.50 %
LM	20.34 %	20.89 %	20.12 %	25.63 %	25.53 %
LH	31.03 %	31.45 %	31.43 %	35.49 %	29.84 %
PLC	43.50 %	42.29 %	43.31 %	46.26 %	44.83 %
	LST=76.91mm	LST=67.49mm	LST=87.78mm	LST=163.39mm	LST=82.75mm
AM	17.98 %	17.73 %	18.23 %	18.05 %	15.92 %
LC	26.39 %	26.24 %	26.38 %	29.99 %	24.66 %
A1D	50.64 %	49.68 %	50.80 %	53.35 %	46.13 %
H2D	64.13 %	63.28 %	63.90 %	66.10 %	60.91 %
HP	42.67 %	41.99 %	42.72 %	47.30 %	41.58 %
HA	58.16 %	57.70 %	59.20 %	62.63 %	58.64 %
BA	22.62 %	23.07 %	21.83 %	20.13 %	17.87 %
B2D	12.94 %	12.94 %	12.63 %	11.83 %	12.58 %
BP	6.29 %	6.18 %	5.98 %	6.19 %	5.79 %
AA	15.63 %	16.12 %	15.13 %	13.64 %	14.28 %
A2D	14.59 %	15.02 %	13.92 %	12.96 %	13.75 %
AP	11.22 %	11.71 %	10.72 %	10.10 %	11.09 %
LPC	22.01 %	22.39 %	21.79 %	20.67 %	25.94 %

ANÁLISIS GENÉTICO

Para el análisis electroforético del género *Chirostoma* se incluyeron nueve enzimas [Malato deshidrogenasa dependiente del NAD (MDH-1), Isocitrato deshidrogenasa (IDH), Glicerol-3- fosfato deshidrogenasa (α -GPD), Malato deshidrogenasa dependiente del NADP (MDH-2), Fosfoglucona isomerasa (PGI), Fosfoglucomutasa (PGM), Lactato deshidrogenasa (LDH), Esterasa (EST) y Glutamato oxalacetato deshidrogenasa (GOT)]. Se obtuvieron en total 24 loci (MDH-1a, MDH-1b, MDH-1c, IDH-1, IDH-2, IDH-3, α -GPD, MDH-2a, MDH-2b, MDH-2c, LDH-1, LDH-2, LDH-3, EST-1, EST-2, EST-3, PGM-1, PGM-2, PGM-3, PGI-1, PGI-2, PGI-3, GOT-1 GOT-2). Se ajustaron dos sistemas de soluciones amortiguadoras gel/electrodo de tipo continuo con geles de almidón al 12.5%; el Sistema I: 0.155M de tris y 0.043 M de ácido cítrico a pH= 7.0 (Shaw y Prasad, 1970) para tres enzimas y el Sistema A: Tris-Citrato a pH=8.0 (Selander, *et. al*, 1986) para seis enzimas, como se puede ver en la Tabla 20. Asimismo, se presentan los tejidos que demostraron tener la mejor actividad para las distintas enzimas. Todas las enzimas migraron anodalmente.

Tabla 20. Sistemas enzimáticos empleados.

Sistema I: 0.155M de tris y 0.043M de ácido cítrico a pH= 7.0 (Shaw y Prasad, 1970)			
Enzima	locus	E.C. No.	Tejidos
Malato deshidrogenasa dependiente del NAD	MDH-1	1.1.1.37	músculo, ojo, hígado
Isocitrato deshidrogenasa dependiente del NADP	IDH	1.1.1.42	músculo, ojo, hígado
Glicerol-3-fosfato deshidrogenasa	α -GPD	1.1.1.8	músculo
Sistema A: Tris- Citrato a pH=8.0 (Selander, <i>et. al</i> , 1986)			
Enzima	locus	E.C. No	Tejidos
Malato deshidrogenasa dependiente del NADP	MDH-2	1.1.1.40	músculo, ojo, hígado
Fosfoglucona isomerasa	PGI	5.3.1.9	músculo, ojo, hígado
Fosfoglucomutasa	PGM	2.7.5.1	músculo, ojo, hígado
Lactato deshidrogenasa	LDH	1.1.1.27	músculo, ojo, hígado
Esterasa	EST	3.1.1.1	músculo, ojo, hígado
Glutamato oxalacetato deshidrogenasa	GOT	2.6.1.1	ojo, hígado

Se utilizaron en total 204 organismos y de cada uno se extrajeron tres muestras de tejido: ojo, músculo e hígado, y se analizó un total de 612 muestras de tejido. Los grupos 1 *C. grandocule*, 2 *Chirostoma sp* (Híbridos entre *C. grandocule* x *C. estor*) y 3 *C. estor estor* joven, quedaron bien representados. Sin embargo, en el grupo 4 *Chirostoma estor*

estor y el grupo 5 *Chirostoma attenuatum*, se encontraron pocos individuos y no fueron suficientes los resultados genéticos para realizar un análisis estadístico sólido de estos grupos. No obstante, se presentan en el anexo I los resultados genéticos obtenidos para estos dos grupos.

FRECUENCIAS ALÉLICAS

En la distribución de las frecuencias alélicas (Tabla 21), doce de los veinticuatro loci, (MDH-1a, MDH-2b, MDH-1c, IDH-2, IDH-3, α -GDP, MDH-2c, LDH-1, LDH-3 EST-1, EST-2 y GOT-2,) presentaron, en los tres grupos de organismos, una mayor frecuencia para el alelo (a) detectado en estado heterocigoto. Las frecuencias alélicas en cinco loci (IDH-1, MDH-2a, EST 3 PGM-2 y PGI-1), en los tres grupos, detectados en estado igualmente heterocigoto, presentaron una mayor frecuencia para el alelo (b).

Asimismo, se puede observar que casi todos los loci en los tres tipos de tejido presentaron 2 alelos en los tres grupos analizados. Sólo los loci PGM-1, PGM-2 y PGM-3 presentaron 3 alelos en las tres poblaciones.

Tabla 21. Frecuencias alélicas (a, b), P-value, heterocigosis observada (Hobs), Heterocigosis esperada (Hesp), índice de fijación (F). Al final de la tabla, heterocigosis media por locus, porcentaje de loci polimórfico (P) y número de alelos por locus para cada población (A). El número de muestras en paréntesis, [e. e.= error estándar], > 5%; No significativo: < 5%; *: < 1%; **: < 0.1%; *** Altamente significativo

Locus	Alelos	Grupo 1 <i>C. grandocule</i> (n=82)	Grupo 2 Híbrido (n=83)	Grupo 3 <i>C. estor</i> juvenil (n=32)
MDH-1a	a	0.617	0.572	0.667
	b	0.383	0.428	0.333
	n	81	76	30
	P-value	<0.001	<0.01	<0.01
	Hobs	0.683***	0.653**	0.667**
	Hesp	0.470	0.491	0.444
MDH-1b	F	-0.458	-0.311	-0.487
	a	0.500	0.500	0.500
	b	0.500	0.500	0.500
	n	82	82	32
	P	<0.001	<0.001	<0.001
	Hobs	1.000***	1.000***	1.000***
MDH-1c	Hesp	0.500	0.500	0.500
	F	-1	-1	-1
	a	0.590	0.738	0.647
	b	0.410	0.262	0.353
	n	50	42	17
	P	<0.001	0.924	0.235
MDH-1c	Hobs	0.740***	0.381	0.588
	Hesp	0.484	0.387	0.457

	F	-0.522	0.027	-0.260
IDH-1	a	0.375	0.324	0.406
	b	0.625	0.676	0.594
	n	72	74	32
	P	<0.01	0.678	0.348
	Hobs	0.639**	0.459	0.563
	Hesp	0.469	0.438	0.482
	F	-0.357	-0.042	-0.151
IDH-2	a	0.665	0.720	0.672
	b	0.335	0.280	0.328
	n	82	82	32
	P	<0.001	<0.001	<0.01
	Hobs	0.651***	0.556***	0.656**
	Hesp	0.447	0.401	0.441
	F	-0.445	-0.385	-0.476
IDH-3	a	0.530	0.508	0.688
	b	0.470	0.492	0.313
	n	67	64	24
	P	<0.001	<0.001	0.533
	Hobs	0.279***	0.270***	0.375
	Hesp	0.497	0.500	0.430
	F	0.437	0.475	0.148
α -GDP	a	0.659	0.645	0.719
	b	0.341	0.355	0.281
	n	82	83	32
	P	<0.01	<0.01	0.642
	Hobs	0.614**	0.585**	0.438
	Hesp	0.451	0.457	0.404
	F	-0.350	-0.283	-0.066
MDH-2a	a	0.459	0.391	0.283
	b	0.541	0.609	0.717
	n	61	46	23
	P	0.554	0.979	0.059
	Hobs	0.459	0.478	0.565
	Hesp	0.497	0.476	0.405
	F	0.084	0.007	-0.375
MDH-2b	a	0.702	0.651	0.703
	b	0.280	0.349	0.297
	n	82	83	32
	P	0.427	0.062	0.879
	Hobs	0.446	0.354	0.406
	Hesp	0.406	0.454	0.417
	F	-0.082	0.211	0.043
MDH-2c	a	0.595	0.667	0.615
	b	0.405	0.333	0.385
	n	42	30	13
	P	<0.01	<0.01	<0.05
	Hobs	0.238**	0.200**	0.154*
	Hesp	0.482	0.444	0.473
	F	0.515	0.562	0.696
	a	0.603	0.583	0.640
	b	0.397	0.417	0.360
	n	58	54	25

LDH-1	P	0.302	0.184	0.509
	Hobs	0.414	0.574	0.400
	Hesp	0.479	0.486	0.461
	F	0.144	-0.172	0.152
LDH-2	a	0.493	0.438	0.532
	b	0.507	0.562	0.468
	n	71	73	31
	P	<0.001	<0.001	<0.001
	Hobs	0.931***	0.875***	0.935***
	Hesp	0.500	0.492	0.498
LDH-3	F	-0.858	-0.778	-0.875
	a	0.708	0.575	0.583
	b	0.292	0.425	0.417
	n	48	40	18
	P	<0.05	<0.001	<0.01
	Hobs	0.286*	0.103***	0.167**
EST-1	Hesp	0.425	0.484	0.486
	F	0.304	0.800	0.673
	a	0.711	0.750	0.726
	b	0.289	0.250	0.274
	n	76	78	31
	P	<0.05	<0.01	0.230
EST-2	Hobs	0.526*	0.500**	0.484
	Hesp	0.411	0.375	0.398
	F	-0.273	-0.328	-0.200
	a	0.750	0.623	0.633
	b	0.250	0.377	0.367
	n	70	69	30
EST-3	P	0.300	0.101	0.122
	Hobs	0.338	0.368	0.333
	Hesp	0.378	0.469	0.464
	F	0.131	0.205	0.298
	a	0.257	0.267	0.352
	b	0.743	0.733	0.648
PGM-1	n	68	73	27
	P	0.112	0.189	<0.01
	Hobs	0.449	0.458	0.704**
	Hesp	0.379	0.395	0.456
	F	-0.186	-0.148	-0.529
	a	0.372	0.563	0.161
PGM-2	b	0.474	0.369	0.597
	c	0.154	0.069	0.242
	n	78	80	31
	P	<0.001	<0.001	<0.01
	Hobs	0.564***	0.425***	0.806**
	Hesp	0.613	0.543	0.559
PGM-2	F	0.086	0.223	-0.429
	a	0.321	0.263	0.219
	b	0.438	0.375	0.484
	c	0.241	0.363	0.297
	n	81	80	32
	P	<0.01	<0.01	0.066
PGM-2	Hobs	0.829**	0.823**	0.813

	Hesp	0.646	0.658	0.629
	F	-0.273	-0.246	-0.276
PGM-3	a	0.357	0.373	0.341
	b	0.277	0.402	0.136
	c	0.366	0.225	0.523
	n	56	51	22
	P	<0.01	<0.001	<0.05
	Hobs	0.474**	0.260***	0.500*
	Hesp	0.661	0.647	0.592
	F	0.307	0.583	0.178
PGI-1	a	0.494	0.469	0.468
	b	0.506	0.531	0.532
	n	81	81	31
	P	<0.001	<0.001	<0.001
	Hobs	0.963***	0.914***	0.871***
	Hesp	0.500	0.498	0.498
	F	-0.925	-0.832	-0.742
PGI-2	a	0.500	0.494	0.500
	b	0.500	0.506	0.500
	n	82	83	32
	P	<0.001	<0.001	<0.001
	Hobs	1.000***	0.988***	1.000***
	Hesp	0.500	0.500	0.500
	F	-1	-0.976	-1
PGI-3	a	0.432	0.528	0.479
	b	0.568	0.472	0.521
	n	59	53	24
	P	<0.001	<0.001	<0.05
	Hobs	0.750***	0.769***	0.708*
	Hesp	0.493	0.499	0.499
	F	-0.548	-0.507	-0.401
GOT-1	a	0.457	0.413	0.500
	b	0.543	0.587	0.500
	n	71	69	26
	P	<0.05	<0.05	<0.05
	Hobs	0.620*	0.368*	0.692*
	Hesp	0.498	0.482	0.500
	F	-0.260	0.260	-0.368
GOT-2	a	0.524	0.507	0.635
	b	0.476	0.493	0.365
	n	62	68	26
	P	<0.001	<0.001	<0.05
	Hobs	0.242***	0.191***	0.269*
	Hesp	0.499	0.500	0.464
	F	0.521	0.622	0.435
Heterocigosis media por locus		0.4869 e. e. 0.015	0.4823 e. e. 0.014	0.4774 e. e. 0.011
% de polimorfismo (P)		100	100	100
No. de alelos por locus (A)		2.125 e. e. 0.07	2.125 e. e. 0.07	2.125 e. e. 0.07

VARIACIÓN GENÉTICA

El polimorfismo (P) se midió con los criterios del 95 y 99% y consiste en la variación que se presenta en los individuos. En este estudio se encontró para ambos criterios un polimorfismo promedio del 100% para los tres grupos de especies (*Chirostoma grandocule*, *Chirostoma* sp. y *C. estor* joven), analizando los tejidos; ocular, de músculo e hígado.

En cuanto al número promedio de alelos por locus o riqueza alélica (A), en todos los análisis se encontró de 2.125 (Tabla 21). Por último, en cuanto a la heterocigosidad promedio por locus obtenida (H), en donde los índices van de 0 si no hay variación genética a un máximo de teórico de 1, en general se mostraron valores altos y muy semejantes; en el grupo 1 (*C. grandocule*) (H= 0.4869), en el grupo 2 (híbridos entre *C. grandocule* x *C. estor*) (H= 0.4823) y en el grupo 3 (*Chirostoma estor* joven) (H= 0.4774).

Para comprobar si existen diferencias significativas entre los valores de Heterocigosidad esperada (H_e) según Hardy-Weinberg y heterocigosidad observada (H_o) (Tabla 21) se empleó la prueba de Chi cuadrada (χ^2) con valores de probabilidad (p) mayores al nivel de significancia de $p= 0.05$, con la cual se pudo observar que para el grupo 1 (*C. grandocule*) en el análisis para cada locus polimorfo, se encontró que en la mayoría de los loci (19 de 24) presentaban diferencias significativas, por lo que se piensa que la población no está en equilibrio de Hardy-Weinberg, debido a un exceso de heterocigotos. De la misma manera para el grupo 2 *Chirostoma* sp. (híbridos entre *C. grandocule* x *C. estor*), la mayoría de los loci (17 de 24) presentan diferencias significativas y la población no está en equilibrio; de igual manera en el grupo 3 (*C. estor* joven) se presentaron 14 de 24 loci significativos (Tabla 22). Para poder saber si existía una diferencia significativa entre el número de loci de cada grupo, éstos se compararon utilizando la prueba de Kruskal-Wallis, mediante la cual se encontró que no eran significativamente diferentes entre sí.

Tabla 22. Resumen de las pruebas de ji-Cuadrada para el equilibrio de Hardy- Weinberg
 claves: ns= no significativa, *P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001

Locus	<i>Chirostoma grandocule</i>			<i>Chirostoma sp.</i>			<i>Chirostoma estor joven</i>		
	X ²	P	Signif.	X ²	P	Signif.	X ²	P	Signif.
MDH-1a	17.381	0.000	***	7.640	0.006	**	7.500	0.006	**
MDH-1b	82.000	0.000	***	82.000	0.000	***	32.000	0.000	***
MDH-1c	14.022	0.000	***	0.009	0.924	ns	1.409	0.235	ns
IDH-1	9.485	0.002	**	0.173	0.678	ns	0.882	0.348	ns
IDH-2	16.596	0.000	***	12.461	0.000	***	7.632	0.006	**
IDH-3	12.435	0.000	***	14.055	0.000	***	0.389	0.533	ns
αGDP-1	10.382	0.001	**	6.906	0.009	**	0.216	0.642	ns
MDH-2a	0.350	0.554	ns	0.001	0.979	ns	3.569	0.059	ns
MDH-2b	0.631	0.427	ns	3.487	0.062	ns	0.023	0.879	ns
MDH-2c	10.749	0.001	**	9.075	0.003	**	5.923	0.015	*
LDH-1	1.063	0.302	ns	1.768	0.184	ns	0.435	0.509	ns
LDH-2	52.453	0.000	***	44.469	0.000	***	23.940	0.000	***
LDH-3	4.152	0.042	*	25.306	0.000	***	7.773	0.005	**
EST-1	5.935	0.015	*	8.667	0.003	**	1.442	0.230	ns
EST-2	1.073	0.300	ns	2.696	0.101	ns	2.391	0.122	ns
EST-3	2.524	0.112	ns	1.744	0.187	ns	7.957	0.005	**
PGM-1	24.135	0.000	***	19.313	0.000	***	14.153	0.003	**
PGM-2	13.260	0.004	**	12.958	0.005	**	7.205	0.066	ns
PGM-3	12.636	0.005	**	34.916	0.000	***	8.433	0.038	*
PGI-1	69.488	0.000	***	56.360	0.000	***	17.401	0.000	***
PGI-2	82.000	0.000	***	79.095	0.000	***	32.000	0.000	***
PGI-3	18.108	0.000	***	14.018	0.000	***	4.216	0.040	*
GOT-1	4.970	0.026	*	4.408	0.036	*	3.846	0.050	*
GOT-2	16.444	0.000	***	25.934	0.000	***	4.575	0.032	*

Indice de Fijación (F) para cada grupo de especies.

Para el grupo 1 (*Chirostoma grandocule*), el promedio del índice de Fijación F fue de -0.2087; los índices de Fijación mínimo y máximo fueron de F = -1 a F = 0.5210; del total del índice de fijación F por locus, 9 fueron positivos (de los cuales, 6 fueron significativamente diferentes de cero) y 15 negativos (13 significativamente diferentes de cero). Para el grupo 2 (híbridos entre *C. grandocule* x *C. estor*), el promedio del índice de Fijación F fue de -0.0870; los índices de Fijación mínimo y máximo fueron de F = -1 a F = 0.800; del total del índice de fijación F por locus, 11 fueron positivos (de los cuales, 7 fueron significativamente diferentes de cero) y 13 negativos (10 significativamente diferentes de cero). Para el grupo 3 (*C. estor joven*) el promedio del índice de Fijación F fue de -0.2088; los índices de Fijación F fue de F = -1 a F = 0.6960; del total del índice de fijación F por locus, 8 fueron positivos (de los cuales, 4 fueron significativamente diferentes de cero) y 16 negativos (10 significativamente diferentes de cero). Los índices de fijación promedio para cada grupo fueron negativos, indicando un exceso de heterocigotos, y la mayoría de los índices de fijación F fueron negativos, indicando más heterocigotos de los esperados por Hardy-Weinberg (Tabla 21).

ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA GENÉTICA

ESTADÍSTICOS-F de Wright

Se presentan las estimaciones promedio de los índices de fijación (F_{ST} , F_{IS} y F_{IT}), calculadas a partir de todos los loci analizados de los tres grupos de especies (*Chirostoma grandocule*, *Chirostoma* sp. y *C. estor* joven). Para observar si las F_{IS} , F_{ST} y F_{IT} fueron estadísticamente diferentes de cero se evaluaron bajo un análisis de Chi-cuadrada (χ^2).

* F_{ST} ; o índice de fijación.

En cuanto a este dato podemos darnos cuenta que se encontró un valor cercano a cero ($F_{ST} = 0.0107$), por lo tanto, el valor de diferenciación genética es bajo, y por medio de una chi-cuadrada (χ^2) se comprobó que F_{ST} no difiere significativamente de cero, esto indica que los tres grupos de especies comparten muchos alelos entre si; además, que existe un flujo génico importante entre los grupos de especies comparados. Si el valor fuera $F = 0$ sabríamos que las poblaciones son idénticas genéticamente hablando, esto puede deberse a que existe un alto flujo génico entre los tres grupos de especies y baja deriva génica (Tabla 23).

Tabla 23. Estadístico F de Wright (F_{ST}), comparando los tres grupos de especies (*Chirostoma grandocule*, *Chirostoma* sp. y *C. estor* joven).

Locus	F_{ST}	χ^2	P	Signif.
MDH-1a	0.0046	1.72	0.40<P<0.45	ns
MDH-1b	0.0000	0.00	0.99<P<0.995	ns
MDH-1c	0.0204	4.45	0.10<P<0.15	ns
IDH-1	0.0044	1.57	0.45<P<0.50	ns
IDH-2	0.0032	1.25	0.50<P<0.55	ns
IDH-3	0.0154	4.77	0.05<P<0.10	ns
α -GDP	0.0029	1.14	0.55<P<0.60	ns
MDH-2a	0.0170	4.42	0.05<P<0.10	ns
MDH-2b	0.0048	1.89	0.35<P<0.40	ns
MDH-2c	0.0045	0.76	0.65<P<0.70	ns
LDH-1	0.0017	0.46	0.75<P<0.80	ns
LDH-2	0.0051	1.78	0.40<P<0.45	ns
LDH-3	0.0183	3.88	0.10<P<0.15	ns
EST-1	0.0017	0.63	0.40<P<0.45	ns
EST-2	0.0171	5.78	0.05<P<0.10	ns
EST-3	0.0055	1.85	0.35<P<0.40	ns
PGM-1	0.0512	38.71	P<0.001	***
PGM-2	0.0095	7.33	0.10<P<0.15	ns
PGM-3	0.0304	15.69	0.001<P<0.005	*
PGI-1	0.0006	0.23	0.85<P<0.90	ns
PGI-2	0.0000	0.00	0.99<P<0.995	ns
PGI-3	0.0076	2.07	0.35<P<0.40	ns
GOT-1	0.0039	1.29	0.50<P<0.55	ns
GOT-2	0.0082	2.56	0.25<P<0.30	ns
Error est.	0.0221	0.58		
Desv. Est	0.0117	8.04		
Promedio	0.0107	1.73		

* F_{IS} ; determina el grado de endogamia de la población.

La F_{IS} describe la distribución de los genotipos dentro de las poblaciones, y nos indica qué tan lejos se encuentra una población del equilibrio de Hardy-Weinberg (por ejemplo, las frecuencias de genotipos que se obtendrían si los apareamientos son al azar). La F_{IS} es de 0 si las poblaciones se encuentran en las proporciones esperadas si los apareamientos fueran estrictamente al azar (Hardy-Weinberg), y puede llegar hasta 1 si sólo se encuentran individuos homocigos en la población (lo cual generalmente es una consecuencia de la endogamia extrema). Si la F_{IS} es negativa, quiere decir que se tiene un exceso de heterocigos. Por lo tanto, podemos apreciar en general que se presenta un exceso de heterocigotos en los tres grupos de especies ($F_{IS} = -0.1627$), con uniones entre organismos que prefieren aparearse con individuos que no sean parientes pero que tampoco estén demasiado lejanos en cuanto a parentesco (exogamia) (Tabla 24). Por medio de la chi-cuadrada (χ^2) se pudo observar que el valor promedio de F_{IS} es significativamente distinto de cero.

Tabla 24. Estadístico F de Wright (F_{IS}), comparando los tres grupos de especies (*Chirostoma grandocule*, *Chirostoma* sp. y *C. estor* joven).

Locus	F_{IS}	χ^2	P	Signif.
MDH-1a	-0.4075	31.05	P<0.001	***
MDH-1b	-1.0000	196.00	P<0.001	***
MDH-1c	-0.3072	10.29	0.001<P<0.005	**
IDH-1	-0.2007	7.17	0.005<P<0.01	**
IDH-2	-0.4326	36.68	P<0.001	***
IDH-3	0.4054	25.47	P<0.001	***
α -GDP	-0.2863	16.15	P<0.001	***
MDH-2a	-0.0238	0.07	0.75<P<0.80	ns
MDH-2b	0.0617	0.75	0.35<P<0.40	ns
MDH-2c	0.5469	25.42	P<0.001	***
LDH-1	0.0081	0.008	0.90<P<0.95	ns
LDH-2	-0.8302	120.61	P<0.001	***
LDH-3	0.5637	33.68	P<0.001	***
EST-1	-0.2903	15.59	P<0.001	***
EST-2	0.1872	5.92	0.01<P<0.02	*
EST-3	-0.2408	9.74	0.001<P<0.005	**
PGM-1	0.0515	1.002	0.80<P<0.85	ns
PGM-2	-0.2693	27.99	P<0.001	***
PGM-3	0.3868	38.60	P<0.001	***
PGI-1	-0.8593	142.51	P<0.001	***
PGI-2	-0.9900	193.07	P<0.001	***
PGI-3	-0.5144	35.99	P<0.001	***
GOT-1	-0.0714	0.841	0.35<P<0.40	ns
GOT-2	0.5453	46.39	P<0.001	***
Error est.	0.1399	1.559		
Desv. Est	0.4698	58.373		
Promedio	-0.1627	2.1442		

* F_{IT} ; Mide la endogamia total

Con el resultado obtenido ($F_{IT} = -0.1502$) podemos ver que hay una gran variabilidad genética dada por la presencia de heterocigotos (Tabla 25). Si el resultado hubiera sido positivo podríamos decir que en las poblaciones estudiadas la selección favorece a los homocigotos. Por medio de la chi cuadrada (χ^2), se observó que el valor promedio de F_{IT} es significativamente distinto de cero, por lo tanto, se favorece la presencia de los heterocigotos.

Tabla 25. Estadísticos F de Wriht (F_{IT}), comparando los tres grupos de especies (*Chirostoma grandocule*, *Chirostoma* sp. y *C. estor* joven).

Locus	F_{IT}	χ^2	P	Signif.
MDH-1a	-0.4010	30.07	P<0.001	***
MDH-1b	-1.0000	196.00	P<0.001	***
MDH-1c	-0.2806	8.58	0.001<P<0.005	**
IDH-1	-0.1954	6.80	0.005<P<0.01	**
IDH-2	-0.4281	35.92	P<0.001	***
IDH-3	0.4146	26.64	P<0.001	***
α -GDP	-0.2826	15.73	P<0.001	***
MDH-2a	-0.0065	0.005	0.90<P<0.95	ns
MDH-2b	0.0662	0.86	0.35<P<0.40	ns
MDH-2c	0.5489	25.61	P<0.001	***
LDH-1	0.0097	0.012	0.90<P<0.95	ns
LDH-2	-0.8209	117.92	P<0.001	***
LDH-3	0.5717	34.64	P<0.001	***
EST-1	-0.2881	15.35	P<0.001	***
EST-2	0.2011	6.83	0.005<P<0.01	**
EST-3	-0.2340	9.20	0.001<P<0.005	**
PGM-1	0.1000	3.78	0.25<P<0.30	ns
PGM-2	-0.2573	25.55	P<0.001	***
PGM-3	0.4054	42.40	P<0.001	***
PGI-1	-0.8581	142.11	P<0.001	***
PGI-2	-0.9899	193.04	P<0.001	***
PGI-3	-0.5029	34.39	P<0.001	***
GOT-1	-0.0672	0.74	0.35<P<0.40	ns
GOT-2	0.5490	47.01	P<0.001	***
Error est.	0.1403	1.557		
Desv. Est	0.4722	58.18		
Promedio	-0.1502	1.827		

FLUJO GÉNICO (Nm).

Al calcular el flujo génico (Nm), se obtuvo para un $F_{st}=0.0107$ un flujo génico $Nm=23.1144$ individuos que migran por generación en los tres grupos de especies (*Chirostoma grandocule*, *Chirostoma* sp y *C. estor* joven). Fundamentalmente, el flujo génico consiste en el movimiento de genes de una población a otra. Se puede observar que si el valor obtenido de Nm o número de migrantes efectivos es mayor que 1,

predomina el flujo génico y además, marca de moderada a poca divergencia. No hay que olvidar que los valores calculados de Nm dependen directamente de la estimación de la F_{st} , y la estimación final de Nm reflejará los errores del sesgo que haya en la estimación de la F_{st} (Piñero, 2008). Por lo que cabe mencionar que el valor de Nm debe de ser tomado con cautela.

DISTANCIAS E IDENTIDADES GENÉTICAS DE NEI.

La distancia genética de Nei indica la diferencia que existe entre dos poblaciones desde el punto de vista genético. Asumimos que cuanto más parecidas sean las frecuencias génicas de dos poblaciones, el grado de diferenciación entre ellas es menor. La falta de divergencia genética entre poblaciones resulta en distancia $D= 0$. Por lo tanto, podemos observar (Tabla 26) que los tres grupos son muy parecidos, aunque el grupo 1 y el grupo 2 son los más cercanos con una distancia de Nei de 0.009621, seguidos por el grupo 1 y el 3 con 0.012532 y por último el grupo 2 y el 3 con 0.020428.

Tabla 26. Valores de Identidades genéticas y distancias de Nei.

Distancia de NEI			
	Grupo-1	Grupo-2	Grupo-3
Grupo-1	****	0.009621	0.012532
Grupo-2	0.990426	****	0.020428
Grupo-3	0.987546	0.979779	****

Identidad Genética

Para la identidad genética (similitud), si las dos poblaciones son idénticas, entonces $J_{xy}=J_{xx}=J_{yy}$ y la identidad normalizada es igual a 1. Por lo tanto, los grupos con mayor similitud son el grupo 1 (*C. grandocule*) y 2 (híbrido entre *C. grandocule* x *C. estor*) (0.990426), seguido por los grupos 1 y 3 (*C. estor* joven) (0.987546), y por último los grupos 2 y 3 (0.979779) aunque también se considera una alta identidad genética.

La identidades genéticas de Nei tienen un intervalo de 0.979779 a 0.990426 con un promedio de $I=0.98592$, indicando que las tres poblaciones locales estudiadas son muy parecidas genéticamente.

ANÁLISIS CLUSTER

Una vez obtenida la matriz de distancia, fue posible construir el dendrograma, el cual nos indica las relaciones entre los grupos de especies, asumiendo que la tasa de cambio es constante a lo largo del tiempo y similar en los grupos.

Para el dendrograma de distancia es:

Farris (1972) 'f' = 0.030

Prager y Wilson (1976) 'F' = 10.435

Porcentaje de desviación estándar (Fitch y Margoliash, 1967) = 14.900

Correlación cofenética = 0.681

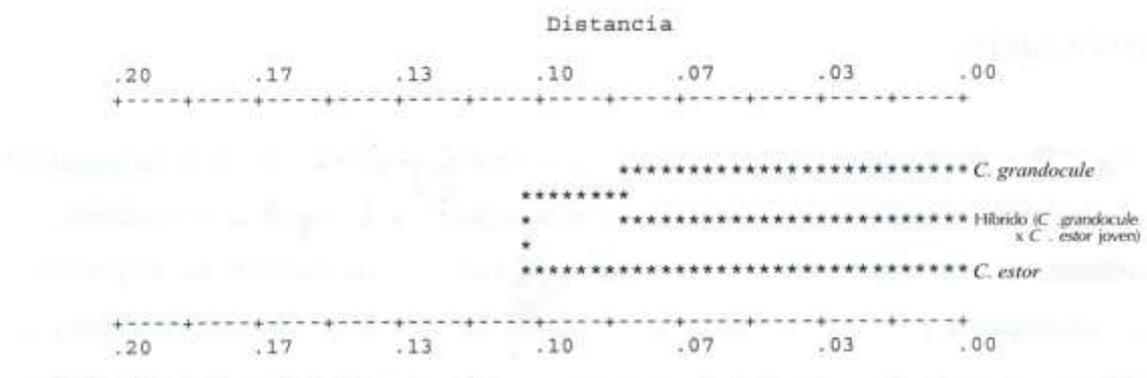


Fig. 37. Dendrograma de distancia.

DISCUSION

Con base en los resultados de los **Factores Físicoquímicos**, podemos ver que la temperatura es ligeramente homogénea en todo el lago. En la temporada de secas, la temperatura de la superficie no varió mucho en el norte y centro del lago, con un aumento de temperatura de aproximadamente 1.5° C hacia la parte sur del mismo, es decir, en el seno Erongarícuaro y seno Ihuatzio. A media agua, en el norte y centro la temperatura también fue homogénea y al compararla con el sur se incrementó 2° C, lo cual puede deberse a la poca profundidad que presenta el lago en esta zona que es de 2 a 3 metros (Fig. 3). En la temporada de lluvias la temperatura en todo el año fue homogénea, aunque aumentó ligeramente con respecto a la temporada de secas en la parte norte y centro del lago. En la superficie aumentó 2.5° C, a media agua el aumento fue de 2.0° C y en el fondo 2.5° C. En la parte sur del lago no hubo mucho cambio de la

temporada de secas a la de lluvias, con temperaturas de entre 20 y 21° C. La poca variación entre las temporadas de secas y de lluvias, sin mucha diferencia entre la superficie, a media agua y el fondo, provoca que exista una buena circulación del lago de forma continua en todo el año, por lo que se le considera como polimíctico cálido continuo.

De Buen (1941a) clasificó al Lago de Pátzcuaro de acuerdo a las temperaturas del fondo como de tipo tropical de tercer orden, debido a que su temperatura superficial nunca se encuentra por debajo del punto de máxima densidad del agua (4°C) y sus temperaturas de fondo son muy cercanas a las superficiales, haciendo que la masa de agua tenga una circulación completa de la superficie al fondo. Según Ramírez y Jiménez (1992) la temperatura anual promedio es de 19.5 °C en la superficie, con diferencias no mayores de 2°C en el fondo. Posteriormente, Lewis (1983), lo ha clasificado como un lago polimíctico cálido continuo por presentar circulación continua en todo el año (en Chacón, *et al*, 1991).

En cuanto a la turbidez, no se presentó mucha variación a lo largo de todo el lago; en la temporada de secas es más constante con 50 cm de turbidez. Para la época de lluvias las estaciones I a la IV presentaron de 50 a 60 cm dado por el aporte de agua, al sur las estaciones V y VI muestran ligeramente aumentada la turbidez por el acarreamiento de materiales que son producto de la deforestación, el exceso de nutrientes y basura, principalmente en zonas de poblados cercanos, este problema se ve incrementado por la poca profundidad (Fig. 3) en la parte sur del lago. Chacón (1991) encontró que los efectos del deterioro del lago se ven reflejados en los valores bajos de transparencia, registrando un promedio de 40 cm. Sin embargo, Ramírez y Jiménez (1992), encontraron que durante octubre de 1991 a enero de 1992, la turbidez no mostró mayores variaciones, presentando para el mes de junio 41.2 cm en promedio. Al inicio de la temporada de lluvias en mayo, se presenta un fuerte acarreamiento de sedimentos, nutrientes y basura, principalmente en las orillas del lago cerca del cual se presentan poblados. Las descargas no llegan al lago en la temporada de secas.

Respecto del oxígeno disuelto, la zona norte y el cuello del lago presentaron cantidades homogéneas de oxígeno disuelto, disminuyendo de la superficie al fondo con un promedio de 5.6 mg/l de oxígeno en la superficie, 5.2 mg/l a media agua y 4.7 mg/l en el fondo. Estos valores disminuyen hacia la parte sur del lago en las estaciones V (Seno

Erongarícuaro) y VI (Seno Ihuatzio) con un promedio de 5.3 mg/l de oxígeno en la superficie y 4.6 mg/l en el fondo. Esto al igual que la turbidez puede deberse a que en la zona sur es menos profunda (Fig. 3). A su vez, los valores bajos de oxígeno disuelto, pueden deberse también a que, a pesar de que en todos los senos existe mayor presencia de vegetación acuática, su extensión es mayor en la parte sur del lago y su menor profundidad esta acompañada con la presencia de zonas pantanosas. La isla de Jarácuaro (la más grande del lago) se encuentra cerca de la estación V, seno Erongarícuaro, la cual ahora es accesible por medio de un camino de terracería, rumbo a la población de Erongarícuaro tomando la desviación a la derecha en Arócutin. Esto dificulta la circulación del agua de esta zona. Además, en el área del seno Ihuatzio las islas de Uranden también se están fusionando con tierra firme.

En el trabajo de Ramírez y Jiménez (1992) con un muestreo mensual promedio desde septiembre de 1991 a octubre de 1992, se muestran los datos de oxígeno disuelto (mg/l) en el siguiente cuadro, en el cual se puede observar que las máximas diferencia entre los niveles fue de 1.1 mg/l. Esto se atribuye al mezclado eficiente que presenta el cuerpo de agua gracias a una circulación constante; y a su vez se confirma con los resultados obtenidos al medir la temperatura, que es muy cercana en la superficie y el fondo, lo cual facilita dicha circulación.

Mes	Superficie	Fondo
Oct.	5.97	5.29
Nov.	5.10	4.67
Dic.	4.95	4.24
Ene.	4.20	3.70
Mar.	4.20	3.50
Jun.	6.29	5.13
Jul.	4.00	2.98
Agt.	6.20	4.10
Oct.	7.66	6.57

Fuente: Ramírez y Jiménez (1992).

Esto puede deberse a que en cualquier reservorio de agua dulce con presión normal, la solubilidad del oxígeno desde el aire, esta relacionada con la temperatura del agua, siendo mayor en la superficie por la ayuda de los vientos, que se ven aumentados en la estación de otoño, disminuyendo la cantidad de oxígeno disuelto cuando aumenta la temperatura. De este modo los organismos acuáticos que respiran aeróbicamente toleran

mejor cualquier estrés si disponen de oxígeno en abundancia (Willoughby, 1978). Asimismo, la deficiencia de oxígeno puede deberse a las descargas de aguas negras, a la excesiva abundancia del plancton, a los procesos respiratorios o, principalmente, a la oxidación de la materia orgánica.

En el estudio realizado por Kramer, 1987 para examinar la respuesta del comportamiento de los peces a niveles reducidos de oxígeno, se demostró en el laboratorio que los niveles mínimos esperados de oxígeno no son letales, pero pueden reducir la tasa de crecimiento. Los peces pueden ir a la superficie para respirar en las capas superficiales oxigenadas, reduciendo el efecto de crecimiento pero aumentando el riesgo a la depredación, además, pueden moverse aguas arriba de la fuente de contaminación a sitios con mayor competencia por alimento, pero serían más vulnerables a los pescadores. El sombreado, la turbidez, la profundidad, la temperatura y la riqueza de nutrientes tienden a correlacionarse negativamente con las concentraciones de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua estancada.

Como la mezcla se reduce, la concentración de oxígeno se vuelve más dependiente de las velocidades relativas de la producción de oxígeno (debido a la fotosíntesis de las algas y plantas superiores) y la demanda (debido a la respiración de macro y micro-organismos, así como otros procesos oxidativos) (Kramer, 1987).

En cuanto al pH la estación I ubicada en el centro del Seno de Quiroga, la zona más profunda del lago, presentó valores homogéneos de la temporada de secas a la temporada de lluvias, con 8.3 en la superficie, 8.3 a media agua y 8.5 en el fondo, para la temporada de secas y 8.2 en la superficie, 8.3 a media agua y 8.8 en el fondo en la temporada de lluvias. De la estación II a la estación VI en la temporada de secas bajó un poco el pH en promedio con 8.0 en la superficie 7.9 a media agua y 7.9 en el fondo, disminuyendo en las mismas estaciones en la temporada de lluvias con promedios de 7.6 en la superficie y en el fondo. Esta disminución en el pH posiblemente se debe a que la lluvia acarrea los sedimentos producidos por la tala inmoderada de los bosques de la región lacustre, provocando cambios en la vegetación original del área, ya que ésta es utilizada para la agricultura y el pastoreo; a la par se acarrean productos químicos disueltos, utilizados en estas zonas de cultivo que en mayor cantidad se vierten con las lluvias en el lago. Las lluvias acentúan que se viertan mayor cantidad de aguas negras y desechos provenientes de los poblados cercanos, que tienen mayor número de habitantes,

como la ciudad de Pátzcuaro, aumentando la cantidad de azolve. En el trabajo realizado por Hernández y colaboradores (1990) se menciona la presencia de un alto nivel de contaminación bacteriológica principalmente en la zona sur del lago y otras áreas, que coincide en los sitios cercanos de los municipios más grandes: Pátzcuaro, Tzintzuntzán, Quiroga y Erongarícuaro, lo que explica una mayor eutroficación y menor oxígeno; además, mencionan que el uso del agua del lago para la agricultura y la ganadería representa un riesgo potencial para la salud en la zona sur y en algunos lugares de la zona norte.

En general, el lago es muy homogéneo, sólo en la zona sur presenta menos oxígeno disuelto, mayor temperatura y aumento de turbidez así como de pH en la temporada de lluvias. Según Ramírez y Jiménez (1992) esta homogeneidad indica una fuerte capacidad amortiguadora de las aguas del lago. Además, cabe señalar que según Sabanero y Hernández (1990) en las orillas de la zona norte hay una mayor incidencia de parásitos del tipo sanguijuela ya que estas buscan lugares fangosos y de vegetación emergente: estas son las mismas zonas que utiliza *Chirostoma estor* para desovar al emigrar a la zona norte. Asimismo, Osorio-Sarabia y colaboradores (1986) mencionan que para esta misma especie hay incidencia de metacercarias de *Posthodiplostomum minimum* en hígado con una intensidad de 1 a 683 metacercarias por hígado parasitado, con una prevalencia, muy alta, de 86.6-100%. Por lo tanto, por medio de la distribución de las especies se puede apreciar que prefieren la zona centro y norte del lago al encontrarlas en mayor abundancia, pero tal vez por la circulación del agua del lago también se les puede encontrar en la zona sur aunque en menor abundancia.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el *Análisis Morfométrico*, se observaron cinco grupos (Fig. 6); el grupo 1, *Chirostoma grandocule*, grupo 2 *Chirostoma sp.* (Híbrido entre *C. grandocule* x *C. estor* joven), grupo 3 *C. estor* juvenil, grupo 4 *C. estor* adulto, grupo 5 *C. attenuatum*. Cabe señalar que no fue encontrada en los muestreos la especie *C. patzcuaro*, la cual ha sido reportada para esta zona por Álvarez del Villar, 1970 y Torres-Orozco, 1990.

Las especies *Chirostoma grandocule* y *C. estor*, presentan muchos problemas para separarlos visualmente, principalmente cuando *C. estor* es juvenil y presenta una talla menor, hasta que esta especie pasa de los 170 a 200 mm de longitud total y la talla

adquiere una mayor importancia para separar estas dos especies. Estrada (1991) encontró que para *C. estor* la talla mínima en hembras maduras fue de 123 mm de longitud estándar (LST) y la talla mayor que encontró fue de 247 mm de LST; para los machos maduros las tallas mínimas fueron de 86 mm de LST y las tallas mayores de 233 mm de LST. En el caso de *C. grandocule*, las tallas mínimas en hembras maduras fue de 72 mm de LST, y la talla mayor de 105 mm de LST, para los machos maduros las tallas mínimas fueron de 70 mm de LST y las tallas mayores de 120.4 mm de LST.

A nivel de laboratorio, Estrada (1991) logró la inseminación artificial y el desarrollo de los híbridos entre *C. grandocule* x *C. estor*, por lo que algunos mecanismos de aislamiento reproductivo postcopulatorio no se presentaron, pero al no llegar a la etapa de madurez, no pudo comprobar la ruptura total de los mecanismos.

Seguramente los mecanismos de aislamiento reproductivo propuestos por Mayr (1968) se pueden encontrar reducidos a los de tipo etológico al presentar su temporada de máxima reproducción traslapada, además, ya que se encontraron en las colectas ejemplares maduros de ambos peces en las mismas localidades, se desecha la idea de un aislamiento de tipo estacional y posiblemente también el de hábitat. Por otro lado, la fecundación de los Atherínidos es externa por lo que no hay aislamiento mecánico.

Lagler, *et al.*, (1977) mencionan que hay una correlación positiva entre el éxito de la hibridación y la proximidad de la relación de las especies parentales, o bien que la sobrevivencia más grande de los híbridos ocurre cuando las especies progenitoras están más íntimamente emparentadas, basado en la hipótesis que explica que las especies estrechamente relacionadas poseen cromosomas iguales en morfología, número y características bioquímicas.

De acuerdo a Barbour (1973b) y basado en características merísticas, morfométricas y los bordes de las escamas, ambas especies, *Chirostoma grandocule* y *C. estor* los localiza en el grupo JORDANI, en el cual, tienden a tener un número de valores merísticos y morfométricos altos con escamas lacinadas y con canales en la línea lateral.

Además, se ha detectado actividad enzimática en larvas de *C. estor* de tipo pepsina y tripsina, lo que hace ver que esta especie posee un equipo enzimático capaz de digerir proteínas a temprana edad. El tracto digestivo tiene poca capacidad para almacenar alimento debido a que carece de un estómago verdadero, además de un corto

intestino, por lo que lo convierte necesariamente en un consumidor frecuente, lo cual, no es extraño en una especie zooplancófaga (Martínez-Palacios, *et al.*, 2002).

En el trabajo de Soria-Barreto y Paulo-Maya del 2005, con base en la comparación del aparato mandibular, mencionan que *C. grandocule* se caracteriza por tener un menor ángulo entre las mandíbulas, permitiéndole tener la boca dirigida hacia arriba, por lo que pueden consumir una mayor cantidad de presas ubicadas en las capas superficiales del agua, se confirmó la posición de la boca en el presente trabajo. Además, presentan una apófisis post-articular más pequeña y colocada en un ángulo más recto, disminuyendo la superficie de contacto y el movimiento se hace más limitado, por lo tanto, la abertura bucal es menos amplia y limita la captura del alimento de tallas grandes, se reconoce como un pez zooplantófago por su contenido estomacal. Asimismo, *C. estor* presenta un ángulo mayor de las mandíbulas y con la boca en posición terminal, por lo que puede consumir presas ubicadas a lo largo de la columna de agua, igualmente en el presente trabajo se corroboró la posición de la boca. Presenta una apófisis post-articular más larga y separada del hueso que puede relacionarse con el cóndilo del cuadrado, al ser mayor la superficie de contacto entre la faceta articular, también el movimiento es mayor, lo que les permite alimentarse de presas de mayor talla, por lo que presenta hábitos carnívoros, incluso en sus tallas mayores llega al canibalismo, en estado adulto come insectos y peces. Para *C. estor* y *C. attenuatum* indican que el dentario es uno de los huesos más robustos de la mandíbula y en estas especies poseen una mayor altura y parece estar asociado con el consumo de organismos de consistencia más dura, también señalan que *C. attenuatum* consume una mayor cantidad de insectos terrestres y larvas acuáticas a partir de más de 50 mm la longitud patrón, además, microcrustaceos, insectos y restos de peces.

En cuanto a los **Valores Merísticos**, el grupo 5 *C. attenuatum* presenta los valores más bajos comparado con el resto de los grupos, asimismo, los grupos 1 *C. grandocule*, grupo 2 híbrido *Chirostoma* sp. (*C. grandocule* x *C. estor*) y grupo 3 *C. estor* juvenil, presentan valores merísticos muy semejantes. A excepción de las escamas predorsales y escamas de la línea lateral, donde el grupo 1 *C. grandocule* (EP, \bar{x} = 41.74; EL, \bar{x} = 56.23) y el grupo 2 híbrido *Chirostoma* sp (EP, \bar{x} = 39.24; EL, \bar{x} = 56.29) son más semejantes, el grupo 3 *C. estor* juvenil (EP, \bar{x} = 44.88; EL, \bar{x} = 56.91) presenta valores

ligeramente mayores, siendo el grupo 4 *C. estor* adulto (EP, \bar{x} = 64.17; EL, \bar{x} = 65.50) el que presenta los valores más altos; a su vez el grupo 5 *C. attenuatum* (EP, \bar{x} = 20.23; EL, \bar{x} = 42.76), como ya se dijo, es el que presenta los valores más bajos característicos de esta especie, con escamas grandes y en bajo número (Tabla 18).

Analizando el **Número de Vértebras** el grupo 1 *C. grandocule* y 2 el híbrido *Chirostoma* sp (*C. grandocule* x *C. estor*) presentaron el mismo rango (42-45) y la misma moda de 44 vértebras, el grupo 5 *C. attenuatum* presentó el menor rango en cuanto al número de vértebras (41-44) y moda de 41 vértebras, el grupo 3 *C. estor* joven presentó un rango amplio de (39-46), con una moda de 44 vértebras y el grupo 4 *C. estor* adulto (43-46) con una moda de 45 vértebras, el rango del grupo 4 puede incluirse en el rango del grupo 3, esto y la diferencia en modas puede deberse al menor número de ejemplares capturados en el grupo 4 (Tabla 18).

En cuanto a **la Distribución** de los grupos de especies del lago y su abundancia (Fig. 12), el grupo 1 *Ch. grandocule*, presentó una distribución en orden de importancia centro-norte-sur del lago, al encontrar a este grupo con mayor abundancia (79%) en la parte central o cuello del lago, distribuidos principalmente en Janitzio (26%), Cucuchucho (24%), La Pacanda (20%) y Yunuén (9%), en segundo lugar en la parte norte del lago en el Seno de Quiroga (16%), cerca del poblado de Tzintzuntzán y por último, en la parte sur del lago en el Seno Erongarícuaro cerca de Jarácuaro (5%), con una abundancia total del 35% para el grupo (Fig 11). Esta especie prefiere para sus desoves algas filamentosas y bajas profundidades de 0.8-1.2 m (Rosas, 1976).

El grupo 2 *Chirostoma* sp. (posibles híbridos entre *C. grandocule* x *C. estor*), se encontró en orden de distribución centro-norte-sur, abundante en la zona centro o cuello del lago en un 65%, localizándolos en Yunuén (31%), La Pacanda (18%), Cucuchucho (10%) y Janitzio (6%), en segundo lugar en la parte norte en el Seno de Quiroga en un 28% cerca del poblado de Tzintzuntzán, y por último, en la zona Sur en el Seno Erongarícuaro cerca de Jarácuaro en un 7%, este grupo fue encontrado en una abundancia total del 36% (Fig. 12 y 18).

El grupo 3 (*C. estor* joven), fue encontrado en un orden de distribución centro-sur-norte del lago, principalmente en la zona centro o cuello del lago en un 57%, en La Pacanda (25%), Cucuchucho (13%) y Janitzio (19%), en segundo lugar en la parte sur en

el Seno Erongarícuaro cerca de Jarácuaro en un 30%, y por último, en la parte norte en el Seno de Quiroga cerca del poblado de Tzintzuntzán en un 13%, con una abundancia total del 14% para el grupo (Fig. 12 y 24).

El grupo 4 (*C. estor*), se encontró en un orden norte-sur-centro del lago, principalmente en la zona norte en el Seno de Quiroga cerca del poblado de Tzintzuntzán en un 55%, donde prevalece la mayor profundidad; en la zona sur en el Seno Ihuatzio cerca de Uranden (28%), por último en la zona centro o cuello del lago en La Pacanda (17%), con una baja abundancia total con respecto al resto de los grupos del 8%. Según Rosas (1976) esta especie prefiere temperaturas de 18-24°C, lo que concuerda con las temperaturas de la zona, fondos arenosos o gravas y orillas con algas, asimismo, prefiere estas zonas como áreas de postura, en agua clara, oxigenada y con ligero oleaje, donde se ha visto que la zona norte poco a poco ha perdido estas características necesarias para la especie, lo que aunado a la sobre-explotación da como resultado que se encuentre en serio peligro (Fig. 12 y 30).

El grupo 5 (*C. attenuatum*) presentó una distribución norte-sur-centro del lago, principalmente en la zona norte en el Seno de Quiroga cerca del poblado de Tzintzuntzán en un 53%, en la zona sur en el Seno Ihuatzio cerca de Uranden en un 35% y por último en la zona centro o cuello del lago en un 12%, distribuidos principalmente en La Pacanda (6%) y Cucuchucho (6%), con una baja abundancia total con respecto al resto de los grupos del 7% (Fig. 12 y 35).

Con lo anterior para estas especies simpátricas y estrechamente emparentadas, podemos notar en el presente trabajo que el grupo 1 *C. grandocule* y el grupo 2 *Chirostoma* sp. (posible híbrido entre *C. grandocule* x *C. estor*) se distribuyen en orden de importancia centro-norte-sur y el grupo 3 *C. estor* joven prefiere centro-sur-norte, pero los tres grupos convergen en la zona centro, principalmente en La Pacanda, Cucuchucho y en Janitzio, asimismo, los dos primeros grupos se encontraron también en Yunuén, y aunque en el estudio el grupo 3 *C. estor* joven no fue encontrado en este sitio es muy probable que se presente en este lugar, con esto podemos notar que se puede incrementar la posibilidad de híbrización (Fig. 10 y 12).

Por lo tanto, por la forma y tamaño de la cuenca, las especies pueden fácilmente moverse a través de ella, por lo que el aislamiento geográfico no ha estado presente entre

las especies de *Chirostoma* del Lago de Pátzcuaro. A su vez, en el análisis gonádico de *Chirostoma grandocule*, *Chirostoma* sp. (híbridos) y *C. estor* joven, tanto en la época de secas como de lluvias, se registraron hembras ovígeras (Figuras 13-14, 19-20 y 25-26), por tanto, se considera que no está presente el aislamiento estacional o temporal, esto puede aumentar la posibilidad de hibridización. Asimismo, presentan períodos reproductivos traslapados, similares preferencias en cuanto a sitios de desove y tienen fecundación externa por lo que no está presente el aislamiento mecánico, Barbour (1973b) colocó a estas dos especies en el grupo JORDANI por la semejanza de sus características, asimismo, fueron los grupos más abundantes (grupo 1 *C. grandocule* el 35%, grupo 2 híbrido *Chirostoma* sp. (*C. grandocule* x *C. estor*) el 36% y grupo 3 *C. estor* juvenil el 14%).

Se observaron hembras ovígeras en los grupos 4 (*C. estor* adulto) y 5 (*C. attenuatum*) en la temporada de secas y no en la de lluvias, esto puede deberse a la baja proporción en que fueron encontrados estos grupos, *C. estor* adulto el 8% de abundancia y *C. attenuatum* el 7% (Figuras 31 y 36).

En cuanto a los **Resultados del Análisis Genético** podemos observar alta variabilidad isoenzimática, ya que se encontró un polimorfismo del 100%, que puede deberse a un elevado flujo génico intrapoblacional. Además, en los tres grupos analizados se encontró altos valores de heterocigocidad promedio, así como valores muy semejantes; para el grupo 1 (*C. grandocule*) ($H= 0.4869$), para el grupo 2 *Chirostoma* sp. (híbridos entre *C. grandocule* x *C. estor*) ($H= 0.4823$) y para el grupo 3 (*Chirostoma estor* joven) ($H= 0.4774$). Podemos apreciar en los loci que esta alta heterocigocidad puede estar asociada con la falta de aislamiento geográfico en las poblaciones. La reducción de las diferencias génicas entre poblaciones, depende de las fuerzas que están actuando para causar diferenciación entre las poblaciones locales, siendo estas mínimas, ya que en los resultados obtenidos de factores fisicoquímicos podemos ver que la temperatura es generalmente homogénea en todo el lago, la turbidez no presenta mucha variación, sólo en los inicios de la época de lluvias donde se ve ligeramente disminuida por acarreamiento de materiales principalmente en la zona sur, y el oxígeno y el pH, presentan un comportamiento similar, con valores bajos hacia la parte sur del lago.

Mettler y Gregg (1972) mencionan que los organismos diploides que se reproducen sexualmente pueden mantenerse en estado heterocigótico, sin que se manifieste una cantidad sorprendentemente grande de variación genética, y por otro lado, en ausencia de flujo génico, la deriva génica conducirá también a diferencias locales en las frecuencias alélicas, porque el flujo génico tiende a reducir las diferencias genéticas entre poblaciones locales.

En varios organismos, incluyendo algunas especies ícticas, se ha demostrado que los individuos que poseen la mayor variación genética tienen índices de supervivencia mejores o tasas de crecimiento relativo superiores. Los individuos relativamente heterocigóticos son más resistentes a perturbaciones medioambientales durante el desarrollo. Es claro que las poblaciones genéticamente variables tienen muchas características ventajosas, ausentes en las poblaciones empobrecidas genéticamente (FAO/PNUMA, 1984).

Al considerar los resultados del *Índice de Fijación* (F) para cada grupo de especies, y ya que este refleja las desviaciones de Hardy-Weinberg, se observa que el grupo 1 (*C. grandocule*) en la mayoría de los loci fueron significativamente diferentes de cero (con 13 significativos de 15 valores negativos de 24 loci analizados) por lo que se considera que este grupo no está en equilibrio de Hardy-Weinberg, seguido de los grupos 3 (*C. estor* joven), con 10 significativos de 16 valores negativos de 24 loci analizados y el grupo 2 (*Chirostoma sp.*, posibles híbridos entre *C. grandocule* x *C. estor*), con 10 significativos de 13 valores negativos de 24 loci analizados, los cuales tampoco está en equilibrio de Hardy-Weinberg (Tabla 21 y 27). Al utilizar la prueba de Chi cuadrada (χ^2) que se empleó para comprobar si existen diferencias significativas entre los valores de heterocigosidad esperada (H_e) según Hardy-Weinberg y heterocigosidad observada (H_o), se comprobó que los tres grupos no están en equilibrio de Hardy-Weinberg (Tabla 21). Posteriormente, con la intención de detectar el exceso o déficit de genotipos heterocigotos se compararon las heterocigosis observadas y esperadas, esto por medio del índice de fijación (F). Este parámetro indicó que el grupo 3 (*C. estor* joven) presentó el mayor número de loci con exceso de heterocigotos (16 de 24 loci) y por lo tanto, con mayor variabilidad genética, seguido muy de cerca por el grupo 1 (*C. grandocule*) (15 de 24 loci) y por último el grupo 2 (*Chirostoma sp.*, híbridos entre *C. grandocule* x *C. estor*) (13 de 24 loci) (ver Tabla 27).

Tabla 27. Loci con exceso de heterocigotos (observar que el grupo 3 es el que presenta mayor variabilidad genética). Grupo 1: *Chirostoma grandocule*; Grupo 2: *Chirostoma* sp. (posible híbrido entre *C. grandocule* x *C. estor* joven); Grupo 3: *C. estor* joven.

	MDH 1a	MDH 1b	MDH 1c	IDH 1	IDH 2	IDH 3	α -GDP	MDH 2a	MDH 2b	MDH 2c	LDH 1	LDH 2
Grupo 1	*	*	*	*	*		*		*			*
Grupo 2	*	*		*	*		*				*	*
Grupo 3	*	*	*	*	*		*	*				*

	LDH 3	EST 1	EST 2	EST 3	PGM 1	PGM 2	PGM 3	PGI 1	PGI 2	PGI 3	GOT 1	GOT 2	
Grupo 1		*		*		*		*	*	*	*		15
Grupo 2		*		*		*		*	*	*			13
Grupo 3		*		*	*	*		*	*	*	*		16

En cuanto al valor de F_{ST} (índice de fijación), el cual mide la diferenciación genética entre las poblaciones, en nuestros resultados podemos notar que se obtuvo un valor muy cercano al cero ($F_{ST} = 0.0107$), con lo que se considera que la diferenciación genética es baja, indicando que las poblaciones comparten muchos alelos entre sí y que existe un flujo génico importante entre los grupos, por lo que, a su vez nos indica que en promedio la diferencia genética entre poblaciones representa cerca del 1.07% de la variación total (Tabla 23).

Aguirre (2007) explica que bajo ciertas circunstancias, la F_{ST} puede pensarse como un balance entre deriva génica y el flujo génico, por lo que valores muy pequeños de flujo génico ($\ll 1$) pueden acercar F_{ST} a 0, además, menciona que los métodos indirectos que sirven para determinar el flujo génico tienen la ventaja de poder incorporar los efectos de todos los componentes históricos de la dispersión y generar un promedio de la variación en la dispersión a través del tiempo.

Para los valores de F_{IS} se mide el grado de endogamia de la población la cual fue de $F_{IS} = -0.1627$ (Tabla 24). Los valores negativos mostrados por el coeficiente de endogamia indican que hay más individuos heterocigos en la muestra poblacional estudiada de los que se esperaría en situación de equilibrio genético y que no existe endogamia o consanguinidad en las poblaciones. Povh y colaboradores (2008), mencionan que el cruzamiento entre reproductores emparentados genéticamente (endogamia), aumenta la homocigosis y reduce la variabilidad genética; esta reducción

puede conducir a la pérdida de resistencia a enfermedades y de la capacidad de adaptación a nuevos ambientes, además, puede promover mayor sensibilidad a las variaciones ambientales y eventualmente puede provocar la extinción de una especie.

De la misma manera con los resultados obtenidos de F_{IT} el cual mide la endogamia total, al obtener un valor promedio de $F_{IT} = -0.1502$, se puede apreciar que hay una gran variabilidad genética dada por la presencia de heterocigotos, ya que se obtuvo un resultado negativo y con ayuda de la chi cuadrada (χ^2) se observó que el valor de F_{IT} es significativamente distinto de cero (Tabla 25).

Respecto al *Flujo Génico*, se obtuvo como resultado un $Nm = 23.1144$ individuos que migran por generación, por lo que podemos decir que los tres grupos de especies (grupo 1: *Chirostoma grandocule*; grupo 2, posible híbrido, *Chirostoma* sp y grupo 3 *C. estor* joven) se comportan como una gran población más o menos panmíctica. El valor de Nm es mayor a uno, indicándonos que existe alto flujo génico entre las poblaciones locales estudiadas. Por tanto, al encontrar un alto nivel de flujo génico, esto nos explica que la diferenciación entre los tres grupos de especies sea baja.

Con lo que respecta a la *Distancia Genética de Nei (D)*, podemos asumir que cuanto más parecidas sean las frecuencias génicas de dos poblaciones, el grado de diferenciación entre ellas es menor, por lo que se incrementa la probabilidad de que escogiendo un alelo al azar de cada una de las dos poblaciones consideradas, estos sean idénticos. En nuestros resultados podemos ver que los valores están muy cercanos a cero por lo que las frecuencias de las poblaciones son muy parecidas, destacando mayor parecido entre el grupo 1 y 2 (0.009621), seguidos por el grupo 1 y 3 (0.012532) y el grupo 2 y 3 (0.020428), de manera semejante podemos observar para la identidad normalizada, si se aproxima a 1, las poblaciones son más semejantes y los grupos 1 y 2 son los más semejantes (0.990426), seguido por los grupos 1 y 3 (0.987546), y por último los grupos 2 y 3 (0.979779), por lo que los estimados de distancias e identidad genética (Tabla 26) indican una relación muy cercana entre los tres grupos de especies.

El *Dendrograma* muestra una cercana relación entre *Chirostoma grandocule* y el híbrido *Chirostoma* sp., como se pudo observar en los análisis morfométricos y merísticos analizados, con igual número de vértebras y hasta una misma distribución,

después de estos dos grupos se les une *C. estor* joven, aunque también de manera muy cernana (Fig. 37).

Se considera que es muy posible la unión entre el grupo 1 (*C. grandocule*) y el grupo 3 (*C. estor* joven) ya que sus épocas de desove se sobreponen ampliamente y las especies del lago exhiben el mismo comportamiento; en el trabajo de Rojas *et al.* 1993, mencionan que *C. grandocule* presenta una talla promedio de la primera madurez de 7.55 cm, que adquiere a los 9 meses de edad y una talla mínima de madurez de 5.20 cm que logra a los 4 meses; además, describen el crecimiento de la especie con un incremento de aproximadamente de 1cm por mes. A su vez en Martínez-Palacios, *et al.* 2003, que trabajaron con *C. estor*, comprobaron a partir del sistema de cultivo cerrado, que esta especie llega a la madurez gonádica en aproximadamente un año, con tallas de 12 a 15 cm de longitud total, observando en hembras y machos la producción de óvulos y espermatozoides al término de un año. Indican que cada hembra silvestre madura de alrededor de 300 g de peso, produce de 15,000 a 20,000 huevecillos en promedio y en cautiverio las hembras con 15 a 20 gr de peso producen de 800 a 1500 huevecillos. En el trabajo de Rojas-Carrillo, 2006, se menciona la posibilidad que *C. attenuatum* alcance la madurez sexual en el mismo año de su nacimiento, siendo la primera talla de su madurez de 8.1 cm de longitud estándar y la talla mínima de madurez de 5.5 cm de longitud estándar. En el presente trabajo se encontró para el grupo 1 *C. grandocule* una talla mínima para hembras maduras, incluso ovígeras de 7.0 cm de longitud estándar (LST) y una talla mayor de 8.6 cm de LST, también para ovígeras, los machos presentaron tallas mínimas de 7.0 cm de LST y las tallas mayores de 8.4 cm de LST. Para el grupo 3 *C. estor* joven la talla mínima en hembras ovígera fue de 7.7 cm de LST y una talla mayor de 9.9 cm de LST, para los machos de este grupo las tallas mínimas fueron de 8.0 cm de LST y las tallas mayores de 9.8 cm de LST.

En lo referente a las épocas de reproducción, se sabe que *C. grandocule* presenta una marcada época de desove que inicia en febrero y termina en julio, con un máximo en abril y una segunda época de menor intensidad en los meses de diciembre y enero. (Rosas, 1976; Rojas, *et al.*, 1990; Rojas *et al.* 1993; Instituto Nacional de la Pesca, 2005), a su vez *C. estor*, desova todo el año, pero con mayor intensidad en el periodo de marzo y junio (Martínez-Palacios, *et al.* 2003).

En 1996 Alaye-Rahy, observó diferencias de tamaños y aspecto de huevecillos en especies de *Chirostoma* de tallas pequeñas (charales) y de tallas grandes (pescado blanco), señalando que la membrana del huevo de una especie no es impermeable al esperma de otra; además, por datos obtenidos de piscicultores y pescadores de la ribera del lago, se sabe que las especies del género *Chirostoma* exhiben territorialidad, acentuándose este comportamiento durante el desove, aunque en la misma orilla se pueden observar juegos nupciales entre especies de tallas pequeñas o grandes (*posibilidad del debilitamiento del aislamiento etológico*). En cuanto a los alevines de las distintas especies de *Chirostoma* (Martínez-Palacios, *et al.* 2003), hay una casi nula diferenciación tanto en tamaño como en morfología y esto se puede deber a su origen filogenético y a la temprana especiación en la cual se encuentran. Ya que hay que recordar que Barbour (1973b) ubicaba a *C. grandocule* y *C. estor* dentro del mismo grupo JORDANI por presentar un número de valores merísticos y morfométricos altos con escamas lacinadas y con canales en la línea lateral.

Se sugiere en Santoyo, 2006, que en el medio silvestre el pescado blanco tiene la capacidad de madurar sexualmente en un menor tiempo, lo que reduce sus ciclos de reproducción, esto es muy importante cuando la muerte por captura y contaminación es alta, posiblemente en respuesta a presiones que ha estado sometido durante prolongados lapsos de tiempo como la pesca excesiva, contaminación, o especies introducidas, reduciendo las etapas de crecimiento y madurez para minimizar las pérdidas dentro de la población natural. Además, debe considerarse la extracción de juveniles del pez blanco que se toman por charales (o tripilla), siendo esto otro motivo para la madurez temprana de los peces tanto en medios naturales y artificiales.

Es evidente que la pérdida del hábitat es uno de los principales problemas para la conservación de las especies del género *Chirostoma* y esta pérdida se observa principalmente en la parte sur del lago, donde el aumento de la evaporación y la disminución de la precipitación fluvial esta provocando que las especies migren hacia la parte norte y más profunda, cambiando las áreas de desove y posiblemente promoviendo el flujo génico de las especies.

Los problemas de conservación genética son más agudos en especies de agua dulce que en especies marinas, producidos por modificación del ambiente, introducciones y la sobre-pesca. La actividad pesquera, que es esencialmente extractiva, ha producido

cambios en las poblaciones naturales. Estos cambios pueden incluir: agotamiento de las especies por pesca excesiva, situación que la mayor parte de las veces se revierte cuando la pesca se reduce o termina, cambios en la biomasa y composición de las especies y cambios en las frecuencias genéticas por efectos de pesca selectiva. Se debe de tomar en cuenta que poblaciones en cultivo se puede registrar una pérdida de variabilidad genética y en ocasiones esta pérdida de variabilidad puede originarse por efecto fundador al establecer los cultivos o a incrementos de consanguinidad o efectos de cuello de botella.

Como se ha observado en nuestro análisis, algunos mecanismos de aislamiento reproductivo precopulatorio no han estado presentes como el aislamiento geográfico, ya que las especies de peces pueden moverse fácilmente a través del lago, además que el lago es muy homogéneo, sin mucha variación de temperatura, ni de turbidez, además de cantidades homogéneas de oxígeno disuelto y pH (con disminución en la época de lluvias en la parte sur).

En cuanto al mecanismo de Aislamiento Ecológico, las poblaciones viven en las mismas áreas geográficas (son simpátricas), aunque ocupaban o se reproducían en distintos hábitats y ahora tienen similitud de preferencia de los sitios de desove.

Otros mecanismos precopulatorios se han debilitado o ya no están presentes como el Aislamiento Estacional o Temporal, ya que al realizar en este trabajo el análisis gonádico de *Chirostoma grandocule*, *Chirostoma* sp. y *C. estor* joven se encontraron hembras ovígeras, tanto en la época de secas como de lluvias (Figs. 13-14, 19-20 y 25-26). En cuanto a la época de reproducción se ha encontrado la presencia de periodos reproductivos traslapados, donde *Chirostoma grandocule* presenta una época de desove que inicia en febrero y termina en julio con un máximo en abril y una segunda época menos fuerte en diciembre y enero, así mismo *C. estor* desova todo el año con mayor intensidad en el periodo de marzo y junio. Al igual y de manera importante se han presentado cortos tiempos de maduración, ya que se ha visto que el pescado blanco tiene la capacidad de madurar sexualmente en menor tiempo en su medio silvestre, todo esto puede estar aumentando la posibilidad de hibridización, así mismo, no está actuando el Aislamiento Mecánico ya que la fecundación de los Atherinidos es externa.

Por último, pudo haberse debilitamiento del Aislamiento Etológico, ya que piscicultores y pescadores han observado que en la ribera del lago las especies del género

Chirostoma presentan territorialidad, marcándose este comportamiento durante el desove, también han observado en la misma orilla juegos nupciales entre especies de tallas pequeñas y grandes.

Para los Mecanismos de Aislamiento Postcopulatorio, en la Incompatibilidad gamética, en trabajos anteriores se observó, que en las especies de *Chirostoma* de tallas pequeñas (charales) y grandes (pescado blanco), la membrana del huevo de una especie no es impermeable al esperma de otra. Además, hay una casi nula diferenciación tanto en tamaño como en morfología de los alevines de las distintas especies de *Chirostoma* y esto se puede deber a su origen filogenético y a la temprana especiación en la cual se encuentran. Asimismo, en los trabajos de Estrada en 1991, logro la iseminación artificial y el desarrollo de los híbridos entre *C. grandocule* x *C. estor*, pero al no llegar a la etapa de madurez, no pudo comprobar la ruptura total de los mecanismos.

Esto podría estar dando por resultado un aumento en el número de individuos que no pueden ser clasificados en una especie determinada. Los mecanismos de aislamiento reproductor pueden ser alterados, cuando se introducen especies cogenéricas de otros embalses. En *Chirostoma*, el fenómeno de hibridación es más probable a medida que las especies implicadas son más cercanas filogenéticamente, lo que ocurre en este género. Además, no existe estratificación térmica en este lago somero ya que es efímera y no existe en las riberas, por lo que podemos decir que no existen las barreras climáticas.

También podría estar influyendo en la formación de híbridos, en relación directa con los mecanismos de selección, la alteración ecológica del Lago de Pátzcuaro: el aumento de áreas cubiertas por vegetación acuática, aumento de azolve con la consiguiente pérdida del volumen del lago, creciente eutroficación por los aportes de las variadas formas de entrada de fósforo, contaminación por pesticidas, herbicidas, entre otros.

CONCLUSION

❖ En general, el lago es muy homogéneo, sin mucha variación de temperatura de la superficie al fondo, ni de las temporadas de secas y lluvias, dando como resultado una buena circulación del lago de forma continua en todo el año, siendo considerado un lago polimíctico cálido continuo. La turbidez en todo el lago, no presentó mucha variación con un promedio en la temporada de secas de 50 cm y en la temporada de lluvias de 50 a 60 cm. Se presentaron cantidades homogéneas de oxígeno disuelto, en la zona norte y el cuello del lago, observando una disminución de la superficie al fondo y del norte al sur del lago, este cuerpo de agua presenta un mezclado eficiente ya que presenta circulación constante. En la parte norte del lago se encontraron valores homogéneos de pH de la temporada de secas a la de lluvias, mientras que del cuello a la parte sur del lago, principalmente en la temporada de lluvias hay disminución del pH, dado por el acarreamiento de sedimentos, aguas negras y desechos de los poblados cercanos. Sólo la zona sur del lago presenta menos oxígeno disuelto, mayor temperatura y disminución de turbidez, así como de pH en la temporada de lluvias, indicando una fuerte capacidad amortiguadora de las aguas del lago.

❖ Se encontraron 5 grupos; el **Grupo 1** *Chirostoma grandocule*, pez pequeño, en el que es importante la posición de las aletas, altos valores merísticos, escamas de la línea lateral con canales, escamas predorsales de tamaño medio (que se reducen hacia la región de la cabeza siendo pequeñas y en gran número de manera irregular). Además se puede confundir fácilmente con *C. estor* joven.

Grupo 2 *Chirostoma sp.* (híbrido entre *C. grandocule* x *C. estor* joven), presentó los valores más altos en la altura de la aleta anal (AA), la segunda aleta dorsal (A2D) y la aleta pélvica (AP); con ojos grandes y cabeza regular, es el grupo de menor talla promedio con una Longitud total (LT) de 80.69 mm, una longitud estándar (LST) de 67.49 mm, y con la menor talla en cuanto a la longitud cefálica (LC) 17.71 mm

Grupo 3 *C. estor* joven, pez ancho, de pedúnculo caudal corto; es importante la posición de las aletas, con la mayor distancia del hocico a la primera aleta dorsal (H1D), del hocico a la segunda aleta dorsal (H2D) y del hocico a la aleta pélvica (HP); con valores merísticos altos y con escamas de la línea lateral con canales.

Grupo 4 *C. estor* adulto, pez ancho y de pedúnculo caudal corto, de ojos pequeños y de cabeza grande, con valores merísticos altos, escamas de la línea lateral con canales. Se le encontraron a este grupo los valores mayores de longitud cefálica (LC), de longitud del maxilar (LM), de longitud del hocico (LH) y del post-orbital largo de la cabeza (PLC); así mismo, los valores menores en la alturas de las aletas, altura de la aleta anal (AA), altura de la segunda aleta dorsal (A2D) y altura de la aleta pélvica (AP).

Grupo 5 *C. attenuatum*, presentan valores merísticos bajos, en especial la escamas predorsales (EP) ya que esta especie presenta escamas grandes, de tamaño y acomodo uniforme y las escamas de la línea lateral con poros. Es el grupo con el cuerpo más delgado, de pedúnculo caudal (LPC) más largo y de cabeza pequeña.

No se pudieron encontrar ejemplares de la especie *C. patzcuaro* en todas las localidades, ya que existe gran dificultad para localizar al charal pinto tanto maduro como inmaduro sexualmente.

- ❖ Para la especie *Chirostoma patzcuaro* a razón de no haber sido encontrada en su hábitat, en el presente trabajo y en mucho tiempo, siendo descrita como poco abundante en los trabajos de Andrade (1990) y Ledesma (1990), se recomienda ser incluida bajo la Norma Oficial Mexicana (NOM 059-Ecol), y que se le designe una categoría de riesgo.
- ❖ En cuanto a especies, *C. grandocule* y *Chirostoma* sp. (híbridos entre *C. grandocule* x *C. estor* joven), presentaron una distribución en orden de importancia en el centro, norte y sur del lago. *C. estor* joven fue encontrado en el centro, sur y norte del lago. Los tres grupos convergen en el centro del lago. *C. estor* adulto se encontró al norte, sur y en el centro del lago; ubicarse principalmente al norte del lago, la más profunda, le conviene al adquirir una mayor talla. *C. attenuatum* se presentó al norte, sur y centro del lago.
- ❖ Se observó que algunas barreras de aislamiento pueden no estar presentes, apoyando el flujo genético entre especies y la posible presencia de híbridos (principalmente entre *C. grandocule* x *C. estor* joven). Al ver la distribución de las especies, se observa que no está presente el aislamiento geográfico, en los tres primeros grupos:

Chirostoma grandocule, *Chirostoma sp.* (*C. grandocule* x *C. estor* joven) y *C. estor* joven. En temporada de secas y de lluvias se encontró un estado de desarrollo de hembras ovígeras, por lo que se consideró que no está presente el aislamiento estacional o temporal, ya que presentan periodos reproductivos traslapados, similares sitios de desove y tienen fecundación externa, por lo tanto, no está presente el aislamiento mecánico. Aunque falta por comprobar con mayor detalle los demás mecanismos de aislamiento como el etológico y los post-copulatorios.

- ❖ En los grupos analizados se encontró una alta variabilidad genética, con un polimorfismo del 100%, altos valores de heterocigocidad promedio y semejanzas, posiblemente por falta de aislamiento geográfico.

Se comprobó que los tres grupos analizados no están en equilibrio de Hardy-Weinberg y presentan un exceso de heterocigotos. Al analizar la endogamia total F_{IT} se comprobó una gran variabilidad genética; el coeficiente de endogamia F_{IS} (mide el grado de endogamia de la población) indicó que hay muchos individuos heterocigotos en la muestra de la población estudiada y que no existe endogamia o consanguinidad en las poblaciones; y con F_{ST} que mide la diferenciación genética entre las poblaciones, se observó que dicha diferenciación es baja (1.07% de la variación total) y las poblaciones comparten muchos alelos entre sí, existiendo un flujo génico importante entre los grupos. Esto se confirma al obtener un flujo génico de $Nm = 23.1144$ individuos que migran por generación y nos explica la baja diferenciación entre las poblaciones.

En cuanto a la distancia genética de Nei (D), se observó que las frecuencias de las poblaciones son muy parecidas, destacando un mayor parecido entre el grupo 1 y 2 (0.009621), seguidos por el grupo 1 y 3 (0.012532) y el grupo 2 y 3 (0.020428), observando el mismo resultado con la identidad genética, lo cual muestra una gran relación entre todos los grupos.

Los estudios poblacionales de peces son importantes para el conocimiento de la diversidad genética y pueden contribuir a promover la conservación y el aumento de los recursos explotables.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, M.A. 1992. Estudio cariotípico del pescado blanco *Chirostoma estor* (Jordan, 1879 del Lago de Pátzcuaro, Mich. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 57 pág.
- AGUIRRE, P.E. 2007. Flujo Génico: Métodos para Estimarlos y Marcadores Moleculares, In: **Ecología Molecular**. De Eguiarte, L .E., V. Souza y X. Aguirre (Compiladores). Ed. Secretaria de medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. UNAM. CONABIO. 592 pág.
- ALAYE-RAHY, N. 1996. Híbridos entre especies del género *Chirostoma* del Lago de Pátzcuaro. Michoacán. México. INP. SEMARNAP. *Ciencia Pesquera*. No.13.
- ALBERT, B. 1994. **Biología molecular de la célula**. Garland Pubs. New York. 1387 pág.
- ÁLVAREZ DEL VILLAR, 1970. **Peces Mexicanos** (Claves). Instituto Nacional de Investigaciones Biológicas Pesqueras. Serie Investigación pesquera estudio. No.1. Comisión nacional consultiva de pesca. México. 166 pág.
- ÁLVAREZ, E.M.A. 1994. Estudio Citogenético del charal prieto *Chirostoma attenuatum* Meek. 1902 (Pisces: Atherinidae) en el Lago de Pátzcuaro, Mich. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 56 pág.
- ÁLVAREZ, J. 1972. Ictiología Michoacana V. Origen y distribución de la ictiofauna dulceacuícola de Michoacán. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol.* México. **19**:155-161. 1 lámina.
- ANDRADE, T.E. 1990. Desarrollo embrionario y larval de *Chirostoma patzcuaro* Meek, 1902 y de los híbridos obtenidos por fecundación artificial con *Chirostoma grandocule* Steindachner, 1894 (Pisces: Atherinidae) del lago de Pátzcuaro Mich. México. Escuela de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Tesis de Licenciatura en Biología. 81 pág.
- ARREDONDO, F. J. L. 1998. Sistemática Molecular y Poblacional de Especies del Género *Chirostoma* (Pisces: Atherinidae). Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-I). CONABIO: 1-31.
- BARBOUR, C.D. 1973a. A Biogeographical History of *Chirostoma* (Pisces: Atherinidae): A Species Flock from the Mexican Plateau. *Copeia*. (3): 532-556.
- BARBOUR, C.D. 1973b. The Systematic and Evolution of the Genus *Chirostoma* Swainson (Pisces: Atherinidae), *Tul. Stud. Zool Bot.* 18(3):97-141.

- BARRIGA, S. I. A. 2003. La Importancia de los estudios de genética molecular en el género *Chirostoma*. Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-I). CONABIO: 5-11.
- BRADBURY, J. P. 2000, Limnologic history of lago of Pátzcuaro, Michoacán, México for the past 48,000 years: impacts of climate and man. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 163:69-95.
- CHACÓN, T. A., L. G. ROSS AND M. C. M. BEVERIDGE. 1989. Lake Pátzcuaro. México: results of a new morphometric study and its implications for productivity assessments. *Hydrobiología*. 184:125-132.
- CHACÓN, T. A., M. R. PÉREZ y I. E. MÚZQIZ. 1991. Síntesis Limnológica del Lago de Pátzcuaro, Mich. México. Biología Acuática 1. Escuela de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. 48 pág.
- DE BUEN, F., 1941a. Las variaciones físicas y químicas de las aguas del lago de Pátzcuaro, desde octubre de 1939 a marzo de 1941. *Invest. Est. Limn. Pátzcuaro*. 7:1-25.
- DE BUEN, F. 1941b. Huevos, crías, larvas y jóvenes de *Chirostoma* del lago de Pátzcuaro. *Invest. Est. Limn. Pátzcuaro*. 3: 1-14.
- DE BUEN, F. 1944. Los lagos Michoacanos II. Pátzcuaro. *Rev. Soc. Mex. Nat.* 5(1-2): 99- 125.
- DILLON, R., 1991. How to read a gel: Electroforesis 2. *Genetics*. 22(4):60-61.
- ECHELLE, A. A. and A. F. ECHELLE. 1984. Evolutionary Genetics of a “Species flock”. Atherinid fishes on the Mesa Central of Mexico. *In: Evolution of fish species flock*. Echelle A. & Y. Kronfield (Eds). University of Orono Press. Orono, Maine. p 111-127.
- ECHELLE, A. A., A. F. ECHELLE and D. R. EDDS. 1987. Population structure of four pupfish species (Cyprinodontidae: Cyprinodon) from the Chihuahua desert region of the new Mexico and Texas: Allozymic variation. *Copeia*. (3):668-681.
- ECHELLE, A. F., A. A. ECHELLE and D. R. EDDS. 1989. Conservation Genetics of a spring dwelling desert fish, the pecos gambusia (*Gambusia nobilis*, Poeciliidae). *Conservation Biology*. 3(2): 159-169.
- ESPINA, S., J. LATOURNERIE, A. SANCHEZ Y M. E. VEGA. 1988. Determinación de los Elementos del Balance Energético en el Pescado Blanco Adulto. *Chirostoma estor* (Pisces: Atherinidae). *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol.* UNAM. 15(1):185-194.
- ESPINOSA, N. M. 1941. Estudio biomatemático del pescado blanco (*Chirostoma estor* Jordan). *Invest. Est. Limn., Pátzcuaro*. 8: 1-8.

- ESTRADA, R. M. C. 1991. Verificación a nivel experimental de la existencia de híbridos entre las especies *Chirostoma estor* y *Chirostoma grandocule* (Pisces: Atherinidae) del lago de Pátzcuaro, Mich. México. Escuela de Biología. Universidad Michacana de San Nicolas de Hidalgo. Tesis de Licenciatura en biología. 113 pág.
- FAO/PNUMA. 1984. **Conservación de los recursos genéticos de los peces: problemas y recomendaciones.** Informe de la Consulta de Expertos sobre los recursos genéticos de los peces. *FAO Doc. Téc. Pesca.* (217): 42 pág.
- FONDO MEXICANO PARA LA CONSERVACION DE LA NATURALEZA. 2001. **Aportes al Proyecto Pátzcuaro: Estudios, Propuestas y Avances para la Restauración de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro.** SEMARNAT.
- GARCÍA DE LEON, E. J. 1985. Relaciones alimenticias y reproductivas entre *Chirostoma estor*, Jordan y *Micropterus salmoides* Lacepede, en el Lago de Pátzcuaro, Mich. México. 8vo. *Congreso Nacional de Zoología.* Memorias 1. Agosto. 26-30: 41-48.
- GONZÁLEZ, M. A. 1978. Pátzcuaro la muerte de un lago. *Técnica pesquera.* agosto-septiembre: 22-28.
- GONZÁLEZ, V. L. I. 1982. Las isozimas deshidrogenasa isocítrica NADP específicas del teleosteo *Fundulus heteroclitus* (Linneaus). Tesis de Doctorado en Ciencias. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autonoma de México. 241 pág.
- GORDON, H. 1975. **Electroforesis de proteínas en geles de poliacrilamida y de almidón.** Serie técnicas de laboratorio en bioquímica y biología molecular. El Manual Moderno. México D. F. 132 pág.
- HAERING, P. F. J. 1975. **Métodos de hidrobiología: Biología del agua dulce.** Madrid. Ed. Herman Blume ediciones. 261 pág.
- HARTL, D. L. and A. G. CLARK. 1989. **Principles of population Genetics.** 2nd edition. Sinauer, Sunderland, Massachusetts. 682 pp.
- HEDRICK, P. W. 1983. **Genetics of populations.** Science books Int. Boston USA. 629 pp.
- HERNÁNDEZ, L. J., M. S. SABANERO, A. R. L. VIVEROS y H. I. RAMÍREZ. 1990. Infecciones gastrointestinales relacionadas con el consumo de agua contaminada en la región de Pátzcuaro, Michoacán. Compendio de estudios de investigación del lago de Pátzcuaro Mich. *Inst. Nal. de la Pesca:* 107-122.
- HERRERA, E. 1979. Características y manejo del Lago de Pátzcuaro, Mich. Tesis en Licenciatura en biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autonoma de México. 54 pág.

- HILLIS, D. M. and C. MORITZ. 1990. **Molecular Systematics**. Sinauer Associates. Inc. USA, 567 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE LA PESCA. 2003. **Historia y Avances del Cultivo de Pescado Blanco**. Dirección General de Investigación en Acuicultura. SAGARPA. 292 pag.
- INSTITUTO NACIONAL DE LA PESCA. 2005. **Pesquería de aguas Continentales: La Pesquería en el Lago de Pátzcuaro**. Dirección General de Investigación en Acuicultura. SAGARPA: 793-8 19.
- ISRADE, I. y V. H. GARDUÑO. 2001. Generación de Residuos Peligrosos en el Entorno de el Lago de Pátzcuaro. *Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza* (SEMARNAT): 1-10.
- JAUREGUI, E. 1997. Climate changes in Mexico during the historical and instrumented periods. *Quaternary International*. 43(44):7.-17.
- KRAMER, D. L. 1987. Dissolved oxygen and fish behavior. *Environmental Biology of Fishes*. 18 (2):81-92.
- LAGLER, K. F., J. E. BARDACH, R. R. MILLER Y D. R. MAY PASSINO. 1977. **Ichthyology**. Ed. John Wiley and Sons. USA. 506 pp.
- LEHNINGER, A. L. 1982. **Bioquímica: Las Bases moleculares de la estructura y función celular**. Ed. Omega. Barcelona. 887 pág.
- LEDESMA, A. P. C. 1990. Análisis de fases ontogénicas primarias y reconocimiento del híbrido obtenido por fecundación artificial entre *Chirostoma attenuatum* y *Chirostoma patzcuaro* (Pisces: Atherinidae) del lago de Pátzcuaro, Mich., México. Escuela de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Tesis de Licenciatura en Biología. 91 pág.
- LEVENE, H. 1949. On a Matching Problem Arising in Genetics. *Annual mathematics and statistica*. 20: 91-94.
- LI, C. C. and D.G. HORVITZ. 1953. Some methods of estimating the inbreeding coefficient. *Amer. J. Human Gen.* (June), 5(2): 107-117.
- LIZÁRRAGA DE TAMAYO, E.Y. 1981. Composición de tallas, pesos, sexos y relaciones biométricas del pescado blanco (*Chirostoma estor* Jordan, 1879). Tesis Profesional. IPN. 49 pág.
- LIZÁRRAGA, O.E. y D.P. TAMAYO. 1990. Aspectos poblacionales del pescado blanco (*Chirostoma estor* Jordan, 1879) en el lago de Pátzcuaro, Mich., Durante un ciclo anual. Compendio de estudios de investigación del lago de Pátzcuaro Mich. *Inst. Nal. de Pesca*: 4-27.

- MARTÍNEZ-PALACIOS, C.A., M.G. RÍOS-DURÁN, M.A. CAMPOS, C.E. TOLEDO y L.G. ROSS. 2002. Avances en el Cultivo del Pescado Blanco de Pátzcuaro *Chirostoma estor estor*. Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales (UMSNH): 336-351.
- MARTÍNEZ-PALACIOS, C.A., G.M. RÍOS-DURÁN, M.A. CAMPOS, C.E.M. TOLEDO, V.M.C. AGUILAR y L.G. ROSS. 2003. Desarrollo Tecnológico alcanzado en el cultivo del pez Blanco de Pátzcuaro. *Instituto Nacional de la Pesca*: 169-189.
- MARTÍNEZ-PALACIOS, C A. y L.G. ROSS. 2005. Pátzcuaro Hoy: Rescate del Pez Blanco. *Ciencia y Desarrollo*. (enero-febrero): 24-29.
- MARTÍN DEL CAMPO, R. 1940. Los vertebrados de Pátzcuaro. *An. Inst. Biol, Univ. Nal. Autón. Mex.* México. 1 1(2):481-492.
- MAYR, E. 1968. **Especies Animales y Evolución**. Ed. Ariel. Chile. 808 pág.
- METTLER, L. y T. GREGG. 1972. **Genética de las Poblaciones y Evolución**. UTHEA. México. 245 pág.
- MILLER, R. R. 1986. Composition and Derivation of the Freshwater Fish fauna of México. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol. University of Michigan, USA.* 30:121-153-
- MILLER, R. R. and M. L. SMITH. 1986. Origin and Geography of the fishes of Central Mexico. Pp. 491-519. In: "The Zoogeography of North American Freshwater Fishes". Hoccut C. R. and E. O. Wiley, (Eds.) John Wiley and Sons. New York.
- MILLER, R.R.W.L. MINCKLEY S. M. NORRIS. 2009. Peces Dulceacuicolas de México. México. Ed. CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 559 pág.
- MONTOYA, J. C., D. M. ARIAS, B. L. REY y P. J. ROCHA. 2005. Caracterización Molecular de Materiales *Elaeis guineensis* Jacq. Procedentes de Angola. *Fitotecnica Colombiana*. (julio-diciembre). 5 (2):1-10.
- MOYLE, P. B. AND J. J. CECH. 2004. **Fish: Introduction to Ichthyology**. 5ta. Edition. EUA. Ed. Pearson. 726 pág.
- NEI, M. 1973. Analysis of Gene Diversity in Subdivided Populations. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. (Diciembre). 70(12): 3321-3323.
- NEI, M. 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics*. 89:583-590.
- NEI, M. 1987. **Molecular Evolutionary Genetics**. Columbia University Press. New York. NY. 512 pp.

- OLVERA, G. H. J. 1988. Estudio Citogenético del charal *Chirostoma jordani* (Pisces: Atherinidae) del lago viejo de Chapultepec de la ciudad de México. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 49 pág.
- O'HARA, S. L. and S. E. METCALFE. 1997. The Climate of Mexico Since the Aztec Period. *Quaternary International*. 43(44): 25-31.
- ORBE, M. A. y G. J. ACEVEDO. 1995. El lago de Pátzcuaro. In: **Lagos y Presas de México**. De la Lanza E.G. y C.J.L. García (compiladores). Centro de Ecología y Desarrollo, A.C. (Ed). México. 320 pág.
- OSEGUERA, F. L. 1990. Caracterización morfológica de los estadios embrionarios y juveniles de *Chirostoma grandocule* Steindachner (1896) y verificación del híbrido con *Chirostoma attenuatum* Meek (1902) del Lago de Pátzcuaro, Mich., México. Escuela de Biología. Tesis de licenciatura en biología. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. 108 pág.
- OSORIO-SARABIA, D., G. PÉREZ-PONCE DE LEÓN y L. J. GARCÍA-MÁRQUEZ. 1986. Helminfos de peces en Pátzcuaro, Michoacán II: Estudio Histopatológico de la Lesión Causada por Metacercarias de *Posthodiplostomum minimum* (Trematoda: Diplostomatidae) en hígado de *Chirostoma estor*. *An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. Mex. Ser. Zool.* 57 (2): 247-260.
- OSORIO, T. B. F. 1944. Biodinámica del lago de Pátzcuaro. I. Ensayo de interpretación de sus relaciones tróficas. *Rev. Soc. Méx. Hist. Nat.* 5 (3-4):197-227.
- PIÑERO, D. 2008. La variabilidad genética de las especies: aspectos conceptuales y sus aplicaciones y perspectivas en México, Vol 1: Conocimiento actual de la biodiversidad. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, México, 415-435 pág.
- POVH, J. A., B. N. M. LOPERA, R. P. RIBEIRO, E. LUPCHINSKI, P. C. GOMES y T. S. LOPES. 2008. Monitoreo genético en programas de repoblamiento de peces mediante marcadores moleculares. *Cien. Inv. Agr.* 35(1):5-15.
- RAMÍREZ, C. C. y Q. Q. M. del C. JIMÉNEZ. 1992. Caracterización Físicoquímica del Lago de Pátzcuaro: 1-22.
- RAUDA, O. J. y F. J. GARCÍA DE LEÓN. 1989. Análisis trófico de *Chirostoma patzcuaro* (Meek, 1902), (Pisces: Atherinidae) del lago de Pátzcuaro, Mich. México. *Boletín de la Coordinación de la Investigación Científica*. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. 13:23-29.
- RICHARDSON, B. J., P. R. BAVERSTOCK and M. ADAMS. 1986. **Allozyme electroforesis**. A handbook for animal systematics and population studies. Academic press. Australia. 410 pp

- ROJAS, C.P.M, B.M.L. JIMÉNEZ, D.P. TOLEDO y B.L.G. MARES. 1990. Estimación de algunos parámetros biológicos-pesqueros del charal blanco *Chirostoma grandocule* Steindachner, 1894 (Pisces: Atherinidae) del lago de Pátzcuaro, Mich. Compendio de estudios de investigación del Lago de Pátzcuaro, Mich. *Inst. Nal. de Pesca*: 84-106.
- ROJAS, C.P.M., B.M.L. JIMÉNEZ y D.M.P. TOLEDO. 1993. Estimación de los parámetros de crecimiento del ciclo de madurez gonádica del charal blanco *Chirostoma grandocule*, Steindachner, 1894 (Pisces:Atherinidae) del Lago de Pátzcuaro, Mich. *Ciencia Pesquera*. 10: 69-76.
- ROJAS-CARRILLO, P.M. 2006. Aspectos reproductivos del “charal prieto” *Chirostoma attenuatum* (Meek, 1902) del Lago de Pátzcuaro; Mich. Nuevas líneas de investigación en Atherinidos de México. *Hidrobiológica*. 16(1): 1-9.
- ROJAS, Z. A. 2001. El Rescate de la Cuenca de Pátzcuaro: Una misión Colectiva. *Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza* (SEMARNAT): 1-13.
- ROSAS, M. M. 1976. Peces dulce acuícolas que se explotan en México y datos sobre su cultivo. *Inst. Nal. de la Pesca*. Área de Alimentos. México. No.1 135 pág.
- ROSAS, I., A. VELASCO, R. BELMONT, A BÁEZ and A. MARTÍNEZ. 1993. The algal community as an indiador of the trophyc status of lake Pátzcuaro. México. *Environmental pollution*. 80:255-264.
- RYMAN, N. and F. UTTER. 1988. **Population Genetics and Fishery Management**. Ed. Washington Sea Grant Program. University of Washington, USA. 420 pp.
- SABANERO, M. R. y L. J. HERNÁNDEZ. 1990. Incidencia de sanguijuelas (Hirudíneos) en el pescado blanco (*Chirostoma estor*) en el lago de Pátzcuaro, Mich. Compendio de estudios de investigación del lago de Pátzcuaro Mich. *Inst. Nal. de Pesca*: 28-40.
- SANTOYO, G.V.O. 2006. Crecimiento y Reproducción del pez blanco *Chirostoma estor estor*, Jordan, 1879 (Pisces: Atherinopsidae) en un sistema cerrado de recirculación de agua. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Fac. de Biología. Tesis de Licenciatura en biología. 53 pág.
- SELANDER, R. K., D. A. CAUGANT, H. OCHMAN, J. M. MUSSER, M. N. GILMOUR and T. 5. WHITTAM. 1986. Methods of multilocus enzyme electroforesis for bacterial population genetics and systematics. *Applied and Enviromental Microbiology*. 51(5):873-884.
- SECRETARÍA DE PESCA. 1980. El pescado blanco. *Boletín Informativo del Departamento de Pesca*. México. Junio (198): 9-10.
- SHAW, C. R. and R. PRASAD. 1970. Starch gel electrophoresis of enzymes -A compilation of recipes. *Biochemical Genetics*: 297-320.

- SLATKIN, M. 1994. **Gene Flow and Population Structure**: In Ecological Genetics. Ed. L. Real Princenton. 11 pp.
- SOLÓRZANO, P. A. 1961. Contribución al conocimiento de la biología del charal prieto del Lago de Pátzcuaro, Michoacán (*Chirostoma bartoni* Jordan y Everman, 1896). Secretaría de Industria y Comercio. *Dir. Gral. de Pesca e Industrias Conexas*. 67 pág.
- SOLÓRZANO, P. A. 1963. Algunos aspectos biológicos del pescado blanco del lago de Pátzcuaro, Mich. *Dir. Gral. de Pesca e Ind. Conexas*. 14 pág.
- SORIA-BARRETO M. y J. PAULO-MAYA. 2005. Morfometría comparada del aparato mandibular en especies de *Chirostoma* (Atheriniformes: Atherinopsidae) del Lago de Pátzcuaro, Michoacán. México. *Hidrobiología*. 15 (2 Especial): 161-168.
- SWOFFORD, D. L. and R. B. SELANDER. 1981. BIOSYS-1: a Fortran program for the comprehensive analysis of electrophoretic data in population genetics and systematics. *J. Heredity*. 72:281-283.
- TÉLLEZ, C., C. L. SÁNCHEZ y L. LÓPEZ. 1978. Informe técnico preliminar de la comisión realizada al Lago de Pátzcuaro, Mich. *Dir. Gral de Pesca*. Manuscrito. 330 pág.
- TORRES-OROZCO, B. R. 1990. **Los peces Mexicanos**. Ed. AGT Editor. México. 235 pág.
- VILLASEÑOR, G. L. E. 2005. **La Biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado**. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Mexico. 266 pág.
- WEIR, B.S. 1990. **Genetic data analysis: Methods for discrete population genetic data**. Sunderland: Sinauer Associates. 377pp.
- WILLOUGHBY, L. G. 1978. **Freshwater Biology**. Ed. Hutchinson of London. 167 pp.
- WORKMAN, P. L. and J. D, NISWANDER. 1970. Population studies on Southwestern Indian Tribes. II, Local genetics differentiation in the Papago. *Amer. J. Human Gen.* 22: 24-29.
- XIRAU, J. 1941. Nota sobre el ciclo del NaCl (Cl) en el *Chirostoma estor* del lago de Pátzcuaro. *Invest. Est. Limn. Pátzcuaro*. 4: 1-3.

ANEXO I

BUFFER DE EXTRACCIÓN DE PROTEÍNAS

Tejidos músculo, ojo e hígado

Tris	0.01 M
EDTA	0.001M
pH 6.8	ajustado con HCl 1 M

*Según el tamaño de la muestra agregar dos terceras partes de la solución.

ANEXO II

PROTOCOLOS DE LOS SISTEMAS DE BUFFERS

Sistema I: 0.155M de Tris y 0.043 M de ácido cítrico a pH= 7.0 (Shaw y Prasad, 1970)

Buffer electrodos:

Tris-citratos (pH 7.0)
16.35g de Tris (1.55M)
9.04g de ácido cítrico (0.043M)
1 litro de agua

Buffer del gel:

Tris-citratos (pH 7.0)

*Diluir 66.7ml del Buffer del electrodo para 1 litro de agua.

Sistema A: Tris- Citrato pH=8.0 (Selander, *et. al*, 1986)

Buffer electrodos:

Tris-citratos (pH 8.0)
83.20g de Tris (T1378)
33.09g de ácido cítrico monohidratado
1 litro de agua

Buffer del gel:

Tris-citratos (pH 8.0)

Buffer del electrodo diluido 1:29

ANEXO III

RECETAS DE TINCIÓN

*Malato deshidrogenasa dependiente del NAD (MDH-1) E.C. No. 1.1.1.37

Pesar:		
DPN (=NAD)		8 mg
NBT		8 mg
NaCN		25 mg

Añadir:		
0.2 M Tris-HCl pH 8.0		50 ml
1 M DL-Malato pH 7.8		5 ml
PMS 1%		0.1 ml

*Incubar en la oscuridad a temperatura ambiente

*Isocitrato deshidrogenasa dependiente del NADP (IDH) E.C. No. 1.1.1.42

Pesar por separado:		
1. Ácido isocítrico, sal Trisódica		150 mg
2. Agar		0.36 g

Añadir por separado:		
1. 0.2 M Tris-HCl pH 8.0		25 ml
1.0 M MgCl ₂ o al 10%		1 ml
TPN (=NADP) 1%		1 ml
MTT 1%		0.5 ml
PMS 1%		0.2 ml
2. 0.2 M Tris-HCl pH 8.0		25 ml

*Calentar hasta que hierva y se disuelva bien el agar, entonces, mezclar 1 y 2

*incubar en la oscuridad a 37°C.

*Glicerol-3-fosfato deshidrogenasa (α -GPD) E.C. No. 1.1.1.8

0.2M Tris-HCl, pH 8.0	45 ml
DL α -Glicerofosfato	0.65 g
Ácido pirúvico, sal sodio	0.2 g
NAD	0.02 g
Cuando este listo para teñir añadir:	
MTT	0.005 g
PMS	0.005 g
*Incubar a 37° C	

*Malato deshidrogenasa dependiente del NADP (MDH-2) E.C. No. 1.1.1.40

0.2M Tris HCl, pH 8.0	50 ml
0.1M MgCl ₂	1 ml
2.0M DL-ácido málico, pH 8.0	5 ml
NADH	0.02 g
5 mg/ml NBT	1 ml
5mg/ml PMS	1 ml
*NADP dependiente del malato deshidrogenasa.	

*Lactato deshidrogenasa (LDI-T) E.C. No. 1.1.1.27

0.2 M Tris, pH 8.0	50 ml
DL- ácido láctico	0.1 g
NAD	0.02 g
NBT	0.004 g
PMS	0.002 g

*Fosfoglucoasa isomerasa (PGI) E.C. No. 5.3.1.9

Pesar:		
	D-fructuosa-6-fosfato, sal disódica	20 mg
Añadir:		
	0.1M Tris-HCl pH 7.5	50 ml
	Glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (10u/ml)	3 ml
	1M MgCl ₂ o al 10%	1 ml
	TPN (=NADP) 1%	1 ml
	MTT	1 ml
	PMS 1%	0.5 ml

*Incubar en oscuridad a temperatura ambiente.

*Fosfoglucomutasa (PGM) E.C. No. 2.7.5.1

Pesar:		
	Glucosa-1 -fosfato (sigma G- 1259)	50 mg
Añadir:		
	1 M Tris-HCl pH 8.0	5 ml
	H ₂ O destilada	40 ml
	1 M MgCl ₂	1 ml
	Glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (10u/ml)	3 ml
	TPN (=NADP) 1%	1 ml
	MTT	1 ml
	PMS 1%	0.3 ml

*Incubar en la oscuridad a temperatura ambiente

*Esterasa (EST) E.C. No. 3.1.1.1

Sustrato:

α, β -naftil acetato	
α -Naftil acetato	1 g
β -Naftil acetato	1 g
Acetona	50 ml
H ₂ O	50 ml

Tinción:

Fast blue RR	0.1 g
0.5 M Tris-HCl, pH 7.1	10 ml
1% α, β -naftil acetato	3 ml
H ₂ O	87 ml

*Incubara a temperatura ambiente, lavar y fijar.

*Glutamato oxalacetato deshidrogenasa (GOT) E.C. No. 2.6.1.1

Fast Blue BB salt	0.1 g
0.2 M Tris-HCl, pH 8.0	50 ml
Ácido L-Aspártico	0.05 g
Pyrodoxan 5'-fosfato (P9255)	0.001 g
Ácido α -Ketoglutarico	0.1 g

ANEXO IV

Resultados genéticos no empleados en el estudio genético por la baja cantidad de datos encontrados, para el grupo 4 *Chirostoma estor estor* y el grupo 5 *Chirostoma attenuatum*.

Ojo

Locus	MDH-1	IDH	MDH-2	LDH	EST	PGM	PGI	GOT
	n=5	n=4	n=2	n=6	n=5	n=6	n=6	n=3
Grupo 4 <i>Ch. estor</i> (n=37)	2(aa) 2(ab) 1(bb)	2(aa) 1(ab) 1(bb)	2(ab)	5(ab) 1(bb)	3(aa) 2(ab)	2(aa) 1(ab) 1(bb) 2(bc)	6(ab)	3(bb)
	n=2	n=2	n=1	n=1	n=2	n=2	n=2	n=1
Grupo 5 <i>Ch. attenuatum</i> (n=13)	ab ab	ab ab	aa	aa	aa aa	ac ab	ab ab	ab

Músculo

Locus	MDH-1	IDH	α -GPD	MDH-2	LDH	EST	PGM	PGI
	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=4	n=6	n=6
Grupo 4 <i>Ch. estor</i> (n=46)	6(ab)	1(aa) 5(ab)	6(ab)	6(ab)	6(ab)	1(aa) 2(ab) 1(bb)	1(ab) 3(bc) 2(ac)	6(ab)
	n=2	n=2	n=2	n=2	n=2	n=0	n=2	n=2
Grupo 5 <i>Ch. attenuatum</i> (n=14)	ab ab	ab aa	ab ab	aa aa	ab aa		ab ab	ab ab

Hígado

Locus	MDH-1	IDH	MDH-2	LDH	EST	PGM	PGI	GOT
	n=4	n=4	n=1	n=1	n=5	n=4	n=6	n=5
Grupo 4 <i>Ch. estor</i> (n=30)	4(ab)	1(aa) 2(ab) 1(bb)	1(ab)	1(aa)	1(aa) 1(ab) 3(bb)	3(bb) 1(bc)	4(aa) 2(ab)	2(aa) 3(ab)
	n=1	n=1	n=1	n=0	n=2	n=2	n=1	n=2
Grupo 5 <i>Ch. attenuatum</i> (n=10)	ab	bb	aa		bb ab	aa bc	ab	ab bb

Ojo

Locus	MDH-1	IDH	MDH-2	LDH	EST	PGM	PGI	GOT
	n=5	n=4	n=2	n=6	n=5	n=6	n=6	n=3
Grupo 4 <i>Ch. estor</i> (n=37)	a:0.6 b:0.4	a:0.625 b:0.375	a:0.5 b:0.5	a:0.417 b:0.583	a:0.8 b:0.2	a:0.417 b:0.417 c:0.166	a:0.5 b:0.5	a:0 b:1
	n=2	n=2	n=1	n=1	n=2	n=2	n=2	n=1
Grupo 5 <i>Ch. attenuatum</i> (n=13)	ab ab	ab ab	aa	aa	aa aa	ac ab	ab ab	ab

Músculo

Locus	MDH-1	IDH	α -GPD	MDH-2	LDH	EST	PGM	PGI
	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=4	n=6	n=6
Grupo 4 <i>Ch. estor</i> (n=46)	a:0.5 b:0.5	a:0.583 b:0.417	a:0.5 b:0.5	a:0.5 b:0.5	a:0.5 b:0.5	a:0.5 b:0.5	a:0.25 b:0.333 c:0.417	a:0.5 b:0.5
	n=2	n=2	n=2	n=2	n=2	n=0	n=2	n=2
Grupo 5 <i>Ch. attenuatum</i> (n=14)	ab ab	ab aa	ab ab	aa aa	ab aa		ab ab	ab ab

Hígado

Locus	MDH-1	IDH	MDH-2	LDH	EST	PGM	PGI	GOT
	n=4	n=4	n=1	n=1	n=5	n=4	n=6	n=5
Grupo 4 <i>Ch. estor</i> (n=30)	a:0.5 b:0.5	a:0.5 b:0.5	a:0.5 b:0.5	a:1 b:0	a:0.3 b:0.7	a:0 b:0.875 c:0.125	a:0.833 b:0.167	a:0.7 b:0.3
	n=1	n=1	n=1	n=0	n=2	n=2	n=1	n=2
Grupo 5 <i>Ch. attenuatum</i> (n=10)	ab	bb	aa		bb ab	aa bc	ab	ab bb