



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS

FACULTAD DE BIOLOGÍA

“Ecología trófica de *Chirostoma jordani* (Woolman, 1894) en
el lago de Cuitzeo”.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN)

PRESENTA

BIOL.VALENTIN MAR SILVA

DIRECTOR DE TESIS: DOCTOR EN CIENCIAS MARTINA MEDINA NAVA

MORELIA MICHOACÁN

MARZO 2015

DEDICATORIA

A mis padres, que fueron el origen de todo.

A mis hermanos, que son mis compañeros de vida.

A mi asesora, que realmente siento como parte de mi familia.

A mi esposa, que es motor, motivo, fuerza, impulso, razón y sinrazón de mi vida...

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco el apoyo económico del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), sin el soporte financiero a través de la beca recibida no hubiera sido posible este trabajo.

Una mención especial se merecen los miembros de mi comité revisor, cinco grandes investigadores que sin importar lo mucho que están ocupados siempre me hacen un espacio y tienen la paciencia para atenderme y orientarme.

A la doctora Irene de los Ángeles Barriga Sosa, cuyo apoyo e impulso hoy hacen de mi persona un mejor profesional en lo que hago, le agradezco que me haya animado a intentar tópicos que eran nuevos para mí, aún nos falta terminar esa publicación.

A la doctora Yvonne Herreras Diego, una gran maestra y amiga, sin su conocimiento y apoyo en los análisis no hubiera terminado. He aprendido mucho de ella y lo poco que ahora sé de estadística se lo debo, gracias por acompañarme, alentarme y apurarme. No alcanzaría a expresar lo agradecido que estoy contigo.

Al doctor Rodrigo Moncayo Estrada, a él le debo mucha parte del conocimiento que tengo de análisis de contenido estomacal. Sin sus cursos, su orientación y consejo oportuno este trabajo no se hubiera finalizado. Gracias por todo su apoyo.

Al doctor Omar Domínguez Domínguez su consejo en el momento adecuado me centro en el camino que hoy recorro. Su temple y seriedad para la investigación y el ejemplo de abnegación y dedicación que pone en su trabajo me inspiran a seguir. Siempre muy oportuno en sus comentarios. Además le agradezco enormemente el apoyo económico que siempre nos da, sin el mismo nunca hubiera podido terminar el trabajo de campo.

A mi asesora Tina...La gran heroína de nuestras tesis. Le debo su apoyo, su dedicación hacia mi trabajo, su calidez como persona (mamá académica), su entereza a pesar de la adversidad. Le agradezco muchísimo creer en mí y confiar en mis habilidades, espero no defraudarla. Años atrás cuando estuve planeando donde y con quien hacer mi maestría decidí que usted era la más indicada para acrecentar mi formación y hoy, tras terminar, estoy muy contento de esa decisión. Le debo infinitamente, gracias.

A Alejandra Paez y la doctora Ruth Alfaro, su soporte financiero e impulso fueron decisivos para que este proyecto se pudiera concluir. Espero que mi trabajo sea de ayuda en su investigación. Espero que en el futuro podamos seguir colaborando. Gracias.

A mis hermanos, a Adán que siempre está conmigo, que es siempre luz en el camino. Especialmente al Enano, su apoyo como hermano y profesional me permitieron terminar la parte de laboratorio, te agradezco mucho tu ayuda.

A mi Madre que siempre me acompaña y no me deja caer, mi carrera se la debo toda a su dedicación y cuidados.

A mi Padre cuyo ejemplo y dedicación son todo para mí, sus consejos me han hecho mejor persona.

A mi esposa Ivette, lo eres todo pequeña... Así de sencillo.

A Juanpa el ahora doctor que me dejó tantas enseñanzas, a Bere de la cual aprendí muchísimo y hoy por hoy le agradezco mucho.

A todos mis compañeros de laboratorio, sin su ayuda este proyecto no sería nada. A Marisol, Marín, Flor, Arely y Peter que colaboraron en campo de Cuitzeo. A los recién llegados Richie y Marisela.

A mis amigos todos...

GRACIAS

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	i
LISTA DE CUADROS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
RESUMEN.....	vii
SUMMARY	viii
1.-INTRODUCCIÓN.....	1
2.-ANTECEDENTES	2
2.1.- El lago de Cuitzeo	2
2.2.- Modelo de estudio.....	8
2.3.- La ecología trófica y su aplicación.....	10
3.-OBJETIVOS	13
3.1.- General.....	13
3.2.- Particulares.....	13
4.-HIPOTÉISIS.....	13
5.-ÁREA DE ESTUDIO.....	14
5.1.- Ubicación.	14
5.3.- Hidrología.....	15
5.4.- Vegetación.	17
5.5.- Fauna.....	17
6.-LITERATURA CITADA	19
7.-“DINÁMICA TRÓFICA DE LA ESPECIE NATIVA <i>CHIROSTOMA JORDANI</i> (WOOLMAN, 1894) EN EL LAGO DE CUITZEO, MICHOACÁN.”	23
8.-RESUMEN	24
9.-INTRODUCCIÓN	24
10.-MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
10.1.--Área de estudio	27
10.2.- Temporadas y sitios de colecta.....	27
10.3.- Método de recolecta.....	29
10.4-Descripción y diagnosis.....	29
10.5.-Análisis de muestras para contenido estomacal.....	31
10.5.1.- Análisis cualitativo.....	31

10.5.2.- Análisis cuantitativo	32
10.6.- Índice de importancia relativa (IIR).	32
10.7.-Estrategia trófica.....	32
10.8.- Amplitud de dieta.....	33
10.9.- Posición trófica.	33
10.10.-Análisis estadísticos.....	34
11.-RESULTADOS.	35
11.1.1-Diagnosis	35
11.1.2-Descripción.....	35
11.1.3.- Comparación de las medidas lineales y variables merísticas.....	37
11.2-ANÁLISIS DE CONTENIDO ESTOMACAL	39
11.2.1.-Tamaño de muestra.....	39
11.2.2-Descripción de la dieta.....	39
11.2.4.-Cuantificación de la dieta.....	40
11.2.5.-Presas clave	44
11.3.-Estrategia trófica e importancia de las presas.	45
11.3.1.-Temporada de lluvias	45
11.3.2 Temporada de secas I	49
11.3.3.-Temporada de secas II	52
11.4.-Amplitud de dieta.....	56
11.5.-Variación espacial de la amplitud de dieta.....	58
11.6.-Nivel y gremio trófico.....	60
12.-DISCUSIÓN.....	61
13.-CONCLUSIONES GENERALES.....	67
14.-LITERATURA CITADA.	68
15.-ANEXOS.....	74

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo.	27
Cuadro 2. Caracterización físico-química de los sitios de muestreo, se indica el promedio para cada variable y entre paréntesis el máximo y mínimo. En negritas se destacan los valores más altos. (SA: San Agustín; PA: La Palma; AN: Andocutín; QO: Estación Querendaro; RI: Iramuco) .	28
Cuadro 3.- Variables morfométricas y merísticas empleadas en la diagnosis de <i>Chirostoma jordani</i> . En la columna de la izquierda se muestra la etiqueta utilizada y la descripción en la columna derecha.	29
Cuadro 4. Variables relevantes en la identificación de <i>C. jordani</i> . Se representan en porcentaje de longitud patrón, entre paréntesis se encuentra el promedio de cada variable siempre y cuando este dato fuera disponible.	35
Cuadro 5. Variables morfométricas para <i>C. jordani</i> del lago de Cuitzeo. Las etiquetas se presentan de acuerdo al cuadro 2, se expresan las mediciones en mm.	36
Cuadro 6. Eigenvalores y porcentaje de confianza acumulados en los primeros componentes principales de medidas morfométricas y merísticas de <i>C. jordani</i> del lago de Cuitzeo.	37
Cuadro 7 Gama trófica de <i>C. jordani</i> del lago de Cuitzeo. Se muestra la etiqueta utilizada en el estudio y el artículo o componente trófico al que pertenece.	39
Cuadro 8. Amplitud de nicho utilizando el índice de diversidad (Shannon: H') y dominancia (Simpson: D) para la dieta de <i>C. jordani</i> del lago de Cuitzeo. Se indica el número de artículos alimenticios para cada una de las clases de talla (CI, CII, CIII) de los cinco sitios (AN, QO, RI, SA, PA), durante las tres temporadas (LLUVIAS, SECAS I y SECAS II)	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en el Lago de Cuitzeo	28
Figura 2. Diagrama de las variables morfométricas y merísticas usadas en la diagnosis de <i>Chirostoma jordani</i> del lago de Cuitzeo.	30
Figura 3 Gráfica del primer y segundo eje del Análisis de Componentes Principales usando 20 variables morfométricas de <i>C. jordani</i> (Medidas originales sin transformación “o”), en cinco sitios del lago de Cuitzeo.	38
Figura 4 Gráfica del primer y segundo eje del Análisis de Componentes Principales usando ocho variables morfométricas de <i>C. jordani</i> (Medidas originales sin transformación “o”), en cinco sitios en el lago de Cuitzeo.	38
Figura 5. Curva de acumulación de presas de <i>Chirostoma jordani</i> en el lago de Cuitzeo (Mao Tau) .	39
Figura 6. Índice de importancia relativa (IIR porcentual) para las presas que componen la dieta de <i>C. jordani</i> , por clase de talla, en cada uno de los cinco sitios (en orden oeste-este SA, PA, AN, QO y RI), durante la temporada de lluvias.	41
Figura 7. Índice de importancia relativa (IIR porcentual) para las presas que componen la dieta de <i>C. jordani</i> , por clase de talla, en cada uno de los cinco sitios (en orden oeste-este SA, PA, AN, QO y RI), durante la temporada de secas I.	42
Figura 8. Índice de importancia relativa (IIR porcentual) para las presas que componen la dieta de <i>C. jordani</i> , por clase de talla, en cada uno de los cinco sitios (en orden oeste-este SA, PA, AN, QO y RI), durante la temporada de secas II.	43
Figura 9. Gráfica del primer y segundo eje del análisis de CP para los artículos que componen la dieta	44
Figura 10. Diagrama trófico de las tres clases de talla de <i>C. jordani</i> , en el sitio SA, durante la temporada de lluvias. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.....	46
Figura 11. Diagrama trófico de las tres clases de talla de <i>C. jordani</i> , en el sitio PA, durante la temporada de lluvias. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.....	46
Figura 12. Diagrama trófico de las tres clases de talla de <i>C. jordani</i> , en el sitio Andocutín (AN), durante la temporada de lluvias. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.	47
Figura 13. Diagrama trófico de las tres clases de talla de <i>C. jordani</i> , en el sitio QO, durante la temporada de lluvias. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.....	48

Figura 14. Diagrama trófico de las tres clases de talla de <i>C. jordani</i> , en el sitio RI, durante la temporada de lluvias. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.....	48
Figura 15. Diagrama trófico de las tres clases de talla de <i>C. jordani</i> , en el sitio SA, durante la temporada de secas I. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.....	49
Figura 16. Diagrama trófico de las tres clases de talla de <i>C. jordani</i> , en el sitio PA, durante la temporada de secas I. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.....	50
Figura 17. Diagrama trófico de las tres clases de talla de <i>C. jordani</i> , en el sitio AN, durante la temporada de secas I. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.....	51
Figura 18. Diagrama trófico de las tres clases de talla de <i>C. jordani</i> , en el sitio QO, durante la temporada de secas I. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.....	52
Figura 19. Diagrama trófico de las tres clases de talla de <i>C. jordani</i> , en el sitio RI, durante la temporada de secas I. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.....	52
Figura 20. Diagrama trófico de las tres clases de talla de <i>C. jordani</i> , en el sitio SA, durante la temporada de secas II. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.....	53
Figura 21. Diagrama trófico de las tres clases de talla de <i>C. jordani</i> , en el sitio PA, durante la temporada de secas II. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.....	54
Figura 22. Diagrama trófico de las tres clases de talla de <i>C. jordani</i> , en el sitio QO, durante la temporada de secas II. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.....	55
Figura 23. Diagrama trófico de las clases de talla I y II, de <i>C. jordani</i> , en el sitio RI, durante la temporada de secas II. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de	

área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.....	55
Figura 24. Amplitud de dieta de <i>C. jordani</i> utilizando el índice de Levin, considerado los cinco sitios (AN, PA, QO, RI Y SA), y las tres clases de talla, durante la temporada de lluvias. En negritas se pueden apreciar los valores más altos. La línea roja indica el límite para considerar especialista o generalista a una especie.	56
Figura 25. Amplitud de dieta de <i>C. jordani</i> utilizando el índice de Levin, considerado los cinco sitios (AN, PA, QO, RI Y SA, n=1380), y las tres clases de talla, durante la temporada de secas I. En negritas se pueden apreciar los valores más altos. La línea roja indica el límite para considerar especialista o generalista a una especie.	57
Figura 26. Amplitud de dieta de <i>C. jordani</i> utilizando el índice de Levin, considerado los cinco sitios (AN, PA, QO, RI Y SA, n=1380), y las tres clases de talla, durante la temporada de secas II. En negritas se pueden apreciar los valores más altos. La línea roja indica el límite para considerar especialista o generalista a una especie.	57
Figura 27. Dinámica espacial y temporal del valor TROPH de <i>C. jordani</i> . Se representan con colores diferentes las tres temporadas (LLUVIAS, SECAS I, SECAS II) considerando los cinco sitios (AN, PA, QO, RI Y SA) Para cada una de las tres clases de talla (C-I, C-II, C-III).....	60

RESUMEN

El charal nativo de Cuitzeo (*Chirostoma jordani*) es una de las especies económicamente más importantes de las pesquerías de este cuerpo de agua. Debido a su origen evolutivo asociado a los fenómenos biogeográficos propios de la cuenca presenta características biológicas de importancia como modelo de estudio de su dinámica trófica. Poco se conoce de la variación espacial y temporal de la dieta del organismo ante la diversidad ambiental del sistema lacustre. El lago de Cuitzeo es un escenario biológico naturalmente heterogéneo, debido a los fenómenos geográficos e históricos presenta una diferenciación marcada en sus condiciones ambientales. Así mismo presenta perturbaciones actuales producto del rápido crecimiento poblacional de la ciudad de Morelia y otras localidades cercanas. Debido a esta composición ambiental del lago de Cuitzeo se espera que la composición y amplitud de dieta, además de la posición y gremio trófico de *C. jordani*, presenten diferencias espaciales durante las temporadas de lluvias y secas. El objetivo general del presente trabajo es determinar los hábitos alimenticios de *C. jordani* y su variación espacial-temporal en el lago de Cuitzeo. Para la obtención del material biológico se utilizó una red de tipo chinchorro de 30m de largo con una luz de malla de 1 cm. Mediante un análisis morfométrico se corroboró que los organismos colectados pertenecieran a la especie *C. jordani*. Se obtuvo la Longitud patrón, longitud del hocico y Peso. Posteriormente se disectaron y se extrajo el tracto digestivo. Para el análisis cuantitativo y cualitativo de la dieta se realizaron preparaciones semipermanentes del contenido estomacal y se revisaron con un microscopio óptico. Se obtuvieron un total de 1346 preparaciones semipermanentes. Se encontraron 22 artículos componentes de la dieta como: Copépodos, cladóceros, hemípteros, rotíferos, restos de pez, además de materia orgánica y algas. Los artículos preferenciales fueron los copépodos, cladóceros y hemípteros. Los análisis indican que existen diferencias en la composición de la dieta entre los sitios, con un consumo diferencial en copépodos y cladóceros entre la porción este y oeste del lago. El nivel trófico presentó diferencias temporales y es menor en la temporada de secas. El charal *Chirostoma jordani* en el lago de Cuitzeo pertenece al gremio de los zooplanctófagos y exhibe diferencias espaciales y temporales en su dieta.

SUMMARY

The native fish *Chirostoma jordani* locally known as “Charal”, is one of the most economically important fisheries species of the Cuitzeo lake. Because of its evolutionary origin associated with the natural biogeographic phenomena of the basin the Charal has biological characteristics of importance as model for studying trophic dynamics. Little is known about the spatial and temporal variation in the diet of the organism due to the environmental diversity of the lake system. Lake Cuitzeo is a naturally heterogeneous biological scenario that presents a differentiation in their environmental conditions. Also exhibits impacts as result of the current perturbation by rapid population growth of the city of Morelia. Because of this environmental composition is expected that the diet composition, diet breadth, trophic level and trophic guild of *C. jordani* exhibit spatial differences during rainy and dry seasons. The objective of this study was to determine the dietary habits of *C. jordani* and its spatial-temporal variation in Cuitzeo Lake. The fishes were caught using a seine net of 30 m long with a mesh size of 1 cm. By morphometric analysis was confirmed that the collected organisms belonged to the species *C. jordani*. The pattern length, snout length and weight was obtained. The fishes were then dissected and digestive tract extracted for further analysis. Semi-permanent preparations of stomach contents were performed and reviewed with an optical microscope for quantitative and qualitative analysis of diet. A total of 1346 semipermanent preparations were obtained. The diet composition of *C. jordani* was 22 food items including Copepods, cladocerans, Hemiptera, rotifers, parts fish, also organic matter and algae. Preferential items were copepods, cladocerans and Hemiptera. The analyzes indicate differences between sites and a differential consumption of copepods and cladocerans between the east and west portion of lake. The trophic level showed temporary differences and is lower in the dry season. The charal *Chirostoma jordani* on Lake Cuitzeo belongs to the guild of zooplanktophagus and exhibits spatial and temporal differences in their diet.

1.-INTRODUCCIÓN.

Mediante el estudio de la ecología trófica podemos determinar las interacciones energéticas de los organismos con su ambiente. Es posible de esta manera, conocer el uso de los recursos disponibles en el ecosistema por una especie o especies, la relación trófica con otras poblaciones y la amplitud de dieta que poseen. Particularmente el análisis de las tramas tróficas de peces en ecosistemas lacustres es una herramienta indispensable para comprender el flujo de la materia y energía. Estos vertebrados son conspicuos, ocupan la mayor parte de los nichos tróficos disponibles y cumplen completamente su ciclo de vida en el agua, por lo cual son dependientes de las características de los lagos que habitan.

Los sistemas acuáticos no son estáticos presentan cambios espaciales y temporales, estos fenómenos pueden ocasionar diferencias puntuales en cuanto a la composición, amplitud de dieta y nivel trófico de los peces. Particularmente el lago de Cuitzeo es ambientalmente heterogéneo de manera natural, y esta variación de sus condiciones podría tener un efecto sobre la dieta de los organismos. Aunado a esto la realidad actual de uso y perturbación del sistema por el ser humano añaden elementos a estas características medioambientales, que lo hacen un escenario biológico altamente variable. Si bien para el lago de Cuitzeo se ha determinado la composición de la dieta de las especies ícticas, son inexistentes los trabajos de estrategia trófica que impliquen la descripción de la dinámica alimentaria conforme a la heterogeneidad espacial.

La especie nativa *Chirostoma jordani* (Woolman, 1894) localmente conocida como "Charal", se eligió para estudiar como la variación ambiental influye sobre la dinámica trófica en el lago de Cuitzeo, utilizando la ecología trófica del pez. El charal de Cuitzeo *C. jordani* posee características biológicas de importancia para utilizarlo como un modelo adecuado para probar diferencias espaciales y temporales en la dieta. Esto se debe a que tuvo origen en los fenómenos naturales geológicos e históricos que han conformado la biota de la cuenca de Cuitzeo (Barbour, 1973a; Echelle y Echelle, 1984), y ocupa un nivel y gremio trófico único. La distribución de *C. jordani* es regularmente en cuerpos de agua permanentes, en embalses o ríos de caudal moderado (Miller *et al.*, 2009). En ningún otro de los lugares donde se distribuye se

presenta una dinámica ambiental como en Cuitzeo, el cual se puede desecar completamente (Alvarado-Díaz *et al.*, 1985; Israde-Alcántara *et al.*, 2010). Aunado a esto es una especie de importancia económica pues es un utilizado en la alimentación de los pobladores y es por tanto uno de los objetos de captura pesquera local más importantes. Es con este panorama que el estudio de la dinámica trófica de la especie es un interesante y totalmente inédito tópico de investigación.

Por lo tanto la pregunta de investigación es:

¿Cuál es la ecología trófica de *Chirostoma jordani* bajo la dinámica ambiental del lago de Cuitzeo?

2.-ANTECEDENTES

2.1.- El lago de Cuitzeo

La información disponible sobre el origen geológico, cambios en la cuenca, y medio físico en general son amplios, con una cantidad de trabajos y tesis publicados considerable (Bocco, *et al.*, 2012). Estos estudios comenzaron con las aportaciones del Doctor Fernando de Buen en la década de 1940, (Bernal-Brooks, 2010). Inicialmente el estudio del lago de Cuitzeo estaba enfocado a la descripción de sus características limnológicas (De Buen, 1943) y a determinar el origen y estado trófico (De Buen, 1944). Estos estudios limnológicos eran generales para todos los lagos michoacanos, pero estaban particularmente centrados sobre Pátzcuaro y Zirahuen. La información generada exclusivamente para el lago de Cuitzeo era limitada, este cuerpo de agua se consideraba como “en avanzado estado de regresión” (De Buen, 1944; Osorio-Tafall, 1946).

En ese momento histórico en particular la atención de los naturalistas hacia los lagos de la Mesa Central de México estaba orientada con el creciente auge de la geología, la biogeografía y las teorías para entender el origen y antigüedad de los cuerpos de agua (Bernal-Brooks, 2010). Se buscaba explicación al fenómeno de distribución de la biota en las cuencas, pues la mayoría de los lagos comparten a las familias Goodeidae y al género *Chirostoma*, pero variaban en cuanto a las especies presentes. De esta forma los lagos Pátzcuaro y Zirahuén eran muy similares en

composición ictiofaunística y eran diferentes con respecto a Cuitzeo (De Buen, 1943; Miller y Smith, 1986).

Posteriormente mientras avanzaba el desarrollo de la limnología tropical en México, se analizó para Cuitzeo el fenómeno de desecación recurrente que sufría el lago, con cierto interés en materia pesquera y biológico-ambiental (Mendivil, 1980; Alvarado-Díaz *et al.*, 1985). En estos estudios se determinó que la precipitación era un factor determinante en la extensión del espejo de agua y que de manera natural se presentaban pulsos donde el lago se secaba y recuperaba el nivel (Mendivil, 1980). Adicional a esto, Alvarado-Díaz *et al.*, (1985), revisaron los cambios en la comunidad de fitoplancton, pues encontraron indicios de que estaba ocurriendo la sucesión de un estado de eutrofia a hipereutrofia en Cuitzeo. Se encontró que la perturbación humana era el probable motor de este cambio en el lago, y de esa forma ese fue el primer esfuerzo por entender el efecto de los impactos humanos sobre el lago. Posteriores estudios realizados en los lagos de la MC consideran por sus características tróficas a Cuitzeo como un lago maduro, naturalmente eutrófico y en vías de extinción (Metcalf, 1989)

En la década de 1990, se dio un fuerte impulso al estudio del origen y formación del lago, así como su evolución paleolimnológica en el pasado reciente. El origen del lago se remonta al Plio-Cuaternario durante fenómenos tectovolcánicos de hace aproximadamente 8 ± 0.02 Millones de años (mda). y hace aproximadamente 2 mda se formó el vaso lacustre. Se considera por tanto, como uno de los sistemas lacustres activos más antiguos de la región (Israde-Alcántara *et al.*, 2010). Por las características de su formación y por la morfología del graben que ocupa Cuitzeo siempre ha sido plano, por tanto tendiente a ser poco profundo (Israde-Alcántara *et al.*, 2010; Bocco *et al.*, 2012). A pesar de que en su origen, el centro de su formación (ubicado en la localidad actual de Charo Michoacán) era profundo; largos y sucesivos procesos de azolve y erosión ocasionaron que la profundidad media actual sea de 1m (Israde-Alcantara, 1997; Israde-Alcántara y Garduño Monroy, 1999; Bravo-Espinosa *et al.*, 2008; Bocco *et al.*, 2012).

Núcleos de sedimento y el análisis paleoclimático produjeron una cantidad enorme de información sobre el pasado del cuerpo de agua. Con base en las especies

de diatomeas de los sedimentos también se estima que el proceso de eutrofización del sistema inicio hace por lo menos 1000 años. Además se encontró evidencia de que el lago ha perdido profundidad, por lo que se ha incrementado la alcalinidad y la concentración iónica y se ha ocasionado un aumento de la turbidez. Por esta evidencia del pasado reciente se cree que el lago podría estar en vías de desaparecer pues sus condiciones han sido muy variables, con una tendencia general a la baja del nivel de agua. Todo lo anterior indica que es un hábitat naturalmente dinámico y tal vez pueda ser un ecosistema frágil. (Israde-Alcántara, 1995; Israde-Alcántara, 1997; Israde-Alcántara y Garduño Monroy, 1999; Israde-Alcantará *et al.*, 2002).

Dadas las características geográficas del vaso lacustre, Cuitzeo ha mantenido un nivel de aguas bajo en los últimos 10,000-120,000 años. Las tendencias paleo-ambientales muestran que el lago ha sufrido breves episodios de recuperación de profundidad debido a condiciones puntuales de mayor humedad (Israde-Alcántara, 1999; Israde-Alcántara *et al.*, 2010). Así mismo, el clima de la región ha variado de ser templado-seco a templado-subhúmedo y las aguas han pasado de ser diluidas a contar con una mayor concentración iónica. Por lo tanto la tendencia general del lago de Cuitzeo es presentar aguas someras, eutróficas y un clima seco-árido (Israde-Alcántara *et al.*, 2010). Es por estas variaciones, que se le considera como un humedal más que un lago (Vekerdy y Mendoza, 2010), pues aunque posee agua de manera casi permanente, puede llegar a secarse en su totalidad (otra variable es la presencia de vegetación acuática) (Alvarado-Díaz *et al.* 1985; Velázquez Duran *et al.*, 2001; Israde-Alcántara *et al.*, 2010).

Por otro lado Cuitzeo es eutrófico debido a la alta concentración de nutrientes que se presentan en la columna de agua, lo que se hace evidente en las especies presentes de microalgas (disminución de la diversidad y dominancia de *Stephanocyclus meneghiniana* que es una indicadora de eutrofización) (Alvarado-Díaz *et al.*, 1985; Ortega-Murillo *et al.*, 2010; Ortega-Murillo *et al.*, 2012). Esta sobrecarga de nutrientes puede ocasionar florecimientos algales descontrolados, que aparentemente han ocasionado muertes masivas de peces (Alvarado-Díaz *et al.*, 1985). De acuerdo a las características de su evolución trófica y las especies algales dominantes, la teoría clásica de la evolución de los lagos define a Cuitzeo como un

cuerpo de agua, eutrófico maduro y en vías de extinción (De Buen, 1944 ; Alvarado-Díaz *et al.*, 1985; Metcalfe, 1988, Metcalfe, 1989), lo cual parece ser una tendencia natural desde los últimos 1000 años y sin intervención humana el lago podría continuar en balance, comportándose como humedal, por mucho tiempo más (Israde-Alcántara *et al.*, 2010; Vekerdy y Mendoza, 2010). Conforme a todo lo anterior Cuitzeo presenta una amplia dinámica espacial y temporal, la cual es completamente natural e inherente a los procesos biogeográficos e históricos que le dieron origen a la cuenca y al lago, lo cual lo convierten en un escenario ambiental único.

En fechas recientes bajo la problemática global de cambio climático y degradación, la perspectiva de los estudios se ubicó en los impactos humanos. Por lo tanto se realizaron esfuerzos para entender mejor la dinámica y poder desarrollar estrategias para mitigar los efectos no deseados. Todo cuerpo de agua está sujeto a una presión por uso, pues el agua es indispensable para toda actividad humana y el lago de Cuitzeo, al ser tan extenso e importante, no es la excepción. Dentro de la cuenca quedan parcial o totalmente 21 municipios del estado de Michoacán y parte de cinco municipios del estado de Guanajuato, con cerca de un millón de habitantes en la región (70% en asentamientos urbanos). El efecto del crecimiento poblacional en las últimas décadas y otras actividades han tenido efecto. La población urbana dentro de la cuenca ha tenido un incremento de 187 % en los últimos 30 años y tan solo la expansión de la ciudad de Morelia fue del orden de 600 % entre 1975 y 2000 (Acosta, 2001; Bravo-Espinoza *et al.*, 2008). Este crecimiento poblacional acarrea consigo fuertes necesidades por el uso de agua y genera una gran cantidad de desechos de todo tipo (Bravo-Espinoza *et al.*, 2008; Cram-Heydrich *et al.*, 2010; Sommer-Cervantes *et al.*, 2010) lo cual repercute directamente en el lago.

Se ha recopilado evidencia que señala a los impactos humanos como responsables de la degradación y pérdida de hábitat, así como deterioro del ecosistema. La tendencia natural de eutrofización se ha visto acelerada de manera reciente, favorecida por el enriquecimiento con nutrientes como el fosforo y nitrógeno. Fenómeno que se cree es debido a la acción humana por perturbaciones no deseadas que modifican la dinámica histórica propia del lago (Alvarado-Díaz *et al.*, 1985; Huacuz-Lemus, 2007; Bravo-Espinoza, 2008; Cram-Heydrich *et al.*, 2010; Ortega-

Murillo *et al.*, 2010). Por lo anterior se considera que el impacto directo de los residuos urbanos y las actividades agro-ganaderas es el incremento del fósforo y nitrógeno, nutrientes que pueden aprovechar las plantas acuáticas y el fitoplancton y por tanto afectan directamente el estado trófico y la productividad del cuerpo de agua (Alvarado-Díaz *et al.*, 1985; Ortega-Murillo *et al.*, 2010). Se han encontrado cambios en las especies dominantes de fitoplancton de la comunidad de microalgas (Alvarado-Díaz *et al.*, 1985; Ortega-Murillo *et al.*, 2010), lo cual se considera relacionado con las condiciones tróficas del lago y es producto de la hipereutroficación por efecto de impactos humanos. Esto ha ocasionado que el sistema lacustre pase de ser eutrófico a Hipereutrófico en unas cuantas décadas (Ortega-Murillo *et al.*, 2010).

La mayor parte de los contaminantes que llegan al lago proceden de los residuos generados en las viviendas de las poblaciones aledañas, principalmente del Río Grande de Morelia que descarga las aguas negras de la ciudad de Morelia con un mínimo tratamiento al lago (Bravo-Espinoza *et al.*, 2008; Pedraza-Agustín *et al.*, 2010). Así mismo la región tiene poco desarrollo en materia de industria, históricamente existe una tendencia hacia la agricultura y ganadería, lo cual ocasiona que la mayor parte de la contaminación por las actividades económicas sean derivados del uso desmedido de fertilizantes y agroquímicos (Fernández-Lomelín *et al.*, 2010). También se encuentran presentes otras fuentes de contaminantes y degradación de hábitat, principalmente elementos como Plomo, Níquel, Cadmio Zinc (Alfaro *et al.*, 2002; Segovia *et al.*, 2005; Páez-Sánchez, 2008; Cram-Heydrich *et al.*, 2010). Los cuales son propios del uso de lanchas de motor, desperdicios vehiculares, pintura y talleres diversos.

Adicionalmente se presentan efectos derivados de la tendencia de cambio climático global, se tiene registro de periodos de sequías y desequilibrios hídricos y climáticos (Carlón-Allende y Mendoza, 2007) que se manifiesta en la pérdida en la profundidad y extensión del espejo de agua (Mendoza *et al.*, 2006). En este sentido, los cambios en las condiciones del lago como profundidad y volumen, incremento de nutrientes y la turbidez de origen biológico, pueden conllevar cambios en las dinámicas naturales de las especies de peces (Zambrano *et al.*, 2001) y pone en riesgo la supervivencia de especies poco tolerantes a la perturbación y cambios en el hábitat. Es por esto que el

panorama general de los lagos en México es crítico, el 50% de los mismos presenta deterioro intenso, el cual está caracterizado por contaminación, pérdida de la columna de agua, disminución de su potencial pesquero y la desaparición de especies nativas (Franco *et al.*, 2011).

En Cuitzeo la pesca se señala históricamente como la principal actividad económica del lago (Franco-Gaona *et al.*, 2010) pero debido a las características propias del cuerpo de agua, la contaminación de la cuenca y el desequilibrio ecológico, actualmente se considera el desarrollo del potencial pesquero de Cuitzeo como limitado (Hernández-Montaña y Arellano-Torres, 2002). La actividad pesquera presenta múltiples amenazas y problemáticas, incluso a nivel social. La producción pesquera ha sufrido una drástica reducción en fechas recientes (Medina-Nava y Ortega-Rodríguez, 2010), todas las especies que se aprovechan están a la baja y parece poco probable una recuperación si no se toman medidas urgentes (Hernández-Montaña y Arellano-Torres, 2002; Franco-Gaona *et al.*, 2010). Se conoce bien el efecto que tiene la implementación de políticas ambientales sobre el manejo de los recursos pesqueros, pues Franco *et al.* (2010), evaluaron el impacto de estas medidas en el lago de Cuitzeo. Las acciones se han centrado en el incremento de la productividad, pero no se han llevado a cabo medidas para evitar los efectos negativos en la diversidad biológica. Una de las mayores desventajas de las políticas llevadas a cabo es que están concentradas en el diseño para que sean operadas por organismo gubernamentales, y dejan a un lado la experiencia de los actores locales. Carecen del seguimiento necesario para corroborar que se apliquen de manera adecuada y surtan efecto. Esto aunado a la problemática de organización de las comunidades pesqueras (Franco-Gaona *et al.*, 2010), dificultan el panorama socio-económico de las pesquerías en el lago de Cuitzeo.

Con la perspectiva de conservación y manejo, y bajo la cambiante dinámica ambiental actual se han llevado a cabo caracterizaciones y análisis a nivel de cuenca de los aspectos físicos y biológicos, así como el diagnóstico de los recursos, la participación ciudadana, el manejo de la erosión, origen, geología, hidrología, fisiografía, flora, fauna, aspectos socioeconómicos entre otros. Estos trabajos representan la base estructural y el antecedente directo para el trabajo

multidisciplinario de la actualidad (Bravo-Espinoza *et al.*, 2008; Cram *et al.*, 2010). Pues tienen como finalidad entender los efectos nocivos de las actividades humanas y de esta forma implementar acciones y medidas que permitan mitigar los daños al ambiente y sus procesos naturales. (Bravo-Espinoza *et al.*, 2008). Por esto resultan imprescindibles para poder comprender la dimensión dinámica real que viven las especies en los escenarios biológicos complejos, conjunto de condiciones naturales y modificaciones realizadas por el humano.

2.2.- Modelo de estudio

El género *Chirostoma* es uno de los más representativos de la Mesa Central, con cerca de 18 especies es el segundo más diverso de la región, solo por debajo de la familia Goodeidae. La especie *Chirostoma jordani* fue descrita por Woolman (1894), como resultado de un serie de recolectas llevadas a cabo en el Valle de México en el año de 1891. Aunque inicialmente no se determinaba la localidad tipo, los especímenes habían sido obtenidos en el río Lerma en la localidad de Salamanca, Guanajuato, por lo que se considera como tal. Sin embargo al no especificarse el sitio de recolecta resulto imposible saber si provenían de los canales o del río. Se mencionó que *C. jordani* habitaba en estanques y arroyos, también en el canal principal del río Santiago, usualmente en asociación con vegetación acuática como *Scirpus* o *Eichornia* (Woolman, 1894). De todas las especies que lo conforman, *C. jordani* es la que presenta una distribución más amplia, es la única del género que se presenta fuera de la Mesa Central, pues ha sido recolectada en Durango y la cuenca del Panuco (Barbour, 1973a; Echelle y Echelle, 1984). La evolución y diversificación del género se considera que fue producto de toda la convulsiva historia geológica en un pasado reciente, de esta forma la distribución de las especies puede ayudarnos a dilucidar el panorama general de conexión y aislamiento de los cuerpos de agua desde el plio-pleistoceno hasta el presente. Se considera, dada la afinidad con especies similares que son marinas, que el origen del grupo fue por un ancestro marino o estuarino, que remontó los antiguos cuerpos de agua que conectaban al océano. Una vez en la Mesa central se encontró imposibilitado de regresar a su hábitat de origen y se diversifico en la región (Barbour, 1973b). En los grandes lagos donde el género está presente como

Pátzcuaro o Chapala es común encontrar coexistiendo más de una especie, la diferenciación en tamaño, hábitos y alimentación facilitan este fenómeno (Barbour, 1973a; Vital-Rodríguez, 2011). Sin embargo en el lago de Cuitzeo solo se reportaban dos especies de *Chirostoma* (Barbour, 1973a), una de ellas microendémica, y en la actualidad al parecer solo se encuentra *C. jordani* (Soto-Galera *et al.*, 1999). Esta particularidad de *C. jordani* en el lago esta poco estudiada y poco se conoce de la población local en el lago de Cuitzeo, sobre todo en cuanto a diferencias con otras poblaciones del rango de distribución (Barbour, 1973b; Bloom *et al.*, 2009). Organismos entre las diferentes localidades de su distribución poseen características variables, parece ser que en el estado de Hidalgo se da la más alta diferenciación. El ángulo de la mandíbula es particularmente cambiante entre poblaciones, siendo mayormente oblicuo para los *C. jordani* de algunos sitios. Algunos organismos de la cuenca de Cuitzeo presentan un cuerpo robusto, sin embargo esta característica no está compartida en la población que habita el lago (Barbour, 1973b). Presentan un alto número de conteos en sus variables merísticas, así mismo las escamas de la línea media poseen poros y canales, el ángulo de la mandíbula es oblicuo y el borde de las escamas es ligeramente laciniado. Esto permite diferenciarlo de las dos especies de *Chirostoma* que habitan la cuenca, pues estas presenta un bajo conteo en los merísticos (Barbour, 1973b).

En el lago de Cuitzeo, se determinó que *Chirostoma jordani* era un zooplanctófago, que además consumía hemípteros (Zubieta-Rojas, 1985). En cuanto a los hábitos alimenticios generales de los peces del género *Chirostoma* se conoce que son zooplanctófagos-carnívoros (Navarrete *et.al.*, 1993; Navarrete *et.al.*, 2009). Muestran preferencia sobre copépodos y cladóceros pero pueden hacer uso de algunos otros recursos disponibles, como insectos. Esto hace que el nivel trófico que ocupan dentro de la cadena alimenticia se ubique en los consumidores secundarios (Vital-Rodríguez, 2011). Al ocupar esta posición trófica dependen completamente de la base de la cadena para la subsistencia, y perturbaciones en la misma se ha demostrado que tiene efecto sobre los niveles superiores (Carpenter *et al.*, 1985; Lazzaro, 1987; Vander-Zanden *et al.*, 1997), favoreciendo la desaparición de las especies carnívoras (Karr, 1981). Así mismo se sabe que son dependientes de las

presas disponibles en el ambiente lo que puede ocasionar diferencias en la dieta de la especie por diferencia en la composición medioambiental de microcrustáceos. Inclusive en estas especies se exhibe diferencia dentro de las tallas, durante el desarrollo ontogénico, dependiendo del tamaño de la presa y la boca del organismo (Navarrete *et al.*, 1993; Palacios *et al.*, 2006; Vital-Rodríguez, 2011).

Además de las características biológicas que lo hacen un importante modelo de estudio, existe un interés económico, debido a que es una de las principales especies que se aprovechan en la pesquería local (Hernández-Montaño y Arellano-Torres, 2002; Franco-Gaona *et al.*, 2010). En las actividades pesqueras están involucradas por lo menos 1500 personas, pescadores registrados de los municipios rivereños en el estado de Michoacán (COMPESCA, 2004). Pero en la actualidad la mayoría de ellos no se dedica por completo a la actividad pesquera, deben implementar actividades de otros tipos para solventar sus necesidades económicas, pues la pesca por si sola resulta insuficiente (Franco-Gaona *et al.*, 2010). Una de las mayores amenazas es la drástica reducción de los volúmenes de captura del charal y todas las demás especies en fechas recientes (Medina-Nava y Ortega-Rodríguez, 2010). A pesar de que se señalan muchas causas probables de este decline (Hernández-Montaño y Arellano-Torres, 2002; Franco-Gaona *et al.*, 2010), poco se ha estudiado al respecto y existe muy poca información de la comunidad íctica en la actualidad, por lo que es urgente realizar estudios que permitan conocer la situación de las especies, principalmente las nativas y de valor pesquero como *C. jordani*. (Hernández-Montaño y Arellano-Torres, 2002; Franco-Gaona *et al.*, 2010; Franco-Gaona *et al.*, 2011).

2.3- La ecología trófica y su aplicación

Los peces han demostrado ser una buena herramienta de estudio para encontrar y relacionar las variaciones en las condiciones del hábitat con su supervivencia (Karr 1981; Mercado-Silva *et al.* 2002) especialmente en aquellos que son más sensibles. Una línea de investigación que podría ayudar a dilucidar el panorama general del efecto de los procesos ambientales originados por el ser humano sobre las comunidades biológicas y sus efectos sobre las especies de peces, es la ecología trófica (Karr, 1981; Carpenter *et al.*, 1985). De esta forma con el análisis

de los hábitos alimenticios de los peces es posible construir un escenario de complejas interacciones de causa-efecto, dadas las relaciones de los organismos a través de los flujos energéticos en los distintos niveles de la trama trófica (Nikolsky, 1963; Smith, 1980)

La ecología trófica, mediante el uso del análisis de contenido estomacal, ha resultado ser una herramienta valiosa para inferir como los peces interactúan con otras especies y con su medio (Lagler, 1956). La descripción y cuantificación de la dieta de organismos acuáticos es la base para comprender como ocurren los ciclos energéticos. De esta forma podemos estimar como los peces utilizan los recursos disponibles en su medio, si compiten por recursos con otros organismos, y cuál es la posición que ocupan dentro de la red trófica (Lagler, 1956; Hyslop, 1980; Krebs, 1989; Torres-Rojas, 2011; Vital-Rodríguez, 2011; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013).

Con el trabajo de Karr (1981), se inicia el empleo de indicadores biológicos para evaluar la salud de los ecosistemas. La propuesta original considera el aspecto trófico del sistema acuático como uno de los tres ejes centrales de evaluación. Se considera que un indicador de perturbación en el sistema es la pérdida de algunos gremios tróficos, particularmente los carnívoros y que una muestra con menos del 1% de peces carnívoros presentes en una comunidad indica una muy mala calidad del sistema acuático (Karr, 1981; Velázquez-Velázquez y Vega-Cendejas, 2004). Para poder utilizar estas herramientas se necesita un buen conocimiento de la trama trófica, para lo cual es fundamental emplear la determinación de los hábitos alimenticios, a fin de conocer la ecología trófica de las especies e identificar las rutas energéticas que siguen los organismos en su desempeño como transformadores de materia orgánica (Velázquez-Velázquez y Vega-Cendejas, 2004).

La implementación del análisis de los hábitos alimenticios, se realiza bajo líneas metodológicas definidas, las cuales se eligen en función de las particularidades de la dieta de las especies en estudio (Torres-Rojas, 2011; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013). Esto se debe a que los peces son un grupo altamente diverso y ocupan una gran amplitud de funciones en los sistemas que habitan, desde los consumidores primarios hasta carnívoros tope (Lagler, 1956; Helfman, 2009; Torres-Rojas, 2011; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013) y por lo tanto los estudios de contenido estomacal se tienen que

adaptar a las características propias de los modelos biológicos y al tipo de sistema acuático en el que se presentan (Canto-Maza y Vega-Cendejas, 2008; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013). Por esto es necesario considerar las particularidades de Cuitzeo para poder llevar a cabo el estudio de la ecología trófica de *C. jordani*.

A pesar de lo desarrollado de la investigación ambiental para la cuenca, actualmente la información disponible de hábitos alimenticios de peces en el lago de Cuitzeo es escasa. En la actualidad son inexistentes los trabajos que consideren la dinámica compleja y como esta se relación con la estrategia trófica de la íctiofauna. Zubieta-Rojas (1985), es el único esfuerzo realizado para describir la composición básica de la dieta algunas de las especies del sistema. Sus resultados señalan que la mayor parte de los peces son omnívoros, y que *C. jordani* al ser zooplanctofago ocupa un nicho trófico único en el sistema. Este trabajo es un aporte muy importante, pues podría ser empleado con fines comparativos para observar posibles cambios en la alimentación del charal de Cuitzeo. La información generada por medio del análisis trófico, permitirán establecer un panorama del fenómeno que ocurre actualmente, al menos bajo el esquema de degradación e hipereutroficación que sufre el lago y las condiciones naturales que se presentan, y como estas diferencias modulan la composición y amplitud de la dieta, así como el nivel trófico de las especies de peces (Torres-Rojas, 2011). De esta forma podrían ayudar en la toma de decisiones para mejorar la situación pesquera y de aprovechamiento en la región del lago de Cuitzeo

3.-OBJETIVOS

3.1.- General.

- Determinar la estrategia trófica del taxón nativo *Chirostoma jordani* de forma espacio-temporal en el lago de Cuitzeo.

3.2.- Particulares

- Corroborar morfológicamente la identidad taxonómica de la especie.
- Describir y cuantificar la composición de la dieta de *C. jordani*.
- Determinar la los cambios espaciales y temporales de la amplitud de dieta de *C. jordani*.
- Determinar la posición y gremio trófico de *C. jordani*.

4.-HIPOTÉISIS

El lago de Cuitzeo es un cuerpo de agua heterogéneo, que presenta una estratificación horizontal con al menos dos zonas bien definidas. El balance hídrico determinado por la precipitación, la temporalidad está compuesta por lluvias y estiaje. Esta heterogeneidad espacio-temporal puede ser un factor determinante en la estrategia trófica de *Chirostoma jordani*, y por tanto la composición, estructura y amplitud de dieta de *Chirostoma jordani* presentará variación de manera espacial y temporal.

5.-ÁREA DE ESTUDIO.

5.1.- Ubicación.

El nombre de Cuitzeo proviene de la palabra purépecha “cuiseo” que significa “lugar de tinajas” (Bravo-Espinosa *et al.*, 2008). Es uno de los más importantes cuerpos de agua de México, debido a su extensión es el segundo más grande, solo superado por el Lago de Chapala (Galindo, 2005). A nivel de cuenca ocupa un área de aproximadamente 4000 km². Mientras que el lago, sus humedales y área de inundación se extienden aproximadamente por 400 km².

La cuenca de Cuitzeo se ubica en el centro-sur de México, en la región biogeográfica conocida como la Mesa Central Mexicana (MC). Está rodeada al sur por elevaciones que forman parte del Eje Volcánico en su porción de las sierras Tarasca y Oztumatlán; al sureste por las de Mil Cumbres y Ucareo; y al norte limita con la región del Bajío regada por el río Lerma. Se localiza en la zona intertropical. (Vidal-Zepeda, 2010) (Figura 1). La mayor parte de la cuenca pertenece al estado de Michoacán, solo una pequeña porción se encuentra dentro del estado de Guanajuato (Bravo-Espinosa *et al.*, 2008).

El lago de Cuitzeo está situado entre los paralelos 19°53'15" y 20°04'30" de latitud norte y los meridianos 100°50'20" y 101°19'30" de longitud oeste a una altitud de 1820 msnm, en la porción más baja de la cuenca, forma parte de una serie de depresiones geográficas delimitadas por fallas geológicas que van de este a oeste. Estas fallas fueron ocasionadas por el deslizamiento y choque de las placas tectónicas Cocos y la Norteamericana, y su interacción da origen a la actividad volcánica del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM) (Israde-Alcántara *et al.*, 2008; Bravo-Espinosa *et al.*, 2008; Garduño-Monroy e Israde-Alcántara, 2010; Morales-Manilla, 2010). Cuitzeo, Pátzcuaro, Zacapu y Zirahuén son el conjunto de cuencas que pertenecen al CVTM.

5.2.- Clima.

La cuenca de Cuitzeo es amplia, por lo cual presenta variación climática en las diferentes zonas. En Cuitzeo se presenta temperatura media anual semicálida de 18-22° C, en algunos sitios con mayor elevación se presentan temperaturas medias anuales de entre 12 y 18° C (Vidal-Zepeda, 2010). La oscilación de temperatura del

lago del Cuitzeo es de 5 a 7° C entre la máxima y mínima anualmente. Presenta una marcha anual de tipo Ganges con la máxima temperatura antes del solsticio de verano. “La precipitación anual en el lago de Cuitzeo es de 600-800 mm. La temporada lluviosa abarca el verano y parte del otoño (periodo de mayo a octubre), en el resto del año la condición es de sequía (noviembre a abril); de hecho, febrero y marzo son los meses más secos. La lluvia en invierno representa menos del 5% de la anual.”(Vidal-Zepeda, 2010). En la cuenca predominan las precipitaciones entre 600 y 800 mm, cantidad que se incrementa en las sierras que rodean el lago, las cuales reciben en su parte baja entre 800 y 1000 mm y en su parte más alta poseen una media anual de 1200 mm (Vidal-Zepeda, 2010). El volumen medio anual del lago es de aproximadamente 255 millones de metros cúbicos (Mm³). El volumen promedio anual que recibe en escurrimientos es de 456 Mm³ y la evaporación que presenta es de 766 Mm³, por lo que el déficit de lluvia/evaporación es de 310 Mm³ (CONABIO, 2008).

5.3.- Hidrología.

Al igual que el resto de las cuencas lacustres, Cuitzeo es de tipo endorreico, lo cual ocasiona que el régimen hídrico sea dependiente de la cantidad de precipitación y la evaporación (Bernal-Brooks, 2002; Morales-Manilla, 2010). Recibe aporte de tres ríos principalmente: Río Grande de Morelia, el río Queréndaro y el Zinapécuaro que en conjunto aportan el 45% del agua de la cuenca, además de múltiples manantiales en sus riveras (Bravo-Espinosa *et al.*, 2008; Morales-Manilla, 2010). El Río Grande de Morelia es el principal aporte de agua superficial del lago, el cual fluye de suroeste a noreste (Carlón-Allende *et al.*, 2010). El lago de Cuitzeo recibe un escurrimiento de 456 mm³ y pierde por evapotranspiración 766 mm³, existiendo por lo general un déficit anual (Diario Oficial, 2003; CONABIO, 2008).

La principal zona de infiltración y recarga de agua al lago está ubicada en la parte poniente de Capula y además de Cuto de la Esperanza, Irapeo y Mil Cumbres (Bravo-Espinoza *et al.*, 2008). La mayor parte de los escurrimientos se dan en la zona sur, mientras que son escasos para la región norte (Carlón-Allende *et al.*, 2010). Las únicas salidas naturales que presentaba eran la evaporación y el aporte de sus aguas hacía los acuíferos, sin embargo de manera artificial se construyó un canal (dren la Cinta) que comunicaba con la laguna de Yuriria para desaguar el excedente cuando

Cuitzeo estaba muy lleno, en la actualidad ya no existe debido a que en la sequía de 1988 fue bloqueado por los pescadores (Valdivia *et al.*, 1996; Morales-Manilla, 2010).

La cuenca de Cuitzeo originalmente formo parte de la gran cuenca fluvial del Lerma, junto a los lagos de Pátzcuaro y Zirahuén, se separó de estos cuerpos de agua durante el Plioceno y el Pleistoceno mediante el establecimiento de barreras geográficas, para dar resultado a la conformación que conocemos actualmente (De Buen, 1943).

.-Características limnológicas

Cuitzeo es polimíctico, presenta transparencia promedio de 15 cm, conductividad de 3050 $\mu\text{mhos/cm}$ promedio, una temperatura media que se ubica entre los 20 y 30° C, un pH fluctuante entre 8 y 11.5 y salinidad 1.75 o/oo. La sales que se encuentran en mayor cantidad (61.5%) son carbonatos y bicarbonatos de base sodio, en menor lugar presenta calcio (8.2%) y magnesio (13.2%) (CONABIO, 2008).

De acuerdo a que las sales predominantes son carbonatos y bicarbonatos asociados al sodio y, en menor medida el calcio y magnesio se considera que Cuitzeo es un lago de agua blanda y salada (CONABIO, 2008). La poca profundidad de la lámina de agua favorece la re-suspensión del sedimento del lago por la acción del viento (Chacón-Torres *et al.*, 2000; Ortega-Murillo *et al.*, 2009; Ortega-Murillo *et al.*, 2010). Esto ocasiona que la transparencia del lago no sea mayor a 15 cm (CONABIO, 2008). Por lo anterior Cuitzeo está reportado como un sistema lacustre hipohalino con una alta turbidez (Ortega-Murillo *et al.*, 2009; Israde-Alcántara *et al.*, 2010).

Las propiedades físico-químicas y de hábitat del lago no son uniformes, se exhibe un patrón horizontal de gradiente ambiental. La profundidad es uno de los atributos más variables y probablemente clave en la diferenciación física y química. De esta forma el vaso Oeste del cuerpo de agua es somero y se deseca en temporada seca, incluso por largos periodos. En cambio el vaso Este es más profundo y conserva agua la mayor parte del año (Alvarado-Díaz *et al.*, 1985; Chacón-Torres *et al.*, 2000; Huacúz-Lemus, 2007; Ortega-Murillo *et al.*, 2009; Ortega-Murillo *et al.*, 2010). La conductividad y la alcalinidad son mayores en el lado Oeste, la concentración iónica es mayor debida a la desecación y en la zona predominan los bicarbonatos, lo cual afecta directamente al pH incrementándolo (Ortega-Murillo *et al.*, 2010). En el lago, por

tanto se forman por lo menos tres regiones bien diferenciadas: el vaso oeste, que tiene poca profundidad y mayor alcalinidad, pH y conductividad. El vaso Este, con mayor profundidad y mayor dilución, menor alcalinidad y pH. La porción central, que posee características intermedias (Ortega-Murillo *et al.*, 2009; Ortega-Murillo *et al.*, 2010)

5.4.- Vegetación.

A nivel de cuenca se presenta una gran diversidad de comunidades vegetales, donde se pueden encontrar bosques de coníferas y de encinos tan característicos de las cadenas montañosas de México, pero además algunos fragmentos con bosque tropical caducifolio. Se puede hallar también escasos reductos de bosque mesófilo de montaña, con su aporte de árboles, epífitas, helechos entre otros. Hay ocho especies que son poco frecuentes y endémicas a la región: *Carex rzedowskii*, *Dahlia barkerae*, *Diospyros xolocotzii*, *Echeandia michoacanensis*, *Microspermum debile* var. *Arsenei*, *Rigidella flammea*, *Valeriana emmanuelii*, *Vernonia solorzanoana*, todas estas se encuentran en peligro de extinción (Rzedowzky, 2010).

5.5.- Fauna.

En la cuenca del lago de Cuitzeo confluyen dos grandes áreas zoogeográficas, la neártica y la neotropical que sumada a una orografía accidentada permite una gran diversidad de hábitats y una gran diversidad de fauna. En cuestión de mamíferos la cuenca ha sido poco estudiada. Se tiene registradas 65 especies en seis géneros (*Chiroptera*, *rodentia*, *carnívora*, *insectívora*, *lagomorfa* y *masupialis*). Del orden rodentia se han reportado 24 especies. En algunas zonas pequeñas de la porción sur del lago, aún no se han establecido las especies de roedores que se relacionan con el ser humano (*Rattus rattus*, *R. norvegicus* y *Mus musculus*) Posiblemente haya especies que aún no se han registrado como *Euderma maculatum*, *Dipodomys spp.*, *Neotomodon alstoni*, *Lynx rufus* y *Taxidea taxus* (Nuñez-Garduño, 2010).

Se tiene registro de 296 especies de aves de 54 familias, lo que equivale al 54.1 % de la riqueza de aves estatal. De estas se reconoce 200 especies que son residentes permanentes (que se reproducen y cumplen su ciclo de vida en la región), 78 especies son visitantes invernales (que se reproducen en el norte y pasan los meses de verano en áreas tropicales, las aves migratorias), y 15 transitorias (que se avistan mientras están de paso en la zona) además de dos especies que son residentes de verano. El lago de Cuitzeo es un sitio importante para la conservación de aves acuáticas pues en

este se han contado más de 84 mil individuos de especies de patos y gansos, además de que sostiene importantes poblaciones de pelícanos (*Pelecanus erythrorhynchus*), patos mexicanos (*Anas platyrhynchos diazi*) y patos coacoxtle (*Aythya valisineria*) (Villaseñor-Gómez y Villaseñor-Gómez, 2010).

La herpetofauna se compone de 50 especies que pertenecen a 26 géneros, 15 familias, cuatro órdenes y dos clases. El grupo con mayor número de especies es el de las serpientes con 21 especies. Las familias de anfibios y reptiles que tienen mayor cantidad de especies son *Ranidae*, *Ambystomatidae*, *Phrynosomatidae* y *Colubridae*. Los géneros *Ambystoma*, *Litobathes*, *Sceloporus* y *Thamnophis* son los más abundantes (García-Vázquez y Flores-Villela, 2010).

La ictiofauna a nivel de cuenca está compuesta por ocho familias y 23 especies de éstas, 17 son nativas y 6 introducidas: Petromyzontidae: *Lampetra geminis* (Lamprea). Cyprinidae *Cyprinus carpio*^{introducida} (Carpa), *Algansea tincella* (Sardinita), *Yuriria alta* (Sardina), *Hybopsis (=Notropis) calientis*, *Aztecula sallei*. Catostomidae: *Moxostoma (=Scartomyzon) austrinum* (Matalote). Atherinopsidae: *Chirostoma estor*^{introducida} (Pez blanco), *C. jordani* (Charal), *C. (compressum) grandocule* (Charal), *C. charari* (Charal Tarasco). Poeciliidae: *Poecilia reticulata*^{introducida} (Guppy), *Poeciliopsis infans* (Guppy) *Xiphophorus hellerii*^{introducida} (Pez Espada). Goodeidae: *Allophorus robustus* (Chehua), *Goodea atripinnis* (Tiro), *Skiffia bilineata* (Tirito), *S. lermae*, *Xenotoca variata* (Pintola), *Hubbsina turneri* (Cherehuita), *Zoogoneticus quitzeoensis*. Centrarchidae: *Micropterus salmoides*^{introducida} (Lobina Negra). Cichlidae: *Oreochromis niloticus*^{introducida} (Tilapia)(Medina-Nava y Ortega-Rodríguez, 2010).

6.-LITERATURA CITADA

- Acosta V. A. 2001. **Crecimiento de los asentamientos urbanos en la cuenca del Lago de Cuitzeo y su consumo de agua, 1975-2000.** Tesis de licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 142 pp.
- Alvarado-Díaz J., T. Zubieta-Rojas, R. Ortega-Murillo, A. Chacón-Torres, R. Espinoza Gómez. 1985. **Hipertroficación en un Lago Tropical Somero (Lago de Cuitzeo, Michoacán, México).** *Biológicas* 1: 1-22.
- Álvarez J. 1972. **Ictiología Michoacana V Origen y distribución de la ictiofauna dulceacuícola de Michoacán.** *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 19:155-161
- Bloom D. D., K. R. Piller, J. Lyons, N. Mercado-Silva y M. Medina-Nava. 2009. **Systematics and Biogeography of the Silverside Tribe Menidiini (Teleostomi: Atherinopsidae) Based on the Mitochondrial ND2 Gene.** *Copeia* 2:408-417.
- Bocco G., E. López-Granados, Manuel E. Mendoza. 2012. **La investigación ambiental en la Cuenca del lago de Cuitzeo: Una revisión de la bibliografía publicada.** En: Bravo-Espinosa, M., G. Barrera-Camacho, M.E. Mendoza, J.T. Sáenz, F. Bahena-Juárez y R. Sánchez-Martínez (Ed.). **Contribuciones para el desarrollo sostenible de la cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán.** INIFAP-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán. UNAM Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Morelia, Michoacán, México. pp. 317-345.
- Bravo Espinosa M., F. García Oliva, E. Ríos Patrón, M. Mendoza Cantú, G. Barrera Camacho, E. López Granados, B. E. Serrato Barajas y T. Sánchez Reyes. 2008. **La Cuenca del Lago de Cuitzeo: Problemática, Perspectivas y Retos Hacia su Desarrollo Sostenible.** Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología, Michoacán. 32 p.
- Carlón-Allende T., M. E. Mendoza. 2007. **Análisis hidrometeorológico de las estaciones de la cuenca del lago de Cuitzeo.** Boletín del Instituto de Geografía, UNAM 63: 56-76
- Carpenter S.R., J.F. Kitchell y J.R. Hodgson. 1985. **Cascading trophic interactions and lake productivity.** *BioScience* 35: 381-389.
- Chacón-Torres A., C. Rosas-Monge y J. Alvarado- Díaz. 2000. **The effects of hypereutrophication in a tropical Mexican lake.** En: Munawar M., S.G. Lawrwnw, I.F. Munawar y D.F. Mally (Ed.). 2000. **Aquatic Ecosystems of Mexico: Status and Scope.** *Ecovision World Monograph Series.* 89-101 pp.
- Chernoff, B. 1986. **Phylogenetic relationships and reclassification of menidiine silverside fishes with emphasis on the tribe Membradini.** *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 189-249.
- COMPESCA. 2004. **Resumen de las Principales Acciones de Ordenamiento Pesquero y Acuícola en el Lago de Cuitzeo.** Comisión de Pesca de Michoacán.
- CONABIO. 2008. **Regiones Hidrológicas Prioritarias.** Página electrónica de la descripción de la región hidrológica prioritaria No. 62, Pátzcuaro y cuencas endorreicas cercanas.

En:http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_062.html

- Correa Ayram C. A., M. E. Mendoza, E. López Granados. 2014. **Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México.** Revista de Geografía Norte Grande [en línea] 2014, (Diciembre-Sin mes) : [Fecha de consulta: 8 de enero de 2015] Disponible en:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30032725002> ISSN 0379-8682
- De Buen F. 1943. **Los lagos Michoacanos. I. Caracteres Generales. El Lago de Zirahuen.** *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 4, 211-232.
- De Buen F. 1944. **Los Lagos Michoacanos. II. Patzcuaro.** *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 5, 99-125.
- Echelle A. A. y A. F. Echelle. 1984. **Evolutionary genetics of a “species flock:” Atherinid fishes on the Mesa Central of Mexico**, p. 93-110. EN A. A. Echelle & I. Kornfield (eds.). *Evolution of fish species flocks*. Univ. Maine, Orono.
- Franco Gaona C., S. Cram Heydrich, L. Galicia. 2010. **Actividad pesquera.** En: Cram S., L. Galicia e I. Israde-Alcántara. 2010. **Atlas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Análisis de su Geografía y Entorno Socioambiental**, Universidad Autónoma de México-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 314 pp.
- Franco C., L. Galicia, L. Durand y S. Cram. 2011. **Análisis del impacto de las políticas ambientales en el lago de Cuitzeo (1940-2010).** *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 75: 7-22.
- Hernández-Rubio, M. C., Figueroa-Lucero, G., Barriga-Sosa, I. D. L. A., Arredondo-Figueroa, J. L., y Castro-Barrera, T. 2006. **Early development of the shortfin silverside *Chirostoma humboldtianum* (Valenciennes, 1835) (Atheriniformes: Atherinopsidae).** *Aquaculture*, 261(4), 1440-1446.
- Israde-Alcántara I. 1995. **Bacini Lacustri dal Settore Centrale dall’arco vulcanico messicano. Stratigrafia ed evoluzione vulcanotettonica basata sulle diatomme:** Unpublished PhD dissertation. Università degli Studi di Milano, 254 p.
- Israde-Alcántara I. 1997. **Neogene diatoms of the central sector of the Mexican Volcanic Belt (Cuitzeo lake) and its relationship with the volcanic-tectonic evolution.** *Quaternary International*.
- Israde-Alcántara I., V. Garduño-Monroy, R. Velázquez-Durán, R. Ortega-Murillo, M. S. Lozano-García, G. Domínguez-Vázquez. 2010. **Evolución del Lago en los Últimos 100 mil años.** En: Cram S., L. Galicia e I. Israde-Alcántara, 2010. **Atlas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Análisis de su Geografía y Entorno Socioambiental**, Universidad Autónoma de México-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 314 pp.
- Lagler K. F. 1956. **The Pike, *Esox lucius* Linnaeus, in Relation to Water-Fowl on the Seney National Wildlife Refuge, Michigan.** *The Journal of Wildlife Management* 20(2): 114-124.
- Lazzaro X. 1987. **A review of planktivorous fishes: their evolution, feeding behaviours, selectivities, and impacts.** *Hydrobiologia*, 146(2), 97-167.
- Martínez López D. 2002. **Análisis de los Patrones Espaciales de la Contaminación por Metales y de la Materia Orgánica en los Sedimentos del Lago de**

- Cuitzeo del Estado de Michoacán de Ocampo.** Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Metropolitana Atzacapotzalco, Div. Ciencias Básicas e Ingeniería. 104 p.
- Mendivil O., R. Cortez, C. Cuevas y J. L. García. 1980. **Algunos aspectos fisicoquímicos y consideraciones sobre la pesca en el Lago de Cuitzeo, Mich. (estudio trimestral 1976-1977).** *Proceedings of the 2nd Latin American Symposium on Aquaculture 1745-1782.*
- Mendoza M. E., E. L. Granados, D. Geneletti, D. R. Pérez-Salicrup y V. Salinas. 2011. **Analysing land cover and land use change processes at watershed level: a multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975–2003).** *Applied Geography 31* (1): 237-250.
- Miller, R. R. y Smith, M. L. 1986. **Origin and geography of the fishes of Central Mexico.** EN C. H. Hocutt y E. O. Wiley (Eds.) **The Zoogeography of North American Freshwater Fishes**, pp. 487-517. John Wiley & Sons.
- Miller R. R., W. L. Minckley y S. M. Norris. 2009. **Peces dulceacuícolas de México.** CONABIO, 559 pp.
- Ortega-Murillo M. R., I. Israde-Alcántara, R. Alvarado-Villanueva y M. Arredondo-Ojeda. 2012. **Las algas, su composición y abundancia en el lago de Cuitzeo de 1976 a 2002.** En: Bravo-Espinosa, M., G. Barrera-Camacho, M.E. Mendoza, J.T. Sáenz, F. Bahena-Juárez y R. Sánchez-Martínez (eds.). 2012. **Contribuciones para el desarrollo sostenible de la cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán.** INIFAP-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán. UNAM Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Morelia, Michoacán, México.
- Osorio T. 1946. **Anotaciones sobre algunos aspectos de la hidrología mexicana.** <http://repositorio.fcencias.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11154/142549/7VAnotacionesSobre.pdf?sequence=1>
- Palacios C. M., I. S. Racotta, M. G. Ríos-Durán, E. Palacios, M. Toledo-Cuevas y L. G. Ross. 2006. **Advances in applied research for the culture of mexican silversides (*Chirostoma*, *Atherinopsidae*).** *Biocell-Mendoza 30*(1): 137.
- Pedraza Agustín I., R. Alfaro Cuevas-Villanueva, R. Farías Rodríguez, R. Cortés Martínez y J.M. Sánchez Yáñez. 2010. **Dinámica poblacional bacteriana.** En: Cram S., L. Galicia e I. Israde-Alcántara. 2010. **Atlas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Análisis de su Geografía y Entorno Socioambiental,** Universidad Autónoma de México-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 314 pp.
- Sommer Cervantes I., P. Fernández Lomelí, C. Díaz Avalos, C. Ponce de León Hill, V. Becerra, S. Cram Heydrich. 2010. **Distribución de elementos geogéneos al interior del lago.** En: Cram S., L. Galicia e I. Israde-Alcántara, 2010. **Atlas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Análisis de su Geografía y Entorno Socioambiental,** Universidad Autónoma de México-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 314 pp.
- Soto-Galera, E., Paulo-Maya, J., López-López, E., Serna-Hernández, J. A., y Lyons, J. 1999. **Change in fish fauna as indication of aquatic ecosystem condition in Río Grande de Morelia–Lago de Cuitzeo basin, Mexico.** *Environmental Management 24*(1): 133-140.

- Torres-Rojas Y. E. 2011. **Nicho trófico de pelágicos mayores capturados en la boca del Golfo de California**, Tesis doctoral, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, La Paz Baja California Sur, México, 185 pp.
- Valdivia Carreón, E., I. Y. Pompa López y J. Romero Peñaloza. 1996. **Estrategias Organizativas de los Productores de la Ribera del Lago de Cuitzeo**. En I Foro de análisis de la problemática ambiental del Estado de Michoacán. Cuenca del Lago de Cuitzeo. pp. 161-167.
- Vekerdy Z., M. E. Mendoza 2010. **Dinámica del lago**, en Cram S., L. Galicia e I. Israde-Alcántara, 2010. **Atlas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Análisis de su Geografía y Entorno Socioambiental**, Universidad Autónoma de México-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 314 pp.
- Velázquez Duran, R., I. Israde Alcántara y L. García. 2001. **Significado ecológico de los palinomorfos depositados en el Lago de Cuitzeo, Michoacán, durante los últimos 35,000 años**. Ciencia Nicolaita 29: 45-61
- Woolman, A. J. 1894. **Report on a collection of fishes from the rivers of central and northern Mexico**.

**7.-“DINÁMICA TRÓFICA DE LA
ESPECIE NATIVA *CHIROSTOMA
JORDANI* (WOOLMAN, 1894) EN EL
LAGO DE CUITZEO, MICHOACÁN.”**

8-RESUMEN

El lago de Cuitzeo presenta una complejidad de hábitat única. De manera natural el cuerpo de agua muestra un patrón espacial de heterogeneidad, con al menos tres zonas bien diferenciadas por parámetros como la salinidad y alcalinidad. Poco se ha estudiado sobre como este fenómeno influye sobre la dinámica trófica de los organismos y si existen diferencias espaciales y temporales de la dieta de los peces. Particularmente se ignora la estrategia trófica espacial y temporal de *Chirostoma jordani*, un pez Zooplanctófago nativo del lago. Por la dinámica ambiental del lago de Cuitzeo se espera que exista diferencia en la composición y amplitud de dieta, además de la posición y gremio trófico de *C. jordani*, de manera espacial y temporal. El objetivo general del presente trabajo es determinar los hábitos alimenticios de *C. jordani* y su variación espacio-temporal en el lago de Cuitzeo. Para la obtención del material biológico se utilizó una red de tipo chinchorro. Se obtuvieron mediciones biométricas (Longitud patrón, longitud del hocico, longitud intestinal) se disectaron y se extrajo el tracto digestivo. Para el análisis cuantitativo y cualitativo de la dieta se realizaron preparaciones semipermanentes del contenido estomacal y se revisaron con un microscopio óptico. Se obtuvieron un total de 1300 preparaciones semipermanentes. Se encontraron 22 artículos componentes de la dieta como: copépodos, cladóceros, rotíferos, ciliados, corixidos, restos de pez, además de materia orgánica y algas. Los artículos preferenciales fueron los copépodos, cladóceros y hemípteros. Los análisis indican que existen diferencias entre los sitios, son un consumo diferencial en copépodos y cladóceros entre la porción este y oeste. *Chirostoma jordani* en el lago de Cuitzeo pertenece al gremio de los zooplanctófagos y exhibe diferencias espaciales y temporales en su dieta.

9.-INTRODUCCIÓN

El lago de Cuitzeo es un ecosistema altamente dinámico (Alvarado-Díaz *et al.*, 1985; Velázquez-Duran *et al.*, 2001; Mendoza *et al.*, 2007; Bravo-Espinoza *et al.*, 2008; Ortega-Murillo *et al.*, 2010; Vekerdy y Mendoza, 2010). Por su origen, naturalmente es plano, somero y extenso (Israde-Alcántara *et al.*, 2008; Bravo-Espinosa *et al.*, 2008; Garduño-Monroy e Israde-Alcántara, 2010), por estas características geográficamente es considerado como un humedal (Vekerdy y Mendoza, 2010). Es un sistema

históricamente eutrófico (Israde-Alcántara *et al.*, 2010) presenta un fenómeno de heterogeneidad ambiental, con al menos tres zonas diferentes en cuanto a las características de pH y conductividad del agua. Lo cual permite establecer un gradiente horizontal Este-Oeste (Ortega-Murillo *et al.*, 2010; Ortega-Murillo *et al.*, 2011).

Se han reportado impactos de origen antrópico que modifican las condiciones naturales del lago (Huacuz-Lemus, 2007; Bravo-Espinoza, 2008; Cram-Heydrich *et al.*, 2010). Las políticas ambientales y el crecimiento acelerado de la población han tenido efecto sobre la extensión del cuerpo de agua y el cambio de uso de suelo en la cuenca (Acosta, 2001; Bravo-Espinoza *et al.*, 2008; Franco *et al.*, 2010; Correa-Ayram *et al.*, 2014). Así mismo, el ingreso de los elementos como Fósforo y Nitrógeno, derivados de la descarga de aguas negras poco tratadas y las actividades agro-ganaderas ha acelerado la evolución trófica del cuerpo de agua, que en pocos años cambio de eutrófico a hipereutrófico (Alvarado-Díaz *et al.*, 1985; Bravo-Espinoza *et al.*, 2008; Fernández-Lomelín *et al.*, 2010; Ortega-Murillo *et al.*, 2010; Pedraza-Agusín *et al.*, 2010).

Bajo este escenario biológico actual, poco se conoce sobre como las condiciones ambientales modulan la dinámica trófica de las especies de peces que habitan el lago de Cuitzeo. Si existe variación espacial y temporal o si la dieta es homogénea independientemente. Esto se debe a que la perspectiva de los estudios contemporáneos se ha centrado en entender y mitigar la problemática ambiental y los estudios ictiofaunísticos son escasos (Bocco *et al.*, 2012).

Se eligió al charal nativo *Chirostoma jordani* como modelo de estudio para probar como se desarrolla la estrategia trófica (composición, amplitud y nivel trófico) bajo la heterogeneidad en el lago de Cuitzeo. La especie es zooplanctófaga y el nivel trófico que ocupa es el de los consumidores secundarios (Navarrete *et al.*, 1993; Navarrete *et al.*, 2009). Se le encuentra en cuerpos de agua permanentes, regularmente en embalses o arroyos de poco movimiento (Miller *et al.*, 2009). En ningún lugar donde se distribuye se presenta una dinámica ambiental como en Cuitzeo, que es un cuerpo de agua con agua casi todo el año, pero que puede desecarse por completo (Alvarado-Díaz *et al.*, 1985; Israde-Alcántara *et al.*, 2010). Fenómeno que ha ocurrido desde los últimos 100 mil años (Israde-Alcántara, 1995;

Israde-Alcántara, 1997; Israde-Alcántara y Garduño Monroy, 1999; Israde-Alcantará *et al.*, 2002; Israde-Alcántara *et al.*, 2010), Esto podría ocasionar diferencias espaciales y temporales.

Además de la importancia biológica, la especie es una de las tres con mayor captura pesquera comercial (Hernández-Montaño y Arellano-Torres, 2002; Franco-Gaona *et al.*, 2010) y el estudio de su dinámica trófica podría ser de utilidad para la toma de decisiones en conservación y desarrollo sustentable (Amezcuca y Portillo, 2010). La información generada de la dieta de *C. jordani* puede ser integrada en modelos pesqueros que consideren el manejo ecosistémico de los recursos (Jennings *et al.*, 2001; Amezcuca y Portillo, 2010).

Por lo tanto el objetivo del presente trabajo es determinar la dinámica trófica espacial y temporal de *C. jordani* en el lago de Cuitzeo.

10.-MATERIALES Y MÉTODOS

10.1.--Área de estudio

El lago de Cuitzeo se localiza entre los 19° 53' 15" y 20°04'34" de latitud norte y a los 100° 50'20" y 101°19'34" longitud oeste aproximadamente a 1.880 msnm. La mayor de la cuenca está dentro del estado de Michoacán, pero una pequeña porción pertenece al estado de Guanajuato.

10.2.- Temporadas y sitios de colecta.

La recolecta se realizó con una frecuencia bimestral durante un ciclo anual. Debido a las características climáticas y de precipitación que se presentan en el cuerpo de agua se consideraron tres temporadas:

Temporada de lluvias: Las lluvias en verano.

Temporada de secas frías: El invierno templado-frío.

Temporada de secas cálidas: Durante la parte más cálida del año.

Se consideraron tres grandes zonas del lago de Cuitzeo, vaso Oeste, porción central y vaso Este, de acuerdo a lo reportado por Ortega Murillo *et al.* (2010). Por cada una de las zonas se eligieron por lo menos dos sitios de muestreo con la finalidad de representar localidades. Sin embargo no fue posible obtener organismos en el vaso Oeste del lago. Y por tanto fueron ubicados cinco sitios de muestreo; dos en la porción central del lago y tres en el vaso este (cuadro 1 y figura 1).

Cuadro 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo.

Sitio	Coordenadas geográficas
Andocutin (AN)	19°56'55"N, 100°51'38"O
Estación Queréndaro (QO)	19°53'23"N, 100°56'46"O
Iramuco (RI)	19°57'31"N, 100°55'23"O
La Palma (LP)	19°55'23"N, 101°08'20"O
San Agustín (SA)	19°57'22"N, 101°07'55"O

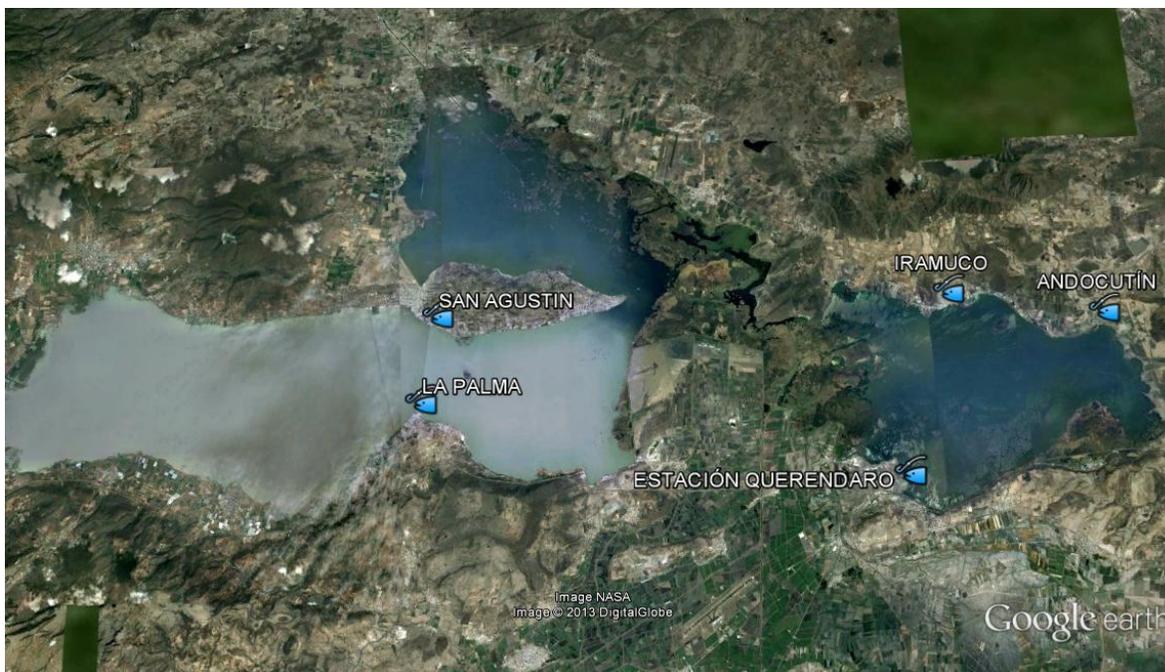


Figura1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en el Lago de Cuitzeo

Para incrementar la certeza de variabilidad ambiental se verificó que no se presentara homogeneidad en las variables físicas y químicas de los mismos, ver cuadro 2

Cuadro 2. Caracterización físico-química de los sitios de muestreo, se indica el promedio para cada variable y entre paréntesis el máximo y mínimo. En negritas se destacan los valores más altos. (SA: San Agustín; PA: La Palma; AN: Andocutín; QO: Estación Querendaro; RI: Iramuco)

SITIO	pH lab u pH	OD mg/l	Sól. Totales mg/l	Turbiedad UTC	Col. Fecales NMP100ml	Transparencia cm	Profundidad cm
SA	8.43 (8-9)	5.3 (1.5-7.8)	1091.3 (572-1572)	77.7 (45.5-230)	201.6 (60-830)	18.1 (3.5-50)	50.5 (7.4-90)
PA	8.6 (8-9.6)	6.1 (2.8-15.1)	2831.3 (1040-9296)	249.5 (106-360)	153.3 (10-510)	10.6 (2.5-22.5)	34.1 (10-82)
AN	9.1 (9-9.5)	5.6 (3.7-7.7)	2295 (1690-4612)	217.8 (78.5-540)	260 (110-720)	21.3 (5-60)	17.6 (1-37.5)
QO	8.3 (8-9.18)	8.15 (2.6-17.1)	1344.2 (456-4226)	120.6 (28.2-270)	1445.7 (80-9300)	15.3 (2-28)	51.2 (13-120)
RI	8.09 (7.7-9)	5.6 (1.6-12.3)	1492.5 (440-5004)	83.8 (7.6-280)	312.8 (100-1000)	20.9 (4-46)	45.07 (1-92)

10.3.- Método de recolecta.

La obtención de los peces se realizó con una red de tipo “Chinchorro” de 30 m de largo, con una altura de 0.5 m y luz de malla de 1 cm. Del total de la muestra se tomó una submuestra de manera aleatoria, de aproximadamente 60 individuos por sitio

10.4-Descripción y diagnosis

Con la finalidad de verificar la identidad taxonómica de la especie. Se emplearon 28 variables para la identificación de acuerdo a los criterios propuestos por Barbour (1973b) y Barriga-Sosa (2001) (cuadro 3). Se llevaron a cabo con ayuda de un microscopio estereoscópico Zeiss, modelo Stemi 1040.

Para realizar las mediciones morfométricas se empleó un calibrador digital (MITUTOYO SERIE 505-637-50 precisión de 0.01 mm), se obtuvieron siempre del lado izquierdo de los organismos (Pérez-Ramírez, 2003).

Para el conteo de las variables merísticas se empleó azul de metileno para colorear las escamas y espinas/radios (Barriga-Sosa, 2001; Pérez-Ramírez, 2003). Adicionalmente se revisó la presencia de poros o canales en las escamas de la línea lateral, se tiene establecido que *C. jordani* presenta ambos, incluso en un mismo individuo (Barbour, 1973b). Se verifico la forma del ángulo de la mandíbula inferior de los organismos revisados, pues se considera que *C. jordani* presenta una mandíbula inferior en ángulo obtuso, fenómeno particularmente marcado en algunas poblaciones (Barbour, 1973b)

Cuadro 3.- Variables morfométricas y merísticas empleadas en la diagnosis de *Chirostoma jordani*. En la columna de la izquierda se muestra la etiqueta utilizada y la descripción en la columna derecha.

Abreviatura	Caracteres
	MORFOMÉTRICOS
Lt	Longitud total.
Lp	Longitud patrón.
Lc	Longitud cefálica.
Lo	Longitud ocular.
Ls	Longitud del hocico.
Lm	Longitud mandibular.
LcP	Longitud cefálica post orbital.
Lpc	Longitud del pedúnculo caudal.
BaA	Longitud de la base de la aleta anal.
HpD	Longitud del hocico al origen de la primera dorsal.
HsD	Longitud del hocico al origen de la segunda dorsal.

HoP	Longitud del hocico al nacimiento de las pélvicas.
HoA	Longitud del hocico al nacimiento de la aleta anal.
MpC	Menor longitud pedúnculo caudal.
Amx	Altura máxima.
ApD	Altura de la primera dorsal.
AsD	Altura de la segunda aleta dorsal.
BaP	Base de la aleta pélvica.
AaA	Altura de la aleta anal.
LaP	Longitud aleta pectoral.

MERISTICOS

NbE	Número de branquiespinas.
ELM	Escamas en línea media.
Epd	Escamas predorsales.
Esi	Escamas interdorsales.
RaP	Radios aleta pectoral.
RaA	Radios de la aleta anal.
EpD	Espinas de la primera dorsal.
EsD	Espinas y radios de la segunda dorsal

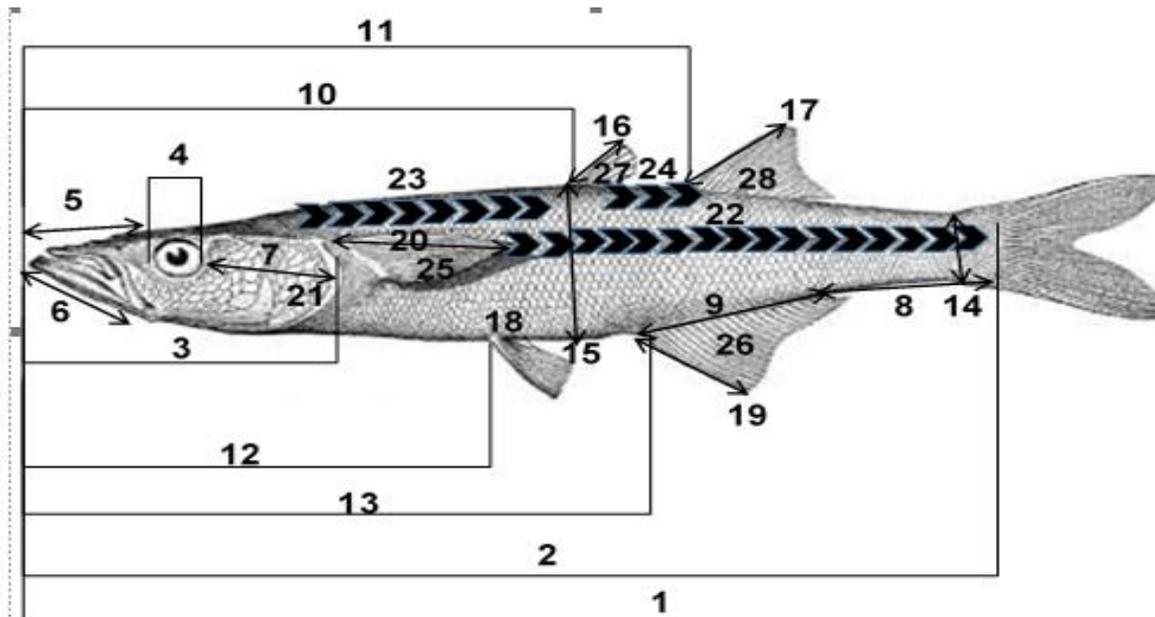


Figura 2. Diagrama de las variables morfométricas y merísticas usadas en la diagnosis de *Chirostoma jordani* del lago de Cuitzeo. 1: Longitud total, 2: Longitud patrón, 3: Longitud cefálica, 4: Longitud ocular, 5: Longitud del hocico, 6: Longitud mandibular, 7: Longitud cefálica post orbital, 8: Longitud del pedúnculo caudal, 9: Longitud de la base aleta anal, 10: Longitud hocico/primera dorsal, 11: Longitud hocico/segunda dorsal, 12: Longitud del hocico/nacimiento de las aletas pélvicas, 13: Longitud del hocico/nacimiento aleta anal, 14: Menor longitud pedúnculo caudal, 15: Altura máxima, 16: Altura de la primera dorsal, 17: Altura de la segunda dorsal, 18: Base de la aleta pélvica, 19: Altura de la aleta anal, 20: Longitud aleta pectoral; Merísticas: 21: Numero de branquiespinas, 22: Escamas en línea media, 23: Escamas predorsales, 24: Escamas interdorsales, 25: Radios de la aleta pectoral, 26 Radios de la aleta anal, 27: Espinas de la primera dorsal, 28: Espinas y radios de la segunda aleta dorsal.

10.5.-Análisis de muestras para contenido estomacal.

Los peces se fijaron con alcohol al 80%, se pesaron con una balanza electrónica (marca BOECO Germany® modelo BEB-53) y el peso se registró en gramos (g). Posteriormente se medirán con un vernier (marca Phase II®) las medidas de LP (longitud desde la punta del hocico hasta el pedúnculo caudal) LH (longitud del hocico) y Li (longitud del intestino), todas serán registradas en milímetros (mm).

Para el análisis de contenido estomacal se extrajeron los tubos digestivos de cada individuo. Se realizó la disección y se procedió a medir la longitud del intestino (mm), se determinó el sexo del individuo y el grado de repleción gástrica (Martínez, 1983). Se utilizó el método propuesto por Martínez, (1983), y los tubos digestivos se fijaron con alcohol al 70% para conservarlos hasta ser revisados.

Se realizaron preparaciones semipermanentes para la revisión al microscopio. Para lo cual los tubos digestivos se dividieron en tres partes iguales, y se utilizó el contenido del primer tercio para el análisis. Con la finalidad de facilitar la revisión, se homogenizo el contenido digestivo y se preparó solo un cuarto del total (Engel, 1976; Trujillo-Jiménez y Díaz-Pardo, 1996).

La muestra se contabilizo con un microscopio compuesto (marca ZEISS Modelo AXIOSTAR plus No. 1097-701). Se llevó a cabo dos tipos de análisis para describir y cuantificar la composición de la dieta:

10.5.1.- Análisis cualitativo.

Se procedió a identificar los componentes de la dieta al menor nivel taxonómico posible, para ello se emplearon las claves convencionales (Edmonson, 1959; Pennak, 1978; Elías-Gutiérrez, 1996; Merrit y Cummins, 1996; Thorp y Covich, 2001)

Se agrupó a los artículos en categorías por el nivel trófico y función que ocupan, debido a que se considera que los peces no eligen las presas con un criterio taxonómico, seleccionan su alimento de acuerdo a la forma, tamaño y características de desplazamiento de las mismas (Langton y Watling, 1990; Amezcua y Portillo, 2010). De esta forma, las categorías de los componentes de la dieta se determinaron en función del nivel y gremio trófico conocido del componente y por tanto de la aportación que realizan a la dieta de *C. jordani* (Pauly *et al.*, 2000). Esto facilita análisis

posteriores, como la determinación del nivel trófico del organismo estudiado (Amezcuca y Portillo, 2010).

Se clasificó como MONI (materia orgánica no identificada) todo aquel componente que no se pudo identificar por el alto grado de digestión o desgaste mecánico, siguiendo el criterio de Yañez-Arancibia *et al.* (1976).

10.5.2.- Análisis cuantitativo

.- Porcentaje de área

Se cuantifico el porcentaje de área (PA) de cada artículo alimenticio en el total del intestino. Este método es una modificación del método volumétrico indirecto (Canto-Maza y Vega-Cendejas, 2008), se utilizó debido a que los componentes alimenticios en el contenido estomacal son muy pequeños (diatomeas, copépodos, ostrácodos, rotíferos, cladóceros). Utilizar esta aproximación permitirá conocer la cantidad de alimento ingerido y poder obtener información de los hábitos alimenticios de la especie.

.- Frecuencia de aparición:

Se utilizó para indicar que tan frecuente es la presencia de cada artículo alimentario (Stark y Schorner, 1970), con respecto a todos los tubos digestivos analizados, en porcentaje.

10.6.- Índice de importancia relativa (IIR).

Con los métodos anteriores se construyó el índice de importancia relativa (Cortés, 1997) que permitió la cuantificación de la importancia relativa de determinado grupo trófico dentro de la alimentación de la especie, se usará la fórmula:

$$IIR = F * PA / 100$$

10.7.-Estrategia trófica.

Se utilizó el diagrama trófico de Costello (1990) con la finalidad de determinar gráficamente la importancia de los componentes en la dieta de la especie y de establecer aquellos componentes que son “preferenciales” u “ocasionales”. Para

realizar los diagramas se utilizó la abundancia de la presa en el contenido estomacal (Porcentaje de Área) en el eje de las ordenadas y la frecuencia de aparición en porcentaje (%FO) en el eje de las abscisas. Se determinaron cuatro cuadrantes, los cuales están delimitados por el 50% de porcentaje de área y Frecuencia de aparición.

10.8.- Amplitud de dieta.

Se estimó la amplitud de la dieta en su variación espacio-temporal por sitio y por temporada, utilizando el índice de amplitud de nicho de Levin (Krebs, 1989). Este método nos permite inferir que tan amplia es la dieta de un organismo, tomando en cuenta la proporción de cada presa y como se distribuyen para el total.

$$B = \frac{1}{\sum p_j^2}$$

Donde la amplitud de nicho de Levin (B) es el inverso de la sumatoria del cuadrado de las proporciones de los componentes de la dieta (p_j).

Para una lectura más sencilla del índice se utiliza la amplitud de nicho de Levin estandarizada y el resultado se expresa de 0 a 1, donde 0 es una dieta poco amplia y 1 es una dieta muy amplia (Krebs, 1989)

$$B_A = \frac{B - 1}{n - 1}$$

B = Amplitud de nicho de Levin

n = Número de posibles presas.

10.9.- Posición trófica.

Se estimó la posición trófica de *C. jordani* mediante el uso del programa TrophLab (Pauly *et al.* 2000). Los resultados se obtienen como un valor TROPH, que permite asignar a que nivel trófico se ubica la especie. Para estimar el valor TROPH de la especie, se debe considerar tanto la composición de su dieta, así como el valor TROPH de cada una de las presas, lo cual se estimará con la siguiente ecuación.

$$TROPH_i = 1 + \sum_{j=1}^G DC_{ij} \times TROPH_j$$

DC_{ij} = Representa la fracción de la presa j en la dieta de i ,

$TROPH_j$ = Es la posición trófica de la presa j .

G = Es el número de presas en la dieta de i .

10.10.-Análisis estadísticos

Se emplearán modelos lineales no generalizados (GENMOD) con la finalidad de corroborar la variación espacial y temporal de los componentes de la dieta. Debido al empleo de proporciones y a la dificultad de probar una distribución normal de los datos se decidió utilizar GENMOD y no los modelos lineales clásicos.

Para explorar las causas de la variabilidad de los datos de la dieta y ordenar por importancia los artículos que mejor expliquen la variación se llevaron a cabo análisis de componentes principales (CP). Esta metodología permitió determinar aquellas presas que mejor explicarán la variación espacial y temporal de la dieta y que por tanto se consideran clave en la alimentación de *C. jordani*.

Además se realizaron análisis de componentes principales (CP) con las variables morfométricas y merísticas por separado. Primero se emplearon las variables morfométricas originales sin transformación para el análisis de componentes principales. También se emplearon las mediciones transformadas a logaritmo (Log10) para un segundo análisis de CP, y por último para minimizar el efecto de la forma de los peces se transformaron a porcentaje de longitud patrón y se realizó un tercer análisis de CP. El análisis de componentes principales de las variables merísticas fue realizado utilizando los datos originales sin ninguna transformación

Todos los análisis fueron realizados con uso del programa JMP (SAS Institute Inc) además del software PAST 3.0 (Hammer *et al.*, 2001).

11.-RESULTADOS.

11.1.1-Diagnosís

Los organismos revisados presentan entre 33 y 43 escamas en una línea media cuyo valor más bajo es menor al registrado para *C. jordani* de 36-48 (Barbour, 1973b). Sin embargo el número de escamas en línea lateral para *C. compressum* y *C. chararí* es mayor (64-67). El número de branquiespinas fue entre 12 y 19, nuevamente el valor menor es inferior al registrado por Barbour (1973b) de 12-22 para *C. jordani*, contrario a *C. compressum* que posee 30 branquiespinas largas y finas. Los organismos presentaron entre 24 y 17 radios de la aleta anal, que no corresponde con los 14-15 que presenta *C. charari*. Ver cuadro 4.

Cuadro 4. Variables relevantes en la identificación de *C. jordani*. Se representan en porcentaje de longitud patrón, entre paréntesis se encuentra el promedio de cada variable siempre y cuando este dato fuera disponible.

Variable	Mar-Silva, 2014 (presente)	Barbour, 1973b
Longitud hocico aleta anal (HoA)	44.03-65.13 (57.6)	49.0-58.2 (53.11)
Longitud del hocico (Ls)	2.26-7.71 (4.77)	4.8-9.8
Logitud pedúnculo caudal (Lpc)	13.57-23.38 (18.76)	18.6-26.2
Altura segunda dorsal (AsD)	9.84-20.98 (16.53)	13.4-22.2 (18.3)
Longitud base aleta anal (BaA)	15.9-27.83 (22.54)	18.0-32.4

11.1.2-Descripción

Los organismos son de pequeña talla, con 77.51 mm de longitud patrón máxima. Esto concuerda con lo reportado para la especie, pues dentro del grupo de especies “jordani” es uno de los de menor tamaño. Presentan una mandíbula inferior visiblemente en ángulo obtuso, dando una apariencia “cuadrada” en algunos organismos, además de un hocico corto, con un promedio de 2.02 mm de longitud. Dientes pequeños y cónicos, sin dientes palatinos o vomeriales. Boca no protractil a poco protractil. Escamas de borde casi entero, en algunos individuos adultos y grandes se presentan poco laciniadas en la sección predorsal. Las escamas de la línea media presentan poros y canales, los canales se presentan solo en la región posterior, en las escamas del pedúnculo caudal. La primera dorsal presenta entre 6 y 2 espinas,

mientras que en la segunda dorsal se encuentran una o dos espinas y entre 9 y 11 radios. El número de radios de la aleta anal es variable, presenta mayor variación que los radios de la aleta pectoral y que la primera y segunda dorsal. La aleta pectoral es relativamente larga, entre 14.31% y 21.24% de la longitud patrón. La aleta caudal no suele presentar ningún tipo de pigmentación. Se muestran la variación de las variables morfométricas y merísticas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Variables morfométricas para *C. jordani* del lago de Cuitzeo. Las etiquetas se presentan de acuerdo al cuadro 2, se expresan las mediciones en mm.

Medición	Rango	Promedio	Desv. Est.
Lt	77.51-34.54	49.45	8.14
Lp	68.2-30.35	42.69	7.20
Lc	15.35-6.05	9.48	1.66
Lo	4.18-1.66	2.55	0.40
Ls	3.45-1.2	2.02	0.50
Lm	5.2-1.8	3.08	0.69
LcP	8.18-3.51	4.69	0.94
Lpc	13.78-4.12	7.98	1.42
BaA	14.83-5.83	9.63	1.94
HpD	34.29-15.82	21.82	3.81
HsD	44.36-20.23	27.65	4.70
HoP	30.57-12.26	17.55	3.62
HoA	42.04-17.43	24.60	4.64
MpC	5.83-2.88	3.89	0.69
Amx	16.46-5.49	9.05	2.21
ApD	5.43-2.15	3.79	0.81
AsD	11.03-3.69	7.07	1.53
BaP	5.06-1.85	2.96	0.79
AaA	10.15-2.87	7.02	1.38
LaP	11.07-4.58	7.39	1.37
NbE	19-12	16.20	1.99
ELM	43-33	37.74	1.89
Epd	30-14	19.58	2.67
Esi	9-5	6.14	0.61
RaP	13-11	12.26	0.69
RaA	24-17	19.38	1.48
EpD	6-2	4.50	0.76
EsD	12-10	10.72	0.57

11.1.3.- Comparación de las medidas lineales y variables merísticas

La longitud del hocico al origen de las aletas pélvicas (HoP), la longitud del hocico al origen de la aleta anal (HoA) y la longitud total fueron las variables morfométricas que mejor explican la variación de los datos (Figura 3). En el caso de las variables originales la variación acumulada de los dos primeros componentes principales fue mayor al 94%, mientras que para los datos con transformación logarítmica y porcentaje de la longitud patrón, los dos primeros componentes principales tienen una variación acumulada del 73.62% y 54.68% respectivamente (Cuadro 6)

El número de branquiespinas (NBE), las escamas en línea media (ELM) y las espinas de la primera dorsal (Epd) (Figura 4) son las variables merísticas de mayor importancia en la variación. Los dos primeros componentes principales tienen una variación acumulada del 66.12% (Cuadro 6).

Cuadro 6. Eigenvalores y porcentaje de confianza acumulados en los primeros componentes principales de medidas morfométricas y merísticas de *C. jordani* del lago de Cuitzeo.

(o)			(i)			(ii)			m(o)		
PC	Eigenvalor	Varianza %	PC	Eigenvalor	Varianza %	PC	Eigenvalor	Varianza %	PC	Eigenvalor	Varianza %
1	198.37	93.378	1	0.0948881	65.028	1	0.00454116	40.386	1	7.65711	41.099
2	3.1614	1.4882	2	0.0125605	8.6079	2	0.00160851	14.305	2	4.66385	25.033
3	2.21852	1.0443	3	0.0089161	6.1104	3	0.00087412	7.7738	3	3.21925	17.279

Nota: o=Datos morfométricos originales sin transformación, i= Variables morfométricas log-transformadas, ii= Variables morfométricas en porcentaje de longitud patrón. m(o): Caracteres merísticos originales.

Las gráficas del CP mostraron una gran dispersión en los datos, sin formación de grupos diferentes y por lo tanto una certeza de que se trata de organismos de la misma especie. (Figuras 3 y 4)

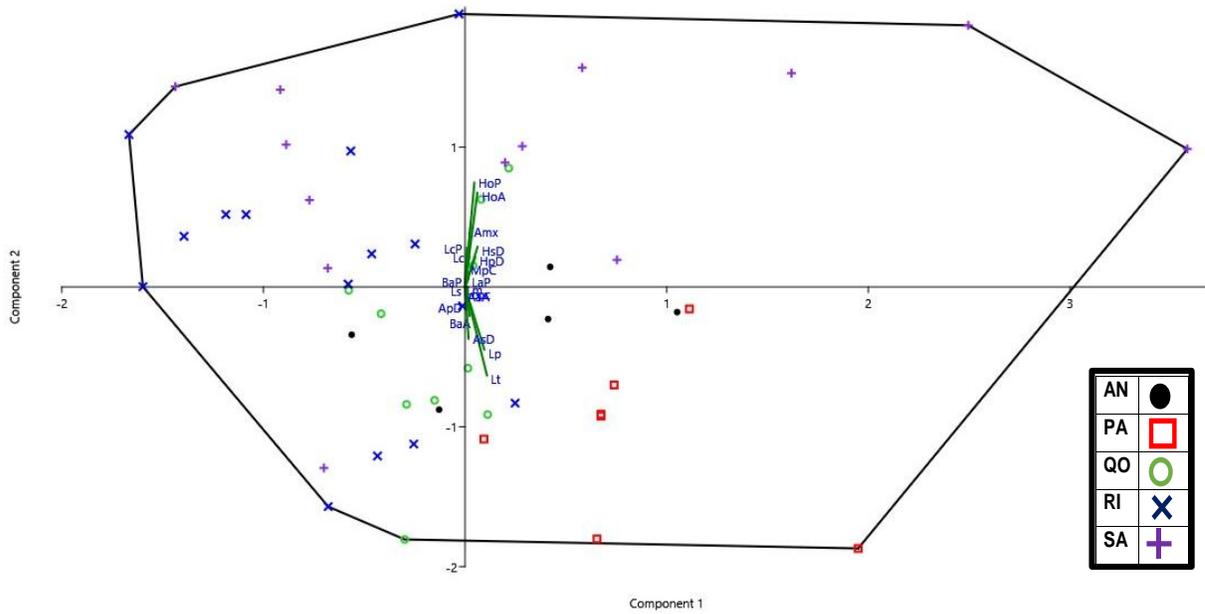


Figura 3 Gráfica del primer y segundo eje del Análisis de Componentes Principales usando 20 variables morfométricas de *C. jordani* (Medidas originales sin transformación "o"), en cinco sitios del lago de Cuitzeo.

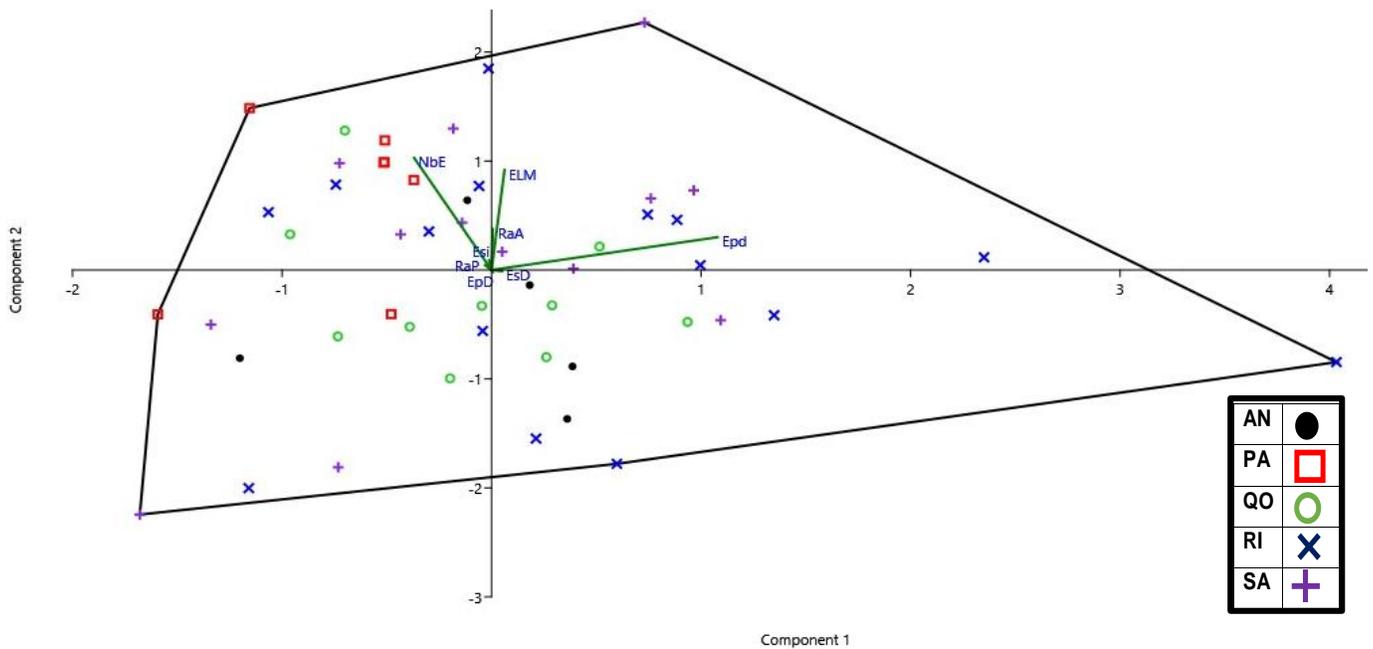


Figura 4 Gráfica del primer y segundo eje del Análisis de Componentes Principales usando ocho variables morfométricas de *C. jordani* (Medidas originales sin transformación "o"), en cinco sitios en el lago de Cuitzeo.

11.2-ANÁLISIS DE CONTENIDO ESTOMACAL

11.2.1.-Tamaño de muestra

La curva de acumulación de presas alcanza la asíntota a partir de los 20 tubos digestivos revisados, por lo tanto se emplearon un total de 20 individuos por talla para cada uno de los cinco sitios.

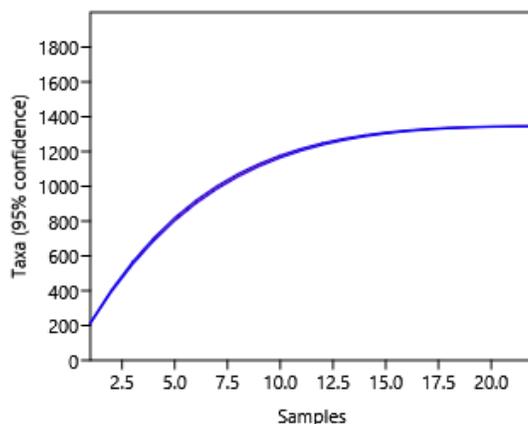


Figura 5. Curva de acumulación de presas de *Chirostoma jordani* en el lago de Cuitzeo (Mao Tau)

11.2.2-Descripción de la dieta.

Se determinaron 22 artículos que componen la dieta de *C. jordani*, la identificación de zooplancton fue posible en algunos a casos a nivel de género.

Cuadro 7 Gama trófica de *C. jordani* del lago de Cuitzeo. Se muestra la etiqueta utilizada en el estudio y el artículo o componente trófico al que pertenece.

ETIQUETA	SIGNIFICADO	ETIQUETA	SIGNIFICADO
	MATERIA ORGÁNICA		
MONI	NO IDENTIFICADA	PINS	PARTES INSECTOS
REV	RESTOS VEGETALES	DIPT	DÍPTEROS
AVE	ALGAS	HEM	HEMIPTEROS
AVZ	CIAOBACTERIAS	HYM	HYMENOPTEROS
DIAT	DIATOMEAS	ODO	ODONATOS
ESC	ESCAMAS DE PEZ	ROT	ROTÍFEROS
ESP/RAD	ESPINAS/RADIOS DE PEZ	ASP	ASPLACHNIA
COP	COPÉPODOS	ACA	ACÁROS SPP.

DAPH	DAPHNIA	CIL	CILIADOS SPP.
CLAD	CLADÓCEROS	NEM	NEMÁTODOS SPP.
OSTR	OSTRÁCODOS	SEM	OTROS ROTÍFEROS

11.2.4.-Cuantificación de la dieta.

Se realizaron un total de 1346 preparaciones de contenido estomacal, de las tres temporadas (Lluvias, secas I y secas II). Los resultados del índice de importancia relativa se presentan en las figuras 6, 7 y 8.

Temporada de lluvias.

Durante la temporada de lluvias, el mayor consumo de cladóceros se encontró en la porción central del lago (sitios SA y PA). Mientras que en el vaso Este (sitios AN, QO y RI), se determinó un mayor consumo de copépodos (color café en el gráfico) y la aportación a la dieta de los cladóceros y *Daphnia sp.* es baja o nula (entre 0 y 0.16%). Se presentan los mayores valores de materia orgánica de la temporada en los sitios AN y QO. Los valores del IIR para hemípteros alcanzan su máximo valor en el centro del lago (66.1%) en San Agustín. El valor IIR de los restos vegetales es en general bajo, con un mínimo de 0.28% de la clase III de Iramuco. Ver figura 6.

En la Palma (PA) los *C. jordani* de las tres clases de talla consumen cladóceros entre el 80.54%-92.14% del total de la dieta. El resto está compuesto en mayor medida por MONI (color azul). La clase III es la que consume la mayor cantidad de copépodos para este sitio con 5.97%.

En el sitio de San Agustín (SA) los organismos de la clase I tienen el mayor consumo de cladóceros del sitio (41.3%) pero la clase II y III tienen un menor valor de los mismos (CLAD=3.62% y 2.19% respectivamente), pero se incrementa el porcentaje de consumo de hemípteros (HEM CII=66.1%, CIII=52.92) y es el mayor de todos los sitios.

Los mayores porcentajes de consumo de copépodos se presentan en el sitio Iramuco (IIR) entre 56.61% y 73.85%. También se presentan valores de IIR para los hemípteros de entre 12.78% y 19.95%, se incrementa conforme aumenta la talla. El valor de IIR de la materia orgánica disminuye conforme aumenta el tamaño del organismo, el valor mayor se presenta en la clase I con 18.26% y disminuye hasta el mínimo en la clase III (7.92%).

Para la clase III de la Estación Queréndaro se presentó el mayor valor de IIR para el consumo de MONI, pero también la mayor cantidad de componentes de la dieta y el mayor consumo de restos de peces (ESC y ESP/RAD). Las dos clases de talla restantes tienen un valor de IIR similar de MONI, restos vegetales y copépodos, con la diferencia de que la clase II presentó un valor de IIR para HEM de 4.26% y la clase I de 0%.

Andocutín en la porción oeste del lago presentó el mayor valor IIR de copépodos en la clase II (63.2%) y la menor en la clase III (11.51%). El mayor valor IIR de HEM en el sitio se presentó en la clase III (61.17%) (Figura 6)

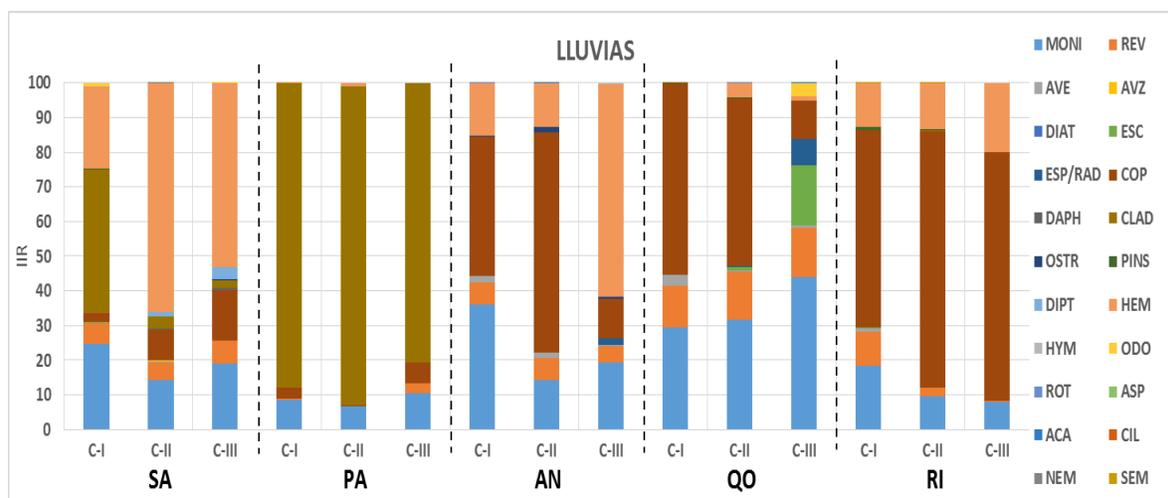


Figura 6. Índice de importancia relativa (IIR porcentual) para las presas que componen la dieta de *C. jordani*, por clase de talla, en cada uno de los cinco sitios (en orden oeste-este SA, PA, AN, QO y RI), durante la temporada de lluvias.

Temporada de secas I.

Durante la temporada de secas I (sequía en los meses más fríos del año), se presentó una tendencia similar a la temporada de lluvias. Se encontró un mayor consumo de cladóceros hacia la parte central (SA, PA), que disminuyen hasta sus niveles mínimos en el vaso Este (AN, QO, RI). La MONI en secas I es en promedio ($\chi=15.80$) menor a la consumida en la temporada de lluvias ($\chi=19.63$). Los copépodos en general presentaron mayores valores en el vaso Este, pero la clase III del sitio central PA con un valor IIR de 88.98 presentó el mayor consumo para toda la temporada. Disminuyó el valor IIR de los hemípteros y alcanzaron su máximo valor (IIR=19.23) en el sitio AN clase III del vaso este.

En los sitios SA y PA se encontraron los mayores valores del IIR para cladóceros, en ambos sitios el consumo disminuye conforme aumenta la talla del organismo, pues se presentó el máximo valor para la clase I y el mínimo para la III. En los sitios ubicados al este (AN, QO, RI) se encontró un valor promedio de materia orgánica MONI (media=17.3%) mayor a la zona central del lago (media=13.51%). Así mismo se determinó el máximo valor de los restos vegetales (REV) de toda la temporada en el sitio RI. En general las tres clases de talla de *C. jordani* en estos sitios consumieron copépodos, pero el valor de IIR aparentemente que disminuye conforme aumenta la talla, de igual forma que los cladóceros. Ver figura 7

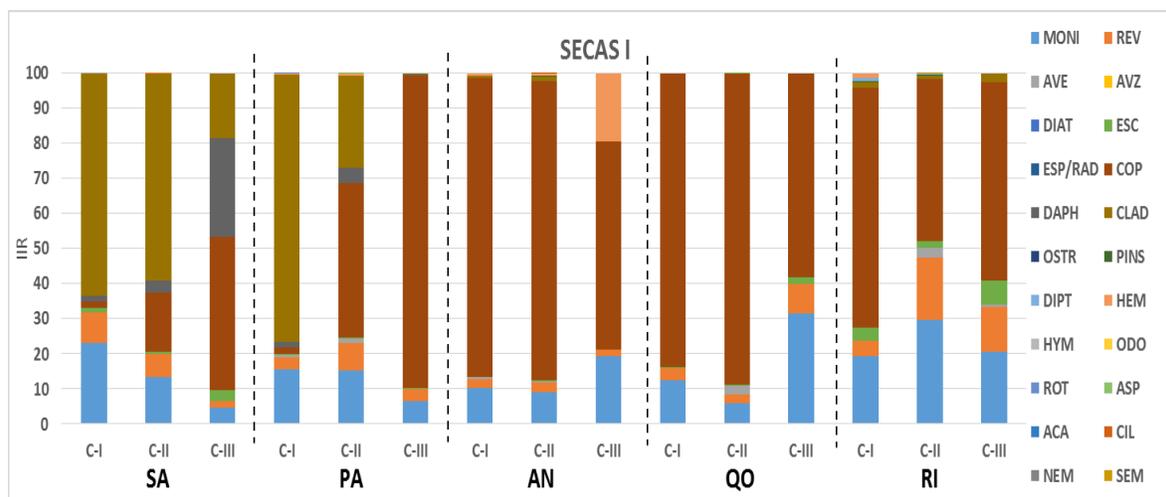


Figura 7. Índice de importancia relativa (IIR porcentual) para las presas que componen la dieta de *C. jordani*, por clase de talla, en cada uno de los cinco sitios (en orden oeste-este SA, PA, AN, QO y RI), durante la temporada de secas I.

Temporada de secas II.

Durante los meses más cálidos del año se presentaron los máximos valores de IIR de la materia orgánica de todo el estudio ($\chi=37.68\%$) casi el doble del valor promedio consumido durante la temporada de lluvias ($\chi=19.63$). La MONI alcanzó su máximo valor de IIR en el sitio QO (IIR=43.94) y fue el máximo valor para todo el ciclo anual, en general para los sitios las tallas más pequeñas de *C. jordani* son las de mayor consumo de MONI. El consumo de restos vegetales también fue mayor a las temporadas de secas y lluvias ($\chi=10.17$). No fue posible encontrar ningún organismo de *C. jordani* en el sitio AN, tampoco se pudo localizar peces de la clase III en RI. La tendencia diferencial del consumo de cladóceros y copépodos se mantuvo, con mayores valores de cladóceros al centro y copépodos al este. Algunas otras presas adicionales como insectos o restos de peces aparecieron para algunos sitios. (Fig. 8)

El máximo valor de los cladóceros se obtuvo en el sitio SA ($\chi=38.23$), a diferencia de la temporada de lluvias el valor de IIR incremento conforme aumentó la talla. Así mismo el consumo de *Daphnia sp.* Presentó su máximo valor de todo el ciclo en el sitio PA, para la clase III. Al igual que los cladóceros, el consumo de copépodos incrementa conforme a la talla y la clase III del sitio QO presenta el mayor valor (IIR=79.89). Ver figura 8.

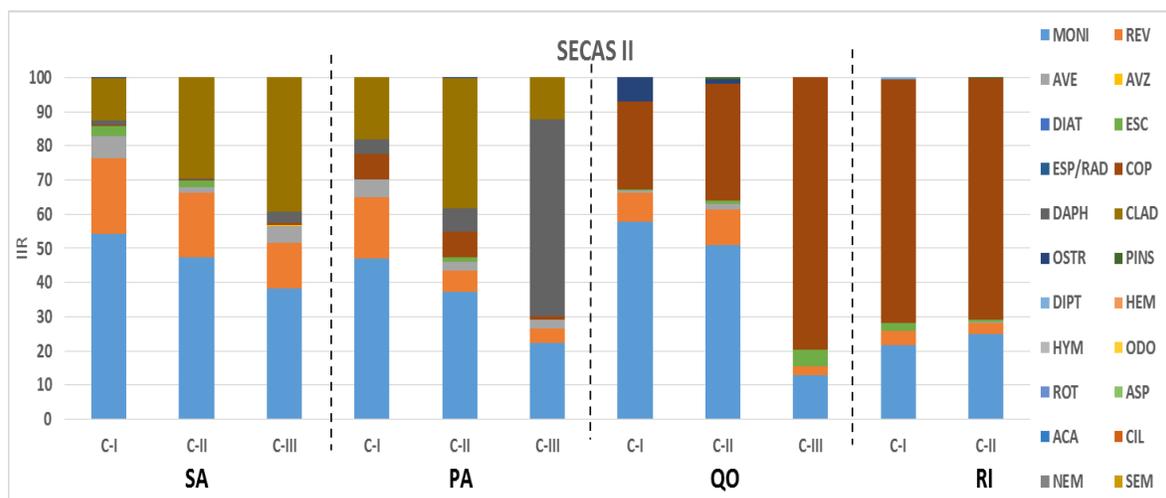


Figura 8. Índice de importancia relativa (IIR porcentual) para las presas que componen la dieta de *C. jordani*, por clase de talla, en cada uno de los cinco sitios (en orden oeste-este SA, PA, AN, QO y RI), durante la temporada de secas II.

11.2.5.-Presas clave

El análisis de CP indica que los artículos alimenticios que mayormente explican la variación de la dieta de *C. jordani* son los cladóceros, copépodos y los hemípteros (Figura 9), los cuales son consumidos de manera excluyente. Se puede apreciar también que existe un patrón espacial en la ingesta de las presas, lo cual ya se había señalado en el análisis de IIR.

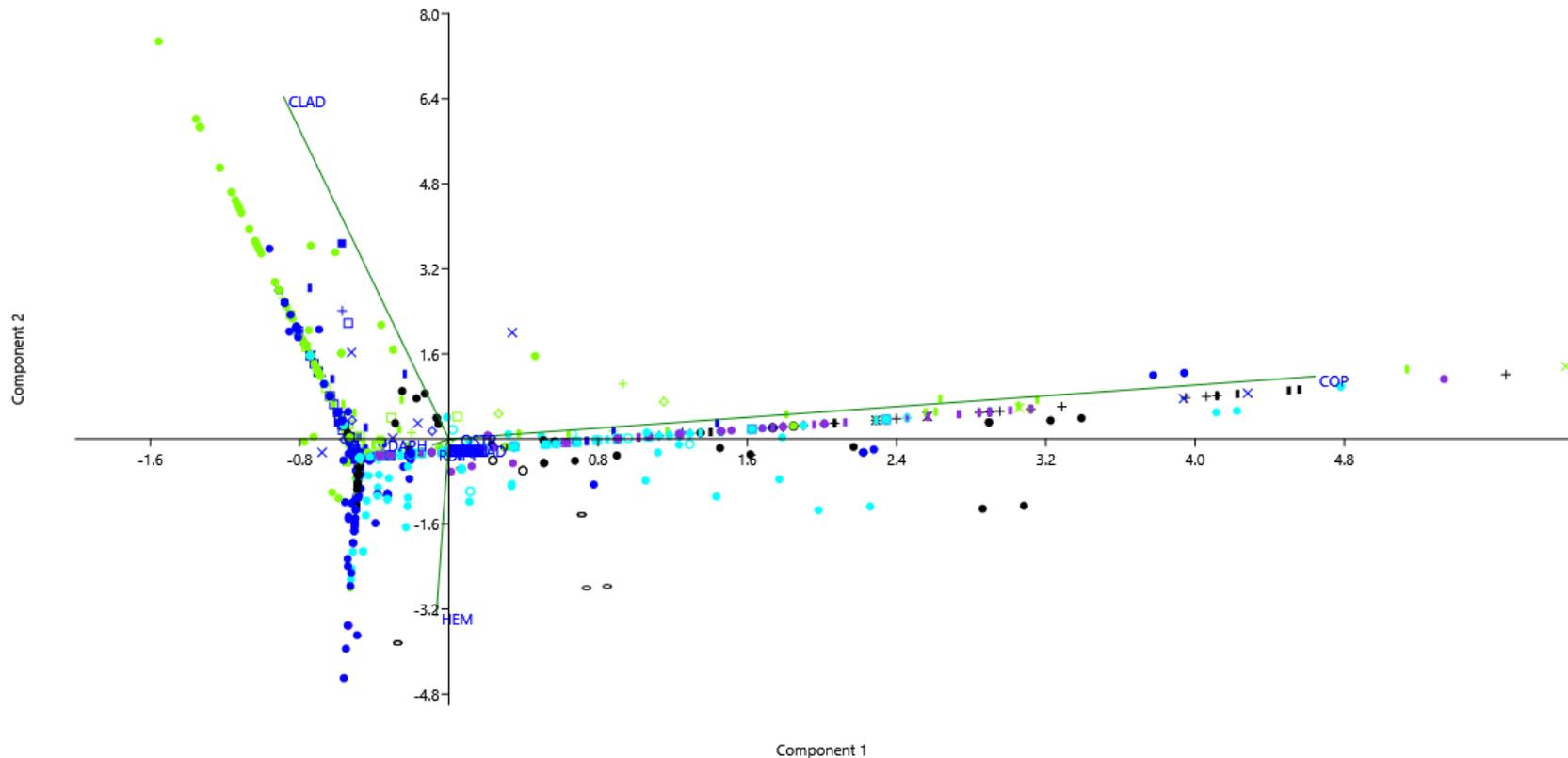


Figura 9. Gráfica del primer y segundo eje del análisis de CP para los artículos que componen la dieta de *C. jordani*.

11.3.-Estrategia trófica e importancia de las presas.

11.3.1.-Temporada de Lluvias

Mediante el análisis de diagrama trófico de Costello (1996) se pudieron identificar a las presas que tienen un mayor aporte a la dieta de *C. jordani*. Los resultados apoyan lo descrito por el IIR, la tendencia señala que los copépodos, cladóceros y hemípteros son en general las presas preferenciales. La materia orgánica y los restos vegetales presentan una alta frecuencia de aparición pero una abundancia baja (Porcentaje de área) inferior al 50%. A pesar de que la dieta se compone de 22 artículos, muchos tuvieron un bajo porcentaje de área y una FA cercana al 0, por lo tanto se ubicaron en el primer cuadrante del grafio y se consideraron como “accidentales u ocasionales”.

SAN AGUSTÍN.

En el sitio SA se encontró que las presas más preferidas varían conforme a la talla.

La clase II y III se presentó HEM como la misma presa preferencial. REV y MONI para todas las clases de talla se ubicó en el cuadrante de las presas frecuentes pero poco abundantes, lo cual probablemente se debe a un alto contenido de estas en el ambiente (fig. 10)

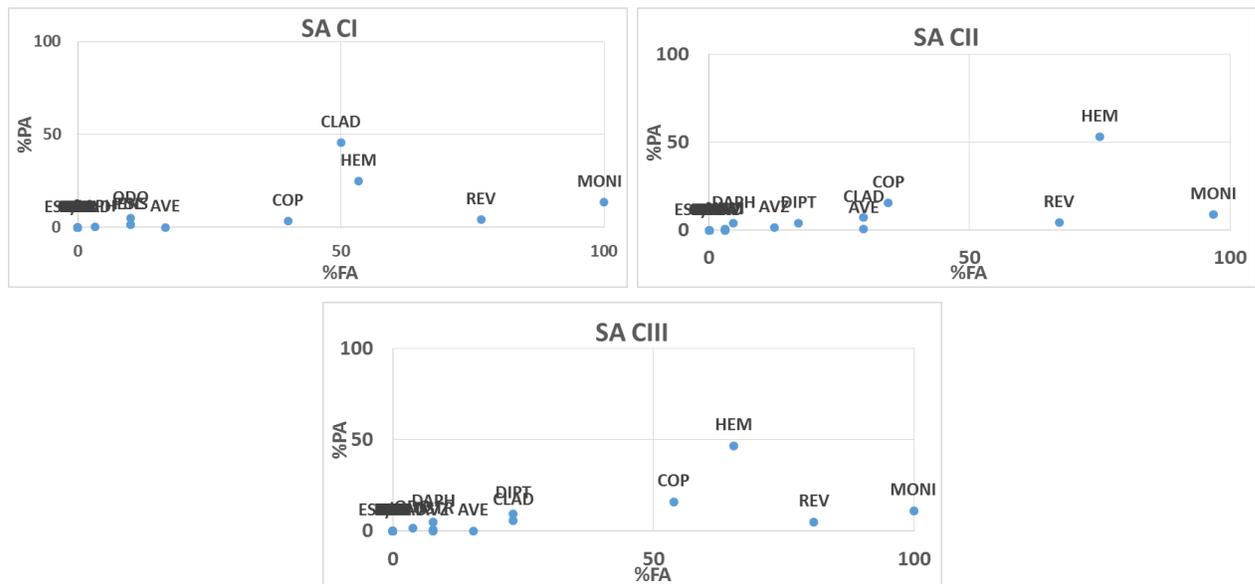


Figura 10. Diagrama trófico de las tres clases de talla de *C. jordani*, en el sitio SA, durante la temporada de lluvias. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.

LA PALMA.

Durante las lluvias en el sitio PA se encontró que los cladóceros son los artículos alimenticios más abundantes y frecuentes para las tres clases de talla. Así mismo la materia orgánica y los restos vegetales (porcentajes de hasta 100%) son los más frecuentes pero con una abundancia en PA baja. Para las tres clases se presentan la mayor parte de los componentes de la dieta en el cuadrante de las presas accidentales (Fig. 11)

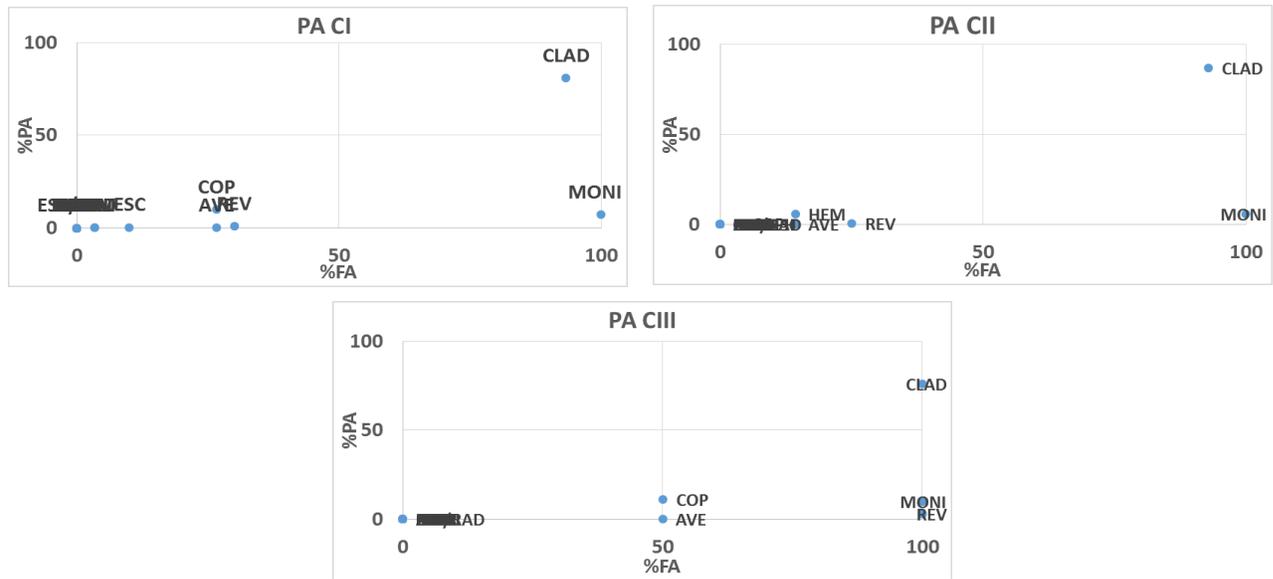


Figura 11. Diagrama trófico de las tres clases de talla de *C. jordani*, en el sitio PA, durante la temporada de lluvias. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.

ANDOCUTÍN.

Para la clase I del sitio AN se presentaron todos los componentes de la dieta en el primer cuadrante, con una baja FA y PA, lo cual indica que tiene una dieta diversa. Sin embargo la clase II tiene como presa preferencial a los copépodos y a restos vegetales y MONI como frecuentes pero poco abundantes. En los organismo más grandes de este sitio (CIII) los hemípteros fueron las presas más abundantes, pero a la vez presentaron una FA menor al 50%, para esta clase de talla se presentaron la mayor abundancia y frecuencia de COP y restos de peces (ESP/RAD) (Fig. 12)

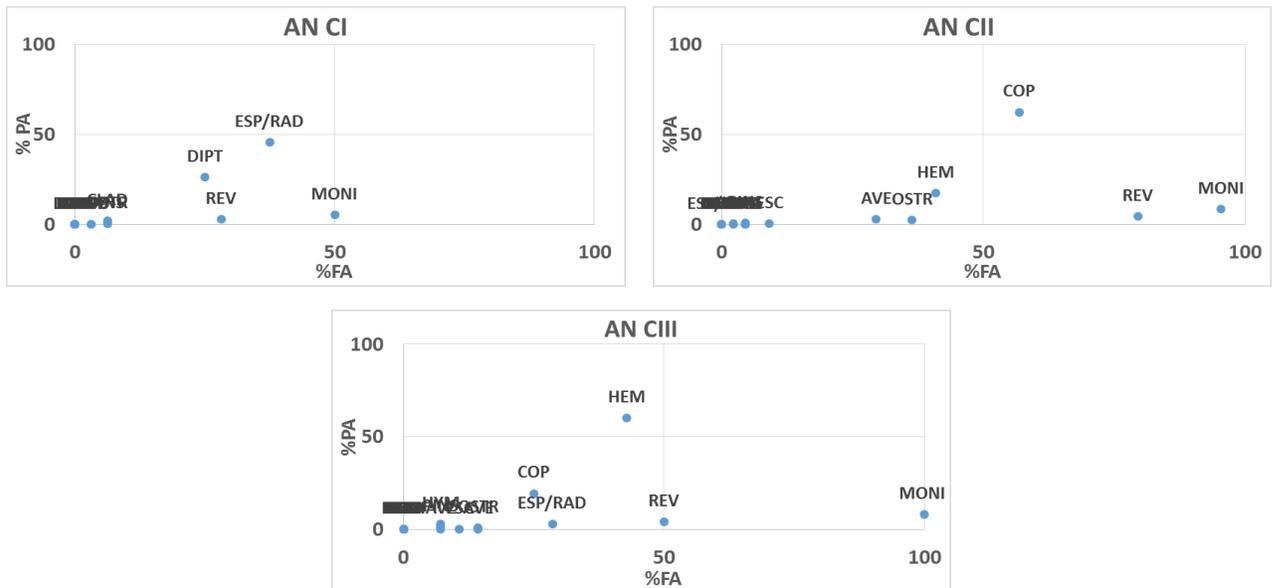


Figura 12. Diagrama trófico de las tres clases de talla de *C. jordani*, en el sitio Andocutín (AN), durante la temporada de lluvias. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.

ESTACIÓN QUERENDARO.

Para la clase I y II de este sitio se ubicaron a los copépodos como presas frecuentes y con alto PA, sin embargo en la clase dos el consumo no rebasa el 50%. Los componentes REV y MONI al igual que en otros sitios son muy frecuentes pero con una abundancia inferior al 25%. Algunos grupos de algas (AVE) presentan una frecuencia de aparición mayor a otros artículos, pero inferior en todos casos al 50%. La constante ubicación de MONI, REV y AVE en el cuadrante de las presas frecuentes pero poco abundantes. Pues la especie es carnívora zooplanctófaga lo cual hace poco probable que ingiera detritus. (Figura13)

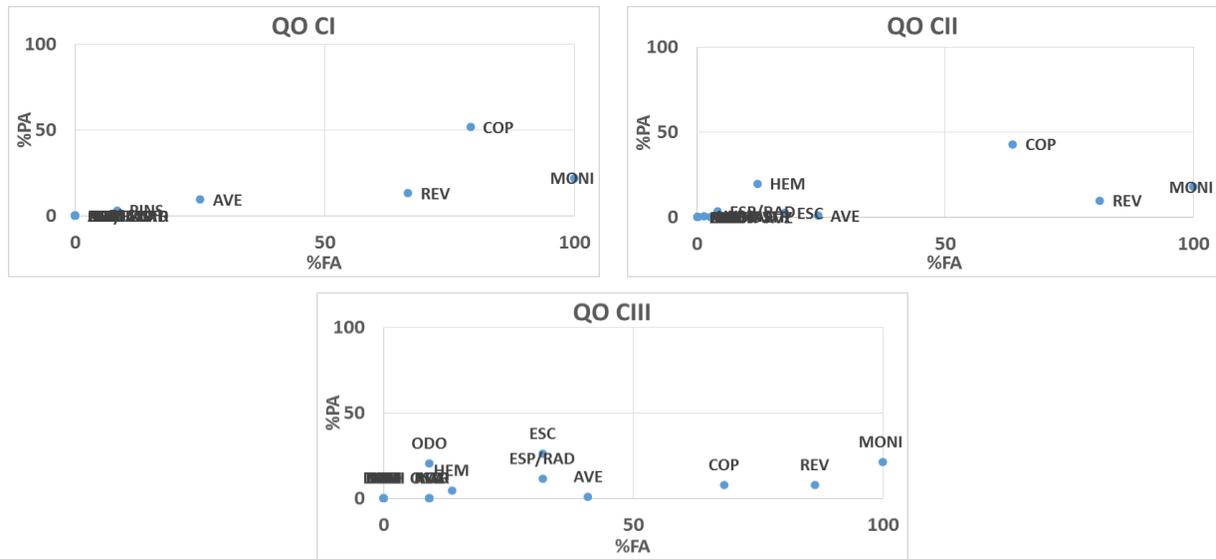


Figura 13. Diagrama trófico de las tres clases de talla de *C. jordani*, en el sitio QO, durante la temporada de lluvias. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.

IRAMUCO.

Los copépodos fueron la presa más abundante y frecuente para las tres clases.

MONI y REV presentaron alta frecuencia pero baja abundancia (fig. 14)

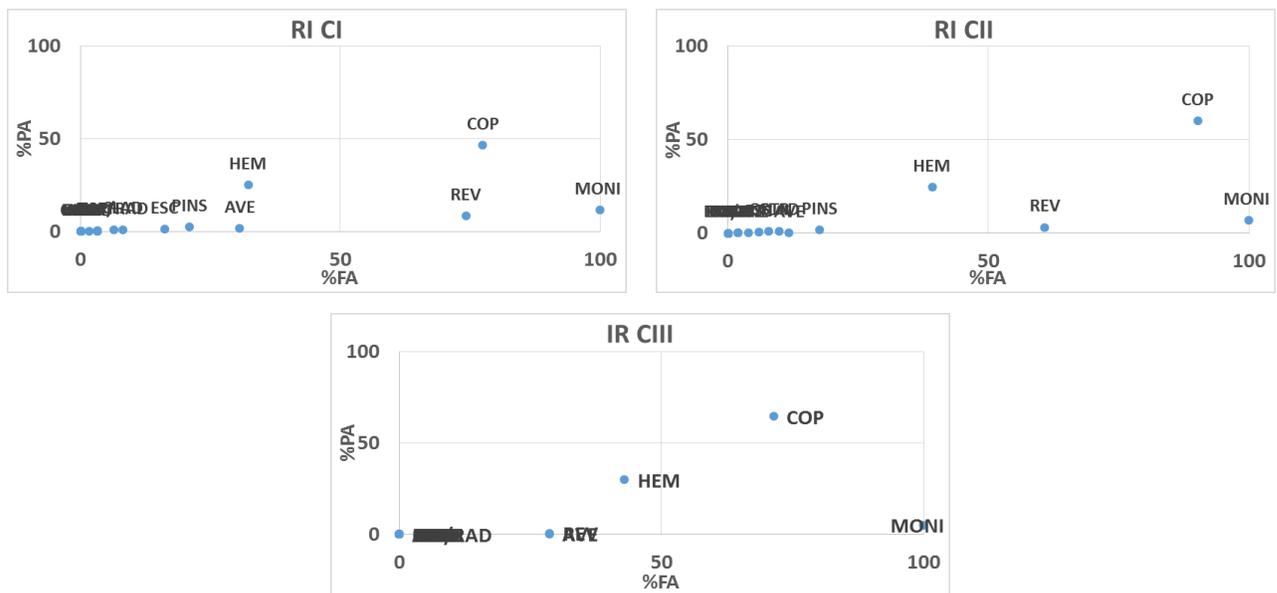


Figura 14. Diagrama trófico de las tres clases de talla de *C. jordani*, en el sitio RI, durante la temporada de lluvias. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.

11.3.2.-Temporada de secas I.

Durante la temporada fría del año se presentó la misma tendencia que en lluvias, con cladóceros, copépodos y hemípteros como presas abundantes en el contenido estomacal y de porcentaje de frecuencia de aparición alta. MONI y REV se mantuvieron como presas frecuentes pero poco abundantes. Sin embargo la FA de ciertas presas como *Daphnia sp.* (DAPH), se incrementó. La porción central tuvo a los cladóceros como presas frecuentes, con los copépodos en algunas clases. En los sitios del vaso este se presentaron los copépodos como las presas preferidas.

SAN AGUSTÍN.

La presa preferida para la clase I y II fue CLAD, en la clase II los copépodos fueron frecuentes pero con abundancia inferior a 50%. Mientras que la clase III no presentó ningún componente de la dieta en el cuadrante de las presas preferidas, pero DAPH, CLAD y COP aparecieron en más del 50% de los tractos revisados, con abundancia baja. Para todas las clases de talla REV y MONI presentan frecuencia cercana al 100% pero una baja abundancia (Fig. 15)

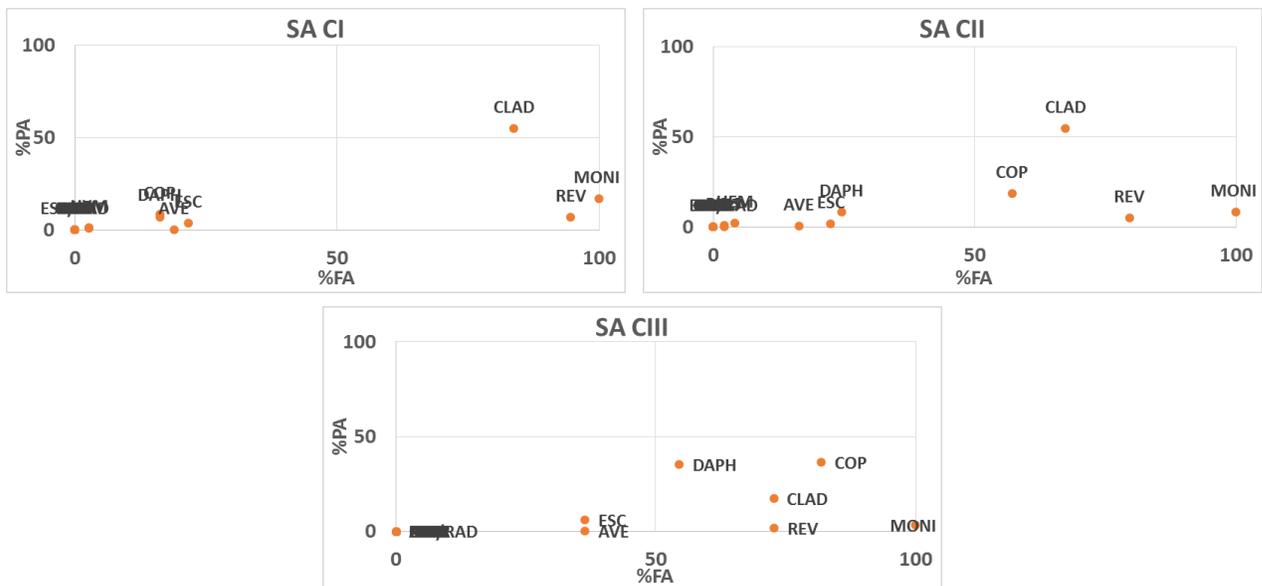


Figura 15. Diagrama trófico de las tres clases de talla de *C. jordani*, en el sitio SA, durante la temporada de secas I. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.

LA PALMA.

Para este sitio la clase I tuvo como única presa preferencial a los cladóceros, HEM, DAPH, AVE y otros como incidentales. La clase II no presentó ninguna componente de la dieta en el cuadrante preferencial, COP y CLAD se ubicaron como presas frecuentes pero de abundancia menor a 50%. Respecto a la clase de talla III se determinó una fuerte preferencia por los copépodos, pues se encontró que el porcentaje de área que ocupa en el tracto y la frecuencia de aparición son cercanas al 100%. REV y MONI presentaron una frecuencia de aparición alta pero abundancia cercana al 5%, la tendencia generalizada para todos los sitios, clases de talla y temporadas (Figura 16).

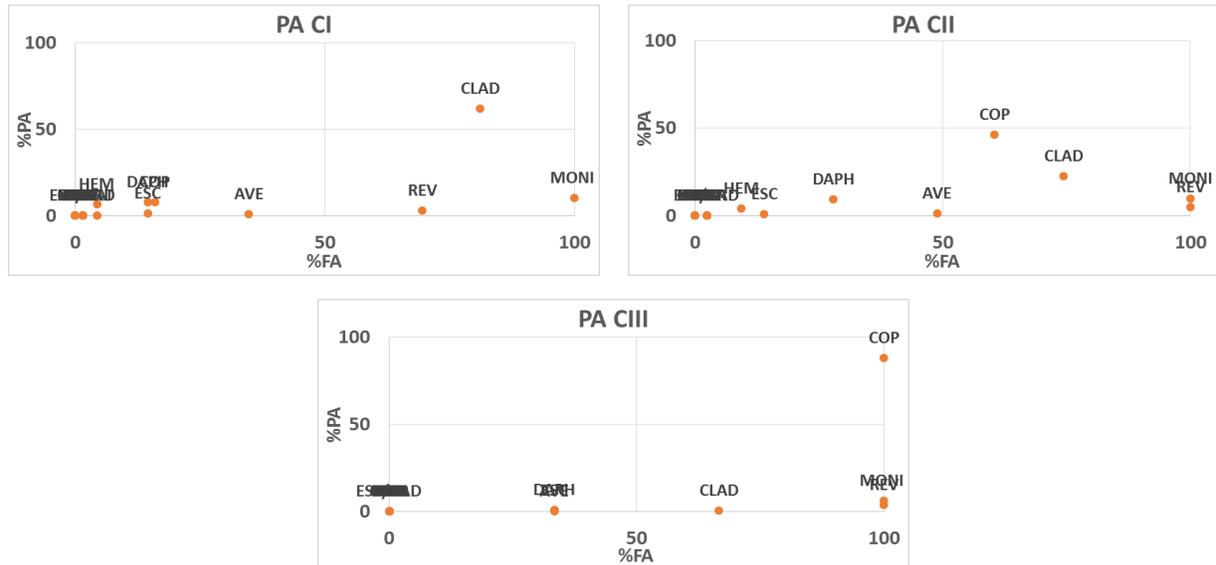


Figura 16. Diagrama trófico de las tres clases de talla de *C. jordani*, en el sitio PA, durante la temporada de secas I. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.

ANDOCUTÍN.

Se encontró para las tres clases de talla que solo los copépodos ocupan el cuadrante de presas preferenciales. La mayor parte de las presas que componen la dieta se ubican en la zona de presas accidentales, pues presentan bajo PA y FA. Los artículos MONI, REV y HEM presentaron baja abundancia y pero están presentes en la mayoría de los tractos digestivos (Fig. 17).

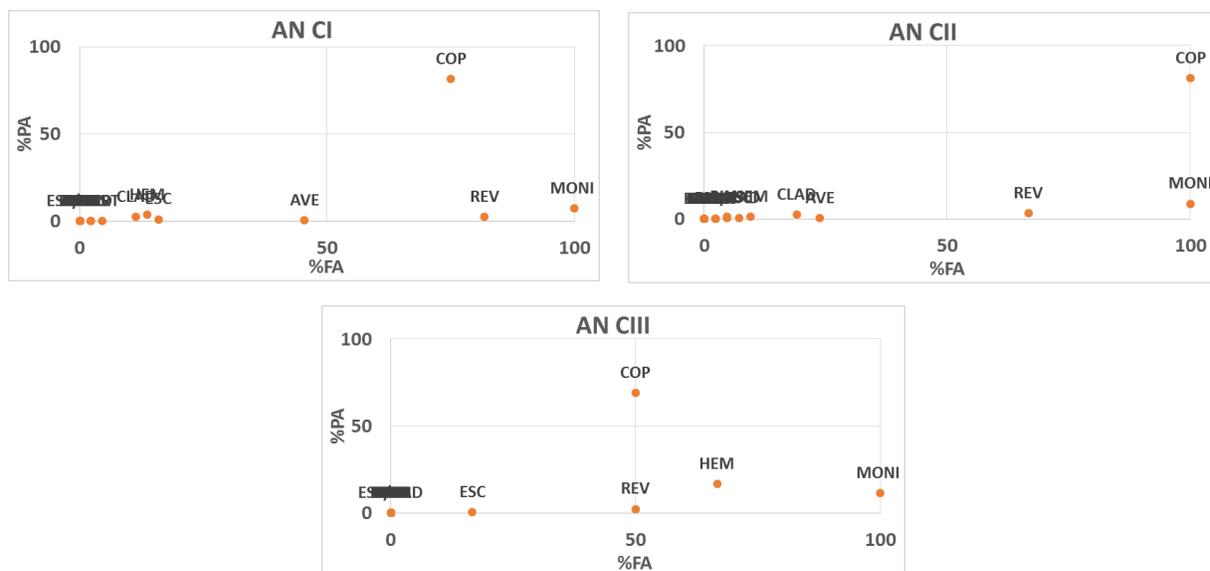


Figura 17. Diagrama trófico de las tres clases de talla de *C. jordani*, en el sitio AN, durante la temporada de secas I. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.

ESTACIÓN QUERENDARO.

Se determinó para las tres clases de tallas a los copépodos como presas preferidas. De igual forma que en los casos anteriores la mayor parte de los componentes de la dieta se agrupan como accidentales por FA y PA. La MONI, REV y AVE con la misma tendencia de los sitios pasados. (Figura 18)

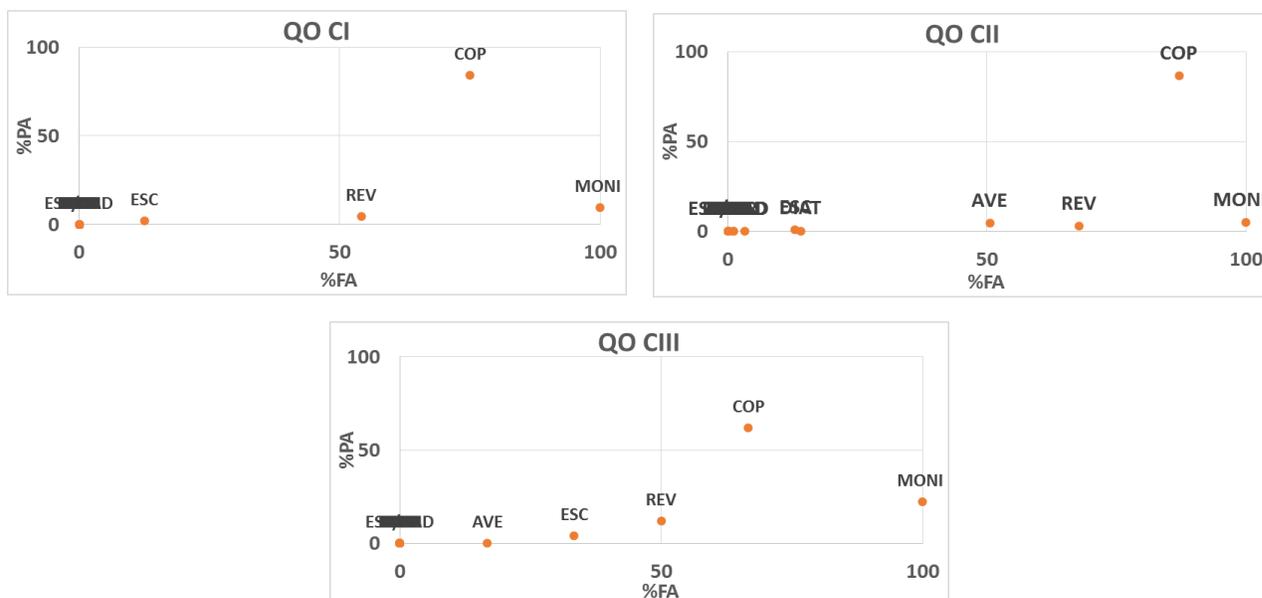


Figura 18. Diagrama trófico de las tres clases de talla de *C. jordani*, en el sitio QO, durante la temporada de secas I. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan

Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.

IRAMUCO.

Los copépodos son los únicos artículos del cuadrante de presas preferidas de las tres clases de talla. MONI, REV y ESC presentaron alta FA y baja abundancia (PA). Ver figura 19.

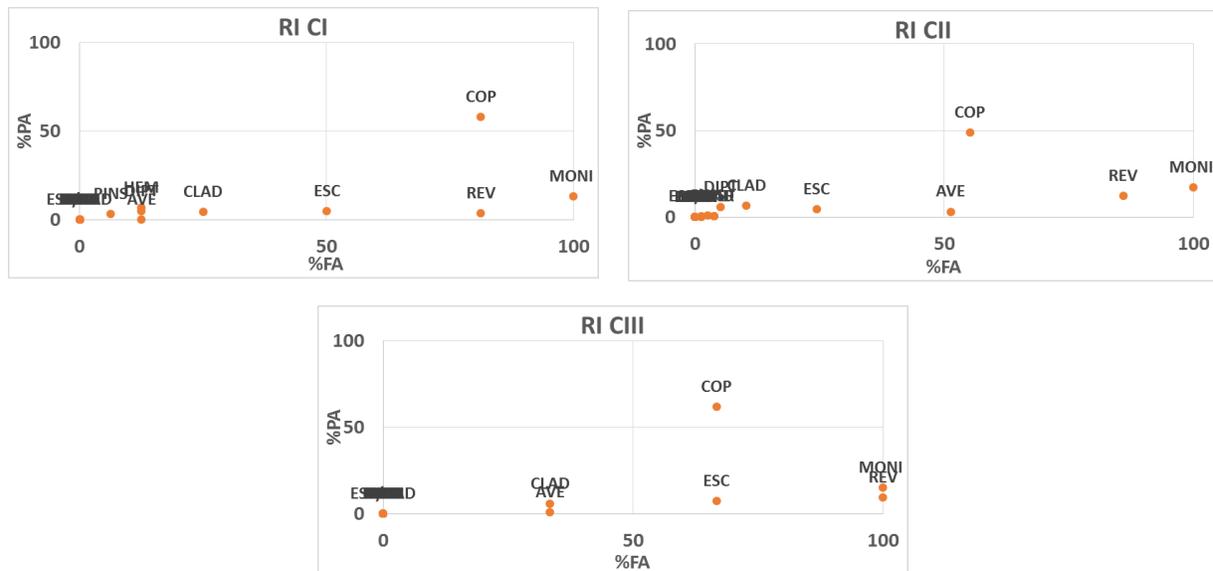


Figura 19. Diagrama trófico de las tres clases de talla de *C. jordani*, en el sitio RI, durante la temporada de secas I. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.

11.3.3.-Temporada de secas II

Durante la temporada de temperaturas más cálidas en el año, disminuyó de manera general la abundancia de las presas en el contenido estomacal, pero se incrementó la frecuencia de algunas otras. En la zona centro del lago los cladóceros presentaron una mayor abundancia, sin embargo no se consideró como preferida o preferencial debido a que el valor de PA alcanzado es inferior a los 50% en todos los casos. Mientras que en el vaso este la mayor PA la representan los copépodos y en el sitio RI estos representan la única presa preferida. La materia orgánica y los restos vegetales mantienen la tendencia de la temporada de lluvias y secas I.

SAN AGUSTÍN.

Para los organismos de todas las clases de talla la frecuencia de aparición fue alta para las variables de MONI y REV, sin embargo el resto de las presas presentaron FA menor a 50% y la abundancia de las presas fue en general baja. Las presas estuvieron en una proporción similar en el tracto digestivo, sin que se evidenciara una preferencia clara por algún tipo de alimento. Es por esto que ningún artículo está en el cuadrante preferencial (fig. 20).

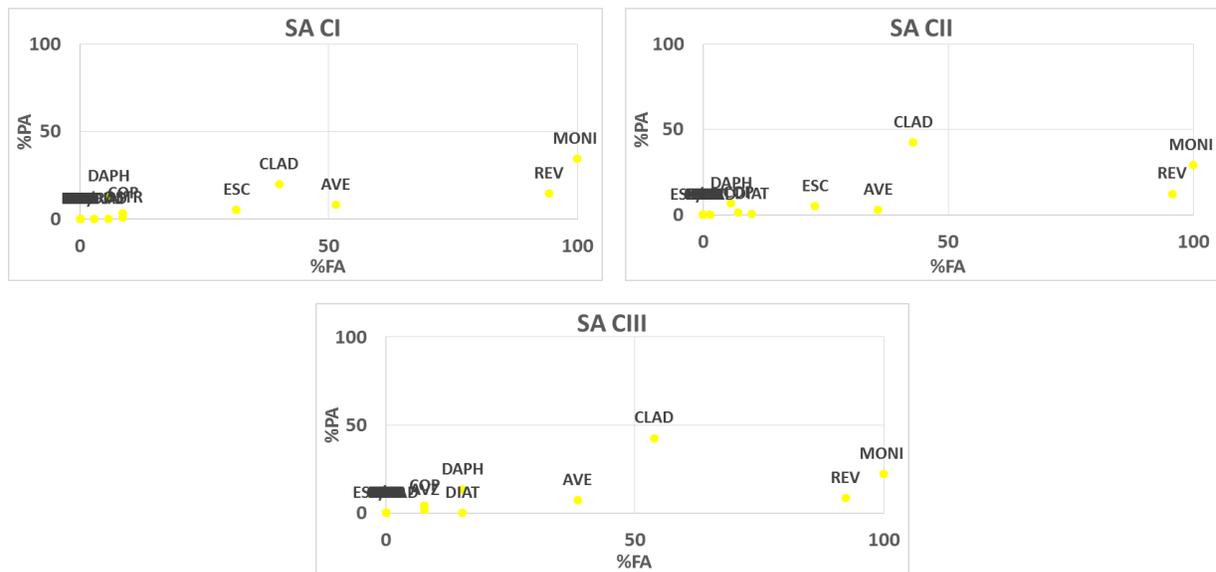


Figura 20. Diagrama trófico de las tres clases de talla de *C. jordani*, en el sitio SA, durante la temporada de secas II. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.

LA PALMA.

La presa DAPH (*Daphnia sp.*) fue el artículo preferencial de la clase III, por única ocasión en todo el estudio. Sin embargo en las clases de talla restantes no se encontró ninguna presa con abundancia y frecuencia de aparición superior al 50%. Los artículos CLAD, AVE, REV y MONI tuvieron la misma tendencia que en los sitios anteriores. Ver figura 21

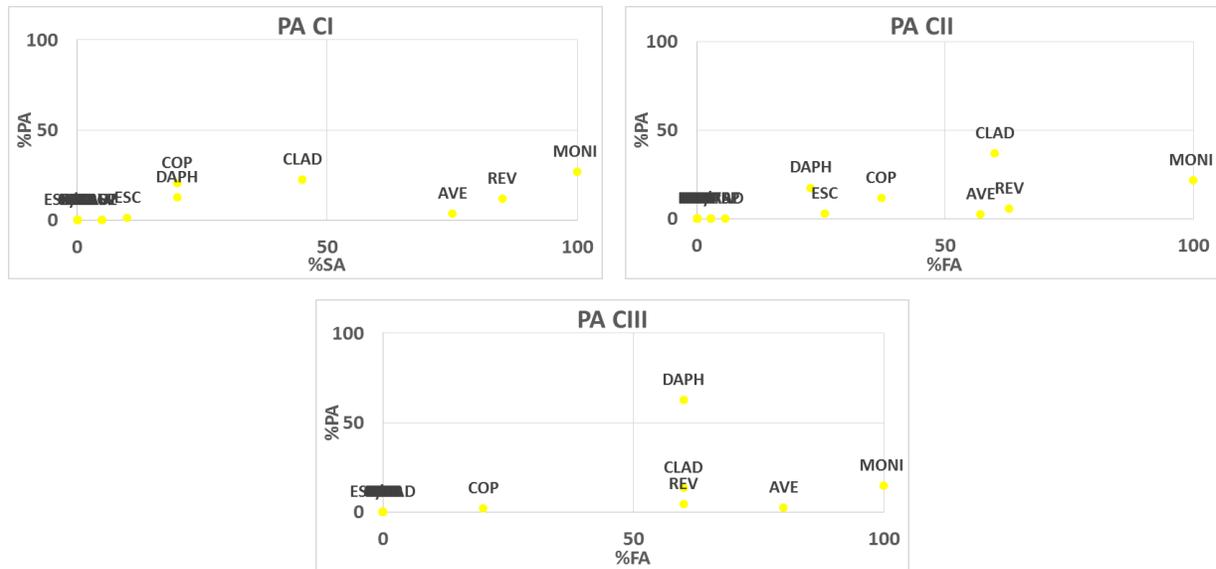


Figura 21. Diagrama trófico de las tres clases de talla de *C. jordani*, en el sitio PA, durante la temporada de secas II. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.

ESTACIÓN QUERENDARO.

La clase III presentó preferencia por los copépodos, para las otras clases no se encontró ninguna presa en el cuadrante de las preferenciales. OSTR, REV, MONI y los mismos copépodos son frecuentes en los tractos digestivos, pero con un porcentaje de área menor al 50%. Figura 22.

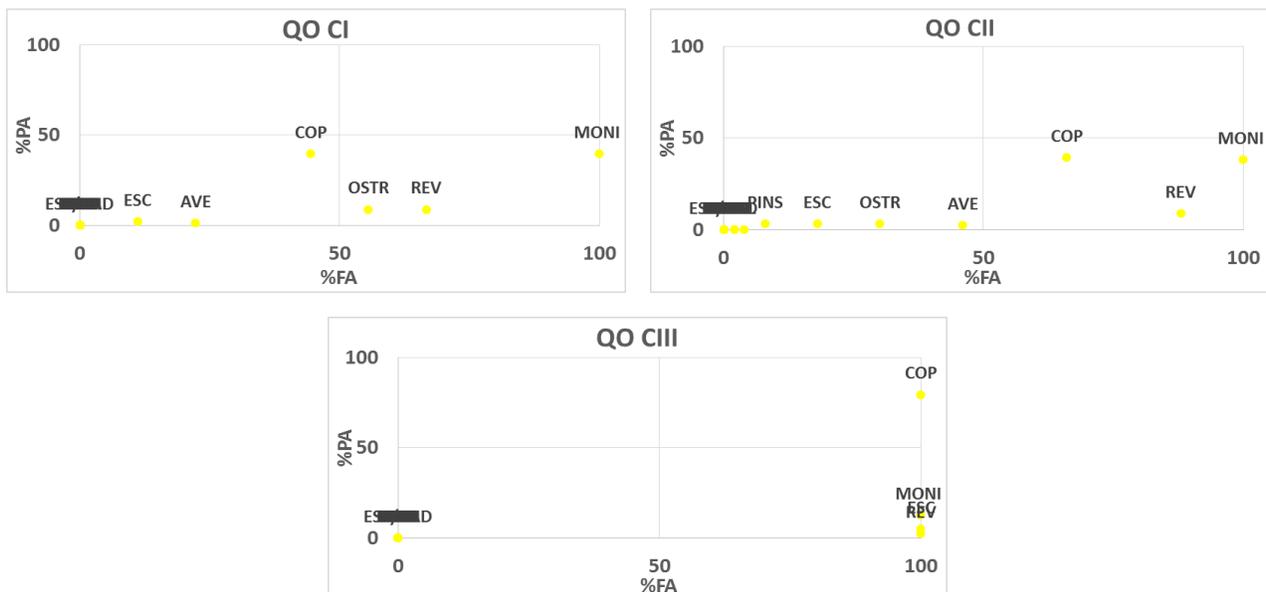


Figura 22. Diagrama trófico de las tres clases de talla de *C. jordani*, en el sitio QO, durante la temporada de secas II. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.

IRAMUCO.

Para la temporada de secas II no fue posible obtener organismos de la mayor talla (CIII). La clase I y II fueron similares, ambas con copépodos como presa más abundante y frecuente, MONI y REV frecuentes pero poco abundantes. Algunos artículos como partes de insecto y dípteros se presentaron de forma accidental (fig. 23).



Figura 23. Diagrama trófico de las clases de talla I y II, de *C. jordani*, en el sitio RI, durante la temporada de secas II. Las presas ubicadas en el cuadrante superior derecho presentan Porcentaje de área (PA) y Frecuencia de aparición (FA) mayores a 50% y por tanto son considerados como importantes o preferenciales.

11.4.-Amplitud de dieta.

Los resultados del índice de Levin indican que *C. jordani* es “especialista”, con excepción de la clase III, en Estación Queréndaro, durante la temporada de secas I, cuyo valor fue de $B' = 0.63$. Se encontró una variación temporal, con un aumento de la amplitud de nicho en algunas tallas durante la temporada de secas I. Durante esta temporada, se presentó el mayor intervalo de variación de todo el ciclo (B' Mínimo=0.03, B' Máximo=0.63, Amplitud del intervalo=0.6, media=0.21), durante las temporadas restantes la amplitud fue más constante (Temporada de secas II: B' Mínimo=0.11, B' Máximo=0.3, Amplitud del intervalo=0.19, media=0.21; Temporada de lluvias: B' Mínimo=0.02, B' Máximo=0.26, Amplitud del intervalo=0.2, media=0.143). El promedio de la amplitud de dieta fue similar entre las dos temporadas de secas y menor en la temporada de lluvias, sin embargo no existe diferencia estadística entre temporadas ($F=1.8612$, $p=0.1719$). Entre sitios tampoco se presentó diferencia estadística ($F=0.6480$, $p=0.6324$) por lo tanto no se encontró diferencia espacial o temporal de la amplitud de dieta. Sin embargo si se presentó diferencia ($F=8.0314$, $p=0.0015$) entre las clases de talla, pues los organismos de mayor tamaño (CIII) poseen una mayor amplitud de dieta (media=0.2988) que las otras dos clases. Estas últimas en promedio no presentaron diferencias, son estadísticamente similares. (Figuras 24, 25 y 26)

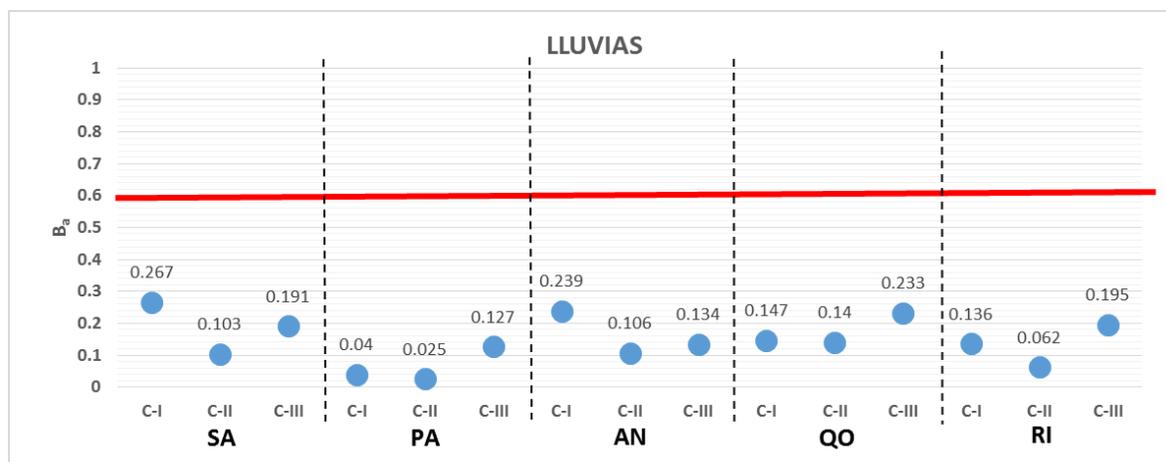


Figura 24. Amplitud de dieta de *C. jordani* utilizando el índice de Levin, considerado los cinco sitios (AN, PA, QO, RI Y SA), y las tres clases de talla, durante la temporada de lluvias. En negritas se pueden apreciar los valores más altos. La línea roja indica el límite para considerar especialista o generalista a una especie.

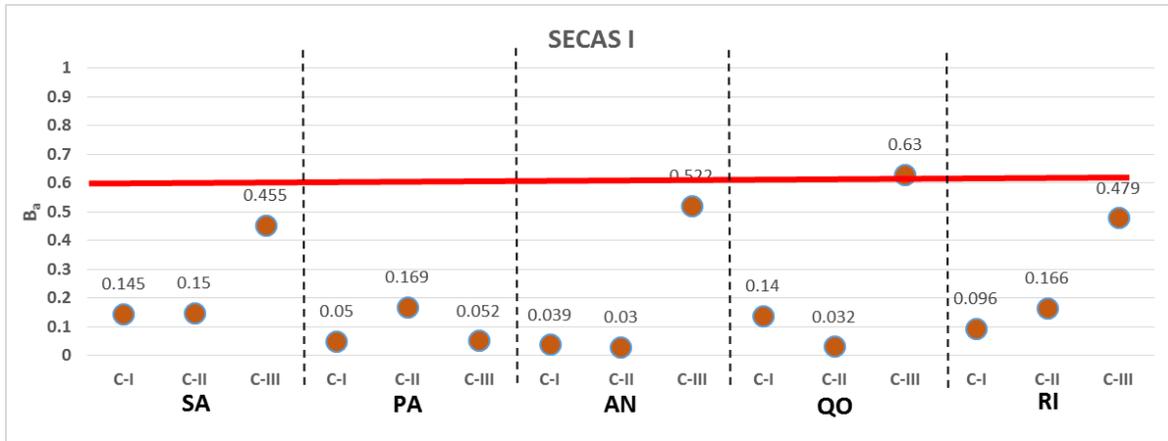


Figura 25. Amplitud de dieta de *C. jordani* utilizando el índice de Levin, considerado los cinco sitios (AN, PA, QO, RI Y SA, n=1380), y las tres clases de talla, durante la temporada de secas I. En negritas se pueden apreciar los valores más altos. La línea roja indica el límite para considerar especialista o generalista a una especie

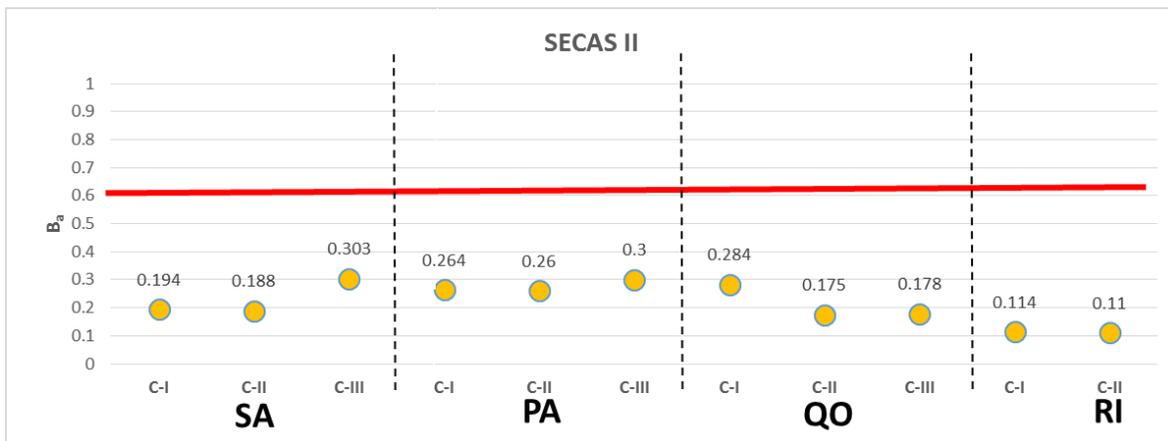


Figura 26. Amplitud de dieta de *C. jordani* utilizando el índice de Levin, considerado los cinco sitios (AN, PA, QO, RI Y SA, n=1380), y las tres clases de talla, durante la temporada de secas II. En negritas se pueden apreciar los valores más altos. La línea roja indica el límite para considerar especialista o generalista a una especie.

11.5.-Variación espacial de la amplitud de dieta.

El número de artículos de la gama trófica de *C. jordani* fue variable entre sitios clases y tallas (mínimo: 4, máximo: 15). La diversidad de la dieta por tanto fue desde un mínimo de $H' = 1.22$, hasta $H' = 2.03$. De esta misma forma el índice de Simpson fue menor para aquellas clases de talla con el menor número de artículos alimenticios.

Los resultados del índice de Shannon mostraron menor porcentaje de diferenciación entre los sitios del centro contra los del Este (SA, PA/ QO, RI y AN 32% de diferencias). Mientras que en la comparación de la zona Este presenta un mayor porcentaje (AN, QO, RI/ AN, QO, RI 38% de diferencias) y la menor diferenciación sucede en la porción central del lago (SA, PA/SA, PA 23% de diferencias). Lo cual hace probable que en términos de diversidad la zona centro es constante, con sitios con diversidad similar. Mientras que el vaso este presenta una alta heterogeneidad entre sus sitios (cuadro 8)

Este mismo patrón se aplica a las dominancia, el mayor porcentaje de diferenciación ocurre en la zona central del lago (SA, PA/SA, PA 22% de diferencias). Pero la comparación entre el centro y el Este presenta un menor porcentaje de diferencias (SA, PA/ QO, RI y AN 17%) y mínimo se presentó en la región este del lago (AN, QO, RI/ AN, QO, RI 16%).

Cuadro 8. Amplitud de nicho utilizando el índice de diversidad (Shannon: H') y dominancia (Simpson: D) para la dieta de *C. jordani* del lago de Cuitzeo. Se indica el número de artículos alimenticios para cada una de las clases de talla (C-I, C-II, C-III) de los cinco sitios (AN, QO, RI, SA, PA), durante las tres temporadas (LLUVIAS, SECAS I y SECAS II)

	AN								
	LLUVIAS			SECAS I			SECAS II		
	C-I	C-II	C-III	C-I	C-II	C-III	C-I	C-II	C-III
No. Art.	10	13	11	10	13	5	-	-	-
H'	1.8	2.01	2.03	1.79	1.81	1.49	-	-	-
D	0.78	0.83	0.83	0.80	0.79	0.75	-	-	-
	QO								
	LLUVIAS			SECAS I			SECAS II		
	C-I	C-II	C-III	C-I	C-II	C-III	C-I	C-II	C-III
No. Art.	11	14	13	4	9	5	6	10	4
H'	1.82	1.98	2.17	1.22	1.65	1.46	1.61	1.81	1.39
D	0.79	0.81	0.85	0.68	0.78	0.74	0.78	0.81	0.75
	RI								
	LLUVIAS			SECAS I			SECAS II		
	C-I	C-II	C-III	C-I	C-II	C-III	C-I	C-II	C-III
No. Art.	4	9	5	9	13	6	8	8	-
H'	1.22	1.65	1.46	1.86	1.83	1.71	1.64	1.58	-
D	0.68	0.78	0.74	0.82	0.80	0.81	0.78	0.76	-
	SA								
	LLUVIAS			SECAS I			SECAS II		
	C-I	C-II	C-III	C-I	C-II	C-III	C-I	C-II	C-III
No. Art.	10	12	11	9	11	7	10	11	8
H'	1.95	2.03	1.99	1.73	1.89	1.89	1.82	1.76	1.72
D	0.83	0.84	0.83	0.79	0.82	0.84	0.80	0.78	0.79
	PA								
	LLUVIAS			SECAS I			SECAS II		
	C-I	C-II	C-III	C-I	C-II	C-III	C-I	C-II	C-III
No. Art.	8	8	5	14	15	7	10	10	6
H'	1.62	1.49	1.56	1.88	2.03	1.83	1.86	1.95	1.71
D	0.75	0.71	0.78	0.81	0.84	0.83	0.81	0.84	0.81

11.6.-Nivel y gremio trófico.

Los resultados del valor TROPH determinaron que *C. jordani* es un consumidor secundario, con un TROPH promedio para cada temporada de: Lluvias media=2.87; Secas I media=2.82; Secas II media=2.57. Se presentó una variación temporal del nivel trófico, durante los meses más calurosos el valor TROPH disminuye de manera significativa ($F=8.7338$, $p=0.0009$). Mientras que en la temporada de lluvias y secas I el nivel trófico es similar. El nivel trófico no es diferente entre sitios ($F=1.6410$, $p=0.1881$), ni entre clases de talla ($F=1.6673$, $p=0.2037$). El mínimo valor TROPH fue obtenido en la temporada de secas II (TROPH=2.37) y el máximo en la temporada de lluvias (TROPH=3.35). Ver figura 27.

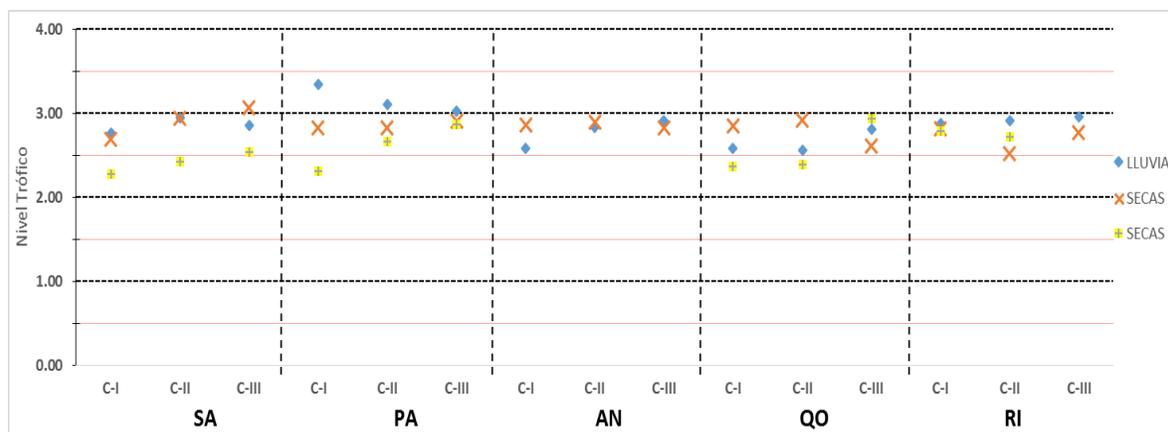


Figura 27. Dinámica espacial y temporal del valor TROPH de *C. jordani*. Se representan con colores diferentes las tres temporadas (**LLUVIAS**, **SECAS I**, **SECAS II**) considerando los cinco sitios (**AN**, **PA**, **QO**, **RI** Y **SA**) Para cada una de las tres clases de talla (**C-I**, **C-II**, **C-III**).

12.-DISCUSIÓN.

De manera regular los trabajos de hábitos alimenticios y contenido estomacal se centran en el aspecto cualitativo/cuantitativo de la dieta (Hyslop, 1980; Costello, 1990), con un énfasis en la composición de la misma, bajo un contexto netamente descriptivo. Por lo que el principal y novedoso aporte del presente trabajo es la exploración de la variación de los aspectos de la ecología trófica de *C. jordani* en función de la dinámica ambiental. Por lo que el análisis trófico obtenido permite tener una nueva perspectiva del complejo fenómeno biológico que representa la trama trófica en sistemas lacustres Hipereutróficos.

Tomando como punto de partida el aspecto cualitativo de la dieta de *C. jordani* la mayor parte de los componentes alimenticios pertenecen a los organismos zooplanctófagos. Particularmente copépodos y cladóceros que son principalmente filtradores detritívoros y solo hay pocos casos de depredadores activos, habitantes de la columna de agua. (Elias-Gutierrez, 1998). La cantidad de *Cyclops* en el contenido estomacal fue muy reducida, *C. jordani* realiza una mayor ingesta de *Diaptomus*, que son copépodos calanoideos de natación libre (Elias-Gutierrez, 1998). Esto nos indica que la zona de alimentación del charal se encuentra en las aguas abiertas, en lugar del fondo o entre la vegetación. Los insectos encontrados en el tracto digestivo corresponden a especies presentes en el medio terrestre y que, en algunos casos como los dípteros, necesitan el medio acuático para cumplir su ciclo de vida. Cuando los adultos de estos insectos caen al agua y son ingeridos por los peces representan una fuente complementaria de energía en la dieta del charal de Cuitzeo (Vital-Rodríguez, 2011). De acuerdo a lo reportado por Zubieta-Rojas (1985) la especie ingiere hemípteros acuáticos, lo cual corresponde con lo encontrado en el presente trabajo. Estos insectos son depredadores de larvas de dípteros y otros insecta, por lo que ocupan un nivel trófico elevado (Giller, 1986; Eitam *et al.*, 2002). El consumo de los hemípteros por tanto favorece el incremento del nivel trófico de *C. jordani*.

Para el análisis trófico se decidió separar los grupos de algas en tres categorías cianobacterias (algas verde-azules), algas verdes y diatomeas. Esta diferenciación se debió a las características biológicas de estos grupos (Ortega-Murillo *et al.*, 2010; Mitschke *et al.*, 2011). Las algas verdeazules son capaces de incluir el nitrógeno

ambiental y son uno de los organismos autótrofos más independientes que existen (Allen y Arnon, 1955) pueden representar una fuente de ingreso de N al sistema (Mitschke *et al.*, 2011). Las diatomeas por otro lado, son una de las comunidades más abundantes del lago y por su forma indican la posición en la que habitan, lo que puede ser valioso para identificar los hábitos de alimentación de *C. jordani* (Ortega-Murillo *et al.*, 2010; Castañeda-Sam, 2011; Ortega-Murillo, 2012)

De acuerdo a lo esperado, se encontraron diferencias espaciales y temporales del IIR de *C. jordani*. El consumo de cladóceros es mayor en la porción central y menor en el vaso este y los copépodos presentan una tendencia contraria. Estas diferencias podrían radicar en la abundancia medioambiental de los microcrustáceos planctónicos. A pesar de que los estudios del zooplancton en el lago son escasos, y que poco se sabe de la distribución de las especies, se determinó que en el vaso oeste y centro abundan los cladóceros (Alvarado-Díaz *et al.*, 1985).

La variación en la composición de la dieta que se presenta de manera temporal podría ser originada por las condiciones limnológicas del cuerpo de agua y su dinámica a través del año (Alvarado-Díaz *et al.*, 1985; Ortega-Murillo *et al.*, 2010) La variación entre las temporadas en el incremento del consumo de MONI y REV es un reflejo de las condiciones del lago (aguas diluidas-perdida del volumen) (Ortega Murillo *et al.*, 2011). La materia orgánica no identificada y los restos vegetales se encuentran en el contenido estomacal con una alta frecuencia (inclusive del 100%) pero con baja abundancia. La poca profundidad de un cuerpo de agua favorece la re-suspensión del sedimento por acción del viento (Zambrano *et al.*, 2001, Bernal-Brooks, 2010). Una vez en la columna de agua el pez termina ingiriendo estos componentes debido a la característica mecánica de obtención de la presa (Lazzaro, 1987) Esto puede indicar que la ingesta de estos recursos se realiza de manera incidental (Costello, 1990; Amundsen, 1996; Liao *et al.*, 2001).

Respecto al desarrollo ontogénico del pez, los resultados indican que los organismos de clase III consumen presas de mayor tamaño, lo cual es congruente con la teoría del óptimo forrajeo (MacArthur y Pianka, 1966; Pyke, 1984) pues el crecimiento correspondiente de la mandíbula permite el acceso a recursos que no son adecuados para los organismos de menor tamaño (Arditi y Dacorogna, 1988). Se

asume que las presas de menor y mayor tamaño son consumidas diferencialmente, con una tendencia de disminuir/aumentar respectivamente conforme se incrementa el tamaño de los organismos. De esta forma las presas principales se pueden clasificar de acuerdo a su tamaño en: Pequeñas (C), copépodos (Inferior a 1 mm); Medianas (M), cladóceros (entre 1 y 2 mm) y grandes (G), hemípteros (mayor a 2 mm). No se encontró diferencia entre las clases en el consumo de los cladóceros pero respecto a los copépodos y hemípteros si existe una diferencia significativa. La talla III (C-III) que es la de mayor tamaño, ingiere la mayor cantidad de copépodos y hemípteros, que es superior al resto de las clases. Los organismos de la C-III son en su mayoría, hembras con un avanzado desarrollo reproductivo, lo cual podría representar una alta demanda energética (Izquierdo *et al.*, 2000) y por tanto esta clase de talla requiere del consumo de una mayor cantidad de copépodos y hemípteros. Este aspecto de la historia de vida del charal no ha sido descrito y por lo tanto poco se conoce al respecto, si bien Zubieta-Rojas (1985) hace referencia al consumo de hemípteros por los peces de mayor talla no lo relaciona con las requerimientos energéticos en la reproducción de la especie.

Los resultados de la estrategia trófica hacen evidente el carácter ocasional de la materia orgánica y los restos vegetales, pues durante todas las temporadas y todas las clases se mantuvieron en el cuadrante inferior derecho de la gráfica (ver figuras 10-23). El criterio para la identificación de la materia orgánica es un debate constante en el análisis de contenidos estomacales, pues es difícil señalar con claridad el origen de la misma, si pertenece a los detritos, restos animales en proceso de digestión etc. (Torres-Rojas, 2009; Mar-Silva *et al.*, 2014). La presencia de la misma en el tracto digestivo de *C. jordani* es inusual, pues el organismo presenta un carácter más bien depredador no detritívoro (Navarrete *et al.*, 2009). Lo cual es evidente al presentar como artículos preferenciales a los copépodos, cladóceros y hemípteros. Sin embargo la controversia del comportamiento filtrador del género *Chirostoma* no ha sido resuelta (Vital-Rodriguez, 2011) y esta forma de alimentación podría ser empleada en sistemas acuáticos como Cuitzeo donde la turbidez y baja transparencia dificultan la ubicación visual de las presas, explicando la presencia de MONI y restos vegetales en el tracto digestivo del charal.

Lo resultados encontrados en de la amplitud de dieta corresponden a lo esperado para una especie del genero *Chirostoma* (Navarrete *et al.*, 1993; Miller *et al.*, 2005; Vital-Rodríguez, 2011), con una amplitud reducida propia de un organismo especialista. Existe cierta variación en la amplitud de nicho entre temporadas, lo cual se puede deber al efecto de un mayor o menor volumen del lago y la influencia que presenta en las características ambientales, por ejemplo el tipo de vegetación presente (Diehl, 1988;). Se ha comprobado que el establecimiento de macrofitas acuáticas favorece una disminución de la presión de forrajeo sobre el zooplancton, pues este puede esconderse entre las plantas y así dificultar la ingesta a los zooplanctófagos (Gilinsky, 1984; Rozas y Odum, 1988; Perrow *et al.*, 1999) Dada la menor transparencia y profundidad de los sitios en el lago de Cuitzeo, en temporada de secas la zona eutrófica es muy limitada y mejor aprovechada por el fitoplancton, por lo que el establecimiento de una comunidad vegetal sumergida solo es posible en ciertos lugares, siendo más comunes las plantas emergentes (*Typha spp.*). De esta forma cuando el lago alcanza un mayor nivel durante la temporada de lluvias se favorece el establecimiento de zonas inundables de pastos terrestres, como en el sitio de Andocutin (Observación de campo). Por lo tanto también se presenta diferencias en la disponibilidad de presas de acuerdo a la temporalidad (Ortega-Murillo *et al.*, 2010) lo cual está reflejado en el análisis trófico, durante la temporada lluviosa se incrementa el consumo de ciertas presas (cladóceros, hemípteros). Sin embargo la variación de la amplitud de nicho no es estadísticamente significativa ni temporal ni espacial, lo cual puede indicar cierta especificidad hacia las presas, particularmente el zooplancton disponible. Es importante considerar que por las características inherentes al índice de Levín, particularmente por la preponderancia a los artículos más abundantes (Moreno, 2001) se podría presentar una subestimación de las diferencias espaciales y temporales, razón por lo cual se utilizaron medidas adicionales como el índice Shannon y el índice de Simpson.

A pesar de lo anterior si se presenta un patrón de variación ontogénica significativa en la amplitud de dieta, los organismos más grandes tienen una amplitud mayor. Este fenómeno puede ser explicado una vez más por la alta necesidad energética de esta clase de talla por cuestiones reproductivas (Larkin, 1956; Izquierdo

et al., 2000), lo que implicaría una búsqueda de artículos que complementen esta demanda alimenticia (de Vlaming, 1971). Además un mayor tamaño de boca puede facilitar el acceso a presas o artículos alimenticios a los que es energéticamente poco viable consumir para las tallas pequeñas como los alevines (Lazzaro, 1987; MacArthur y Pianka, 1966)

El lago de Cuitzeo parece ser más heterogéneo de lo esperado con una variabilidad ambiental mayor a la reportada. A pesar de que se describen tres zonas bien diferenciadas (Ortega-Murillo *et al.*, 2010), características particulares entre sitios, como la vegetación, zonas de nacimiento de manantiales, fuentes geogéneas de elementos que se consideran contaminantes (como el arsénico), zonas someras que se desecan, características del fondo del lago etc. hacen del lago de Cuitzeo un sistema altamente dinámico (Hernández-Morales com. pers). Esta concepción se sustenta en los resultados de la amplitud y diversidad de la dieta de *C. jordani* y en las variables físicas y químicas encontradas (Marín-García en prensa). Pues mientras que la zona centro del lago parece constante en cuanto a la diversidad de los artículos alimenticios, el vaso este presenta una mayor diferenciación, con los tres sitios de esta zona (AN, QO, IR) ampliamente distintos entre sí. De acuerdo a lo esperado estas características indican una alta variabilidad incluso entre sitios, dado que el lago de Cuitzeo es tan extenso y con una gran dinámica ambiental que podría permitir este fenómeno (Ortega-Murillo *et al.*, 2010; Martínez, 2012).

El nivel trófico que presenta el charal en el lago de Cuitzeo es similar al reportado por Navarrete *et al.*, (1993) y Navarrete *et al.*, (2009) pero es inferior al reportado por Vital-Rodríguez (2011) para el género en el lago de Pátzcuaro. A pesar de que la preferencia de las presas presenta un patrón definido, el nivel trófico es similar entre sitios, esto nos indica que la aportación de las diferentes presas a la dieta es equivalente por poseer un nivel trófico y gremio (consumidores primarios) similar (Elías-Gutiérrez, 1998).

Las implicaciones biológicas del gremio trófico al que pertenece *C. jordani* radican en la capacidad de la especie por reducir la población de zooplancton disponible, pues al consumirlo disminuyen la presión de forrajeo del mismo sobre las especies de fitoplancton (Perrow *et al.*, 1997). Esto posibilitaría un incremento de la

biomasa de las microalgas y podría favorecer el mantenimiento de las condiciones de turbidez del lago (Carpenter *et al.*, 1985; Perrow *et al.*, 1997; Zambrano *et al.*, 2006). En cuestión de manejo ecosistémico de lagos someros se tiene bien identificado que las comunidades de peces, específicamente los gremios de la trama trófica, son las responsables de la estructuración trófica de los sistemas (Perrow *et al.*, 1999). De esta forma cambios en la abundancia de determinados gremios, por ejemplo los íctiofagos, ocasionan efectos en cascada, explicando en muchos casos la productividad secundaria (Carpenter *et al.*, 1985).

De acuerdo a lo esperado para un sistema turbio y de gran cantidad de nutrientes, la especie *C. jordani* tiene un comportamiento zooplanctófono, donde también se exhibe la mayor abundancia en biomasa de especies omnívoras y bentónicas (Montejo-Cruz en prensa). El efecto que la abundancia del charal de Cuitzeo podría tener sobre la abundancia de la comunidad del fitoplancton y el incremento respectivo de la turbidez sin embargo podría ser limitado. Esto se debe a que las características someras del lago generan que el viento realice la resuspensión del sedimento del lago y por tanto la turbidez del sistema puede tener un origen inorgánico (Zambrano *et al.*, 2006; Ortega-Murillo *et al.*, 2010). Para ciertos lagos se considera que la que la distribución ideal de gremios tróficos de peces radica en una mayor biomasa de ictiófagos, una menor proporción de zooplanctófonos y un mayor número de herbívoros, lo que propiciaría una baja biomasa algal (Perrow *et al.*, 1997) Pero de manera histórica la abundancia de las especies ictiófagas en el lago y la región de la MC, ha sido baja, con tan solo una especie carnívora (*Allophorus robustus*) de tamaño moderado y amplia distribución (Domínguez-Domínguez, 2008; Miller *et al.*, 2009). Y en diferentes lagos se presenta una dominancia de la comunidad por parte de los zooplanctófonos (Mar-Silva, 2011; Ramirez-Herrejón, 2013)

13.-CONCLUSIONES GENERALES.

- ▶ Se determinó que la especie de *Chirostoma* que habita el lago de Cuitzeo es *C. jordani*. El número de espinas de la primera aleta dorsal (Epd) y la longitud total (Lt) representan las variables más importantes para la posible diferenciación de las poblaciones dentro del lago.
- ▶ La dieta de *C.jordani* se compone de 22 artículos. Los Hemípteros, cladóceros y copépodos son artículos alimenticios clave para la especie.
- ▶ Existe diferenciación ontogenética en la dieta de *C. jordani* en el lago de Cuitzeo, los peces de mayor talla consumen la mayor cantidad de hemípteros.
- ▶ *Chirostoma jordani* es un organismo especialista No presenta diferencias espaciales o temporales en la amplitud de la dieta, pero si cuanto a las clases. Los organismos de mayor talla presentan la mayor amplitud y diversidad de dieta.
- ▶ Es un consumidor secundario, pertenece al gremio de los carnívoros zooplanctófagos. El nivel trófico que ocupa es similar entre sitios y presenta una variación temporal, es mayor durante las lluvias y disminuye en la época de secas.

14.-LITERATURA CITADA.

- Acosta V. A. 2001. **Crecimiento de los asentamientos urbanos en la cuenca del Lago de Cuitzeo y su consumo de agua, 1975, 2000.** Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Biología, UMSNH. 142 pp.
- Allen M. B. y Arnon, D. I. 1955. **Studies on nitrogen-fixing blue-green algae. I. Growth and nitrogen fixation by *Anabaena cylindrica* Lemm.** *Plant Physiology* 30(4): 366.
- Alvarado-Díaz, J., T. Zubieta-Rojas, R. Ortega-Murillo, A. Chacón-Torres y R. Espinoza Gómez. 1985. **Hipertroficación en un Lago Tropical Somero (Lago de Cuitzeo, Michoacan, Mexico).** *Biológicas* 1: 1-22.
- Álvarez J. 1972. **Ictiología Michoacana V Origen y distribución de la ictiofauna dulceacuícola de Michoacán.** *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas.* 19:155-161
- Amezcuca, F. y A. Portillo. 2010. **Hábitos alimenticios del lenguado panámico *Cyclopsetta panamensis* (Paralichthyidae) en el Sureste del Golfo de California.** *Revista de biología marina y oceanografía* 45(2): 335-340.
- Amundsen P. A., H. M. Gabler y F.J. Staldvik. 1996. **A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data. Modification of the Costello (1990) method.** *Journal of Fish Biology* 48: 607-614.
- Arditi, R. y B. Dacorogna. 1988. **Optimal foraging on arbitrary food distributions and the definition of habitat patches.** *American Naturalist* 837-846.
- Barbour C.D., 1973a. **A biogeographical history of *Chirostoma* (Pisces: Atherinidae): A species flock from the Mexican Plateau.** *Copeia* (3): 533-556.
- Barbour C. D. 1973b. **The systematics and evolution of the genus *Chirostoma Swainson* (Pisces, Atherinidae).** *Tulane Studies in Zoology and Botany*, 18 (3): 97-141.
- Barbour C. D. 1974. **Redescription and taxonomic status of *Chirostoma compressum*, a Mexican atherinid fish.** *Copeia*, 277-279.
- Barriga Sosa I. 2001. **Variabilidad morfométrica, merística y molecular de especies del género *Chirostoma* (Pisces: Atherinopsidae).** Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. UAM Iztapalapa. 199 pp.
- Bocco G., E. López-Granados y M. E. Mendoza. 2012. **La investigación ambiental en la Cuenca del lago de Cuitzeo: Una revisión de la bibliografía publicada.** En: Bravo-Espinosa, M., G. Barrera-Camacho, M.E. Mendoza, J.T. Sáenz, F. Bahena-Juárez y R. Sánchez-Martínez (Ed.). 2012. **Contribuciones para el desarrollo sostenible de la cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán.** INIFAP-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán. UNAM Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Morelia, Michoacán, México.
- Bravo Espinosa M., F. García Oliva, E. Ríos Patrón, M. Mendoza Cantú, G. Barrera Camacho, E. López Granados, B. E. Serrato Barajas y T. Sánchez Reyes. 2008. **La Cuenca del Lago de Cuitzeo: Problemática, Perspectivas y Retos Hacia su Desarrollo Sostenible.** Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología, Michoacán. 32 p.

- Carlón-Allende T. y M. E. Mendoza. 2007. **Análisis hidrometeorológico de las estaciones de la cuenca del lago de Cuitzeo**, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM 63: 56-76
- Carpenter S. R., J. F. Kitchell y J. R. Hodgson. 1985. **Cascading trophic interactions and lake productivity**. *BioScience* 35: 381-389.
- Chacón-Torres A., C. Rosas-Monge y J. Alvarado- Díaz. 2000. **The effects of hypereutrophication in a tropical Mexican lake**. En: Munawar M., S.G. Lawrwnow, I.F. Munawar y D.F. Mally (Ed.). 2000. **Aquatic Ecosystems of Mexico: Status and Scope**. Ecovision World Monograph Series. 89-101 pag.
- Chernoff B. 1986. **Phylogenetic relationships and reclassification of menidiine silverside fishes with emphasis on the tribe Membradini**. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 189-249.
- COMPESCA. 2004. **Resumen de las Principales Acciones de Ordenamiento Pesquero y Acuícola en el Lago de Cuitzeo**. Comisión de Pesca de Michoacán.
- CONABIO. 2008. **Regiones Hidrológicas Prioritarias**. Página electrónica de la descripción de la región hidrológica prioritaria No. 62, Pátzcuaro y cuencas endorreicas cercanas. En:http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_062.html
- Correa Ayram C. A., M. E. Mendoza y E. López Granados. 2014. **Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México**. Revista de Geografía Norte Grande [en línea] 2014, (Diciembre-Sin mes) : [Fecha de consulta: 8 de enero de 2015] Disponible en:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30032725002> ISSN 0379-8682
- Costello M.J. 1990. **Predator feeding strategy and prey importance: a new graphical analysis**. *J. Fish Biol.* 36: 261–263.
- De Buen F. 1943. **Los lagos Michoacanos. I. Caracteres Generales. El Lago de Zirahuen**. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 4, 211-232.
- De Buen F. 1944. **Los Lagos Michoacanos. II. Patzcuaro**. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 5: 99-125.
- De Vlaming V. L. 1971. **The effects of food deprivation and salinity changes on reproductive function in the estuarine gobiid fish, *Gillichthys mirabilis***. *Biological Bulletin* 141: 458-471.
- Diehl S. 1988. **Foraging efficiency of three freshwater fishes: effects of structural complexity and light**. *Oikos* 207-214.
- Echelle A. A. y A. F. Echelle. 1984. **Evolutionary genetics of a “species flock:” Atherinid fishes on the Mesa Central of Mexico**, p. 93-110. En: A. A. Echelle & I. Kornfield (Ed.). **Evolution of fish species flocks**. Univ. Maine, Orono.
- Eitam A., L. Blaustein, y M. Mangel. 2002. **Effects of *Anisops sardea* (Hemiptera: Notonectidae) on oviposition habitat selection by mosquitoes and other dipterans and on community structure in artificial pools**. *Hydrobiologia*, 485(1-3): 183-189.

- Franco Gaona C., S. Cram Heydrich y L. Galicia, 2010. **Actividad pesquera**. En: Cram S., L. Galicia e I. Israde-Alcántara, 2010. **Atlas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Análisis de su Geografía y Entorno Socioambiental**, Universidad Autónoma de México-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 314 pp.
- Franco C., L. Galicia, L. Durand y S. Cram. 2011. **Análisis del impacto de las políticas ambientales en el lago de Cuitzeo (1940-2010)**. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 75: 7-22.
- Giller P. S. 1986. **The natural diet of the Notonectidae: field trials using electrophoresis**. *Ecological Entomology* 11(2): 163-172.
- Gilinsky E. 1984. **The role of fish predation and spatial heterogeneity in determining benthic community structure**. *Ecology* 455-468.
- Hernández-Rubio M. C., G. Figueroa-Lucero, I. D. L. A. Barriga-Sosa, J. L. Arredondo-Figueroa y T. Castro-Barrera. 2006. **Early development of the shortfin silverside *Chirostoma humboldtianum* (Valenciennes, 1835) (Atheriniformes: Atherinopsidae)**. *Aquaculture* 261(4): 1440-1446.
- Israde-Alcántara I. 1995. **Bacini Lacustri dal Settore Centrale dall'arco vulcanico messicano. Stratigrafia ed evoluzione vulcanotettonica basata sulle diatome**: Unpublished PhD dissertation. Università degli Studi di Milano, 254 p.
- Israde I. 1997. **Neogene diatoms of the central sector of the Mexican Volcanic Belt (Cuitzeo lake) and its relationship with the volcanic-tectonic evolution**. *Quaternary International*.
- Israde-Alcantara I. y V. H. Garduño-Monroy. 1998. **Lacustrine record in a volcanic intra-arc setting: the evolution of the Late Neogene Cuitzeo basin system (central-western Mexico, Michoacán)** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 151: 209-227
- Israde-Alcantará I., V.H. Garduño-Monroy y R. Ortega-Murillo, 2002. **Paleoambiente Lacustre del Cuaternario Tardío en el centro del lago de Cuitzeo**. *Hidrobiológica* 12(1): 61-78
- Israde-Alcántara I., R. Velázquez-Durán, M. Socorro Lozano García, J. Bischoff, G. Domínguez Vázquez y V. H. Garduño Monroy. 2010. **Evolución Paleolimnológica del Lago Cuitzeo, Michoacán durante el Pleistoceno-Holoceno**, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62 (3), 345-357
- Israde-Alcántara I., V. Garduño-Monroy, R. Velázquez-Durán, R. Ortega-Murillo, M. S. Lozano-García, G. Domínguez-Vázquez. 2010. **Evolución del Lago en los Últimos 100 mil años**. En: Cram S., L. Galicia e I. Israde-Alcántara, 2010. **Atlas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Análisis de su Geografía y Entorno Socioambiental**, Universidad Autónoma de México-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 314 pp.
- Izquierdo M. S., H. Fernandez-Palacios, y A. G. J. Tacon. 2001. **Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish**, *Aquaculture*, 197(1): 25-42.
- Jennings S. y M. J. Kaiser. 1998. **The effects of fishing on marine ecosystems**. *Advances in Marine Biology* 34: 201-352.
- Langton R. W. y L. Watling. 1990. **The fish-benthos connection: a definition of prey groups in the Gulf of Maine**. En: Barnes M. y R.N. Gibson (Ed.).

- Trophic relationships in the marine environment**, pp. 424-438. Aberdeen University Press, Aberdeen.
- Larkin P. A. 1956. **Interspecific competition and population control in freshwater fish**. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 13(3): 327-342.
- Lazzaro X. 1987. **A review of planktivorous fishes: their evolution, feeding behaviours, selectivities, and impacts**. *Hydrobiologia* 146(2): 97-167.
- Liao H., C. L. Pierce y J. G. Larscheid. 2001. **Empirical assessment of indices of prey importance in the diets of predacious fish**. *Transactions of the American Fisheries Society*, 130(4): 583-591.
- MacArthur R. H. y E. R. Pianka. 1966. **On optimal use a patchy environment** *Am. Nat* 100: 603-609.
- Mar-Silva V. 2011. **Variación espacio-temporal de la comunidad de peces en el lago de Pátzcuaro, Michoacán, México**. Tesis de licenciatura UMSNH. 67 pp.
- Mar-Silva V., R. Hernández-Morales y M. Medina-Nava. 2014. **Métodos clásicos para el análisis de contenido estomacal en Peces**. *BIOLÓGICAS*, 16(2):13-16.
- Martínez T. M. 1983. **Contribución al conocimiento de *Poecilia sphenops Valenciennes (Pisces: Poecillidae)*, en la presa de Zicuirán, Mich.**. Tesis Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Martínez López D. 2002. **Análisis de los Patrones Espaciales de la Contaminación por Metales y de la Materia Orgánica en los Sedimentos del Lago de Cuitzeo del Estado de Michoacán de Ocampo**. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Metropolitana Atzacapotzalco, Div. Ciencias Básicas e Ingeniería. 104 pp.
- Mendivil O., R. Cortez, C. Cuevas y J. L. Garcia. 1980. **Algunos aspectos fisicoquímicos y consideraciones sobre la pesca en el Lago de Cuitzeo, Mich. (estudio trimestral 1976-1977)**. *Proceedings of the 2nd Latin American Symposium on Aquaculture* pp. 1745-1782.
- Mendoza M. E., E. L. Granados, D. Geneletti, D. R. Pérez-Salicrup y V. Salinas. 2011. **Analysing land cover and land use change processes at watershed level: a multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975–2003)**. *Applied Geography*, 31(1): 237-250.
- Miller R. R. y M. L. Smith. 1986. **Origin and geography of the fishes of Central Mexico**. En: C. H. Hocutt y E. O. Wiley (Eds.) **The Zoogeography of North American Freshwater Fishes**, pp. 487-517. John Wiley & Sons.
- Miller R. R., W. L. Minckley y S. M. Norris. 2009. **Peces dulceacuícolas de México**. CONABIO 559 pp.
- Mitschke, J., A. Vioque, F. Haas, W. R. Hess, y A. M. Muro-Pastor. 2011. **Dynamics of transcriptional start site selection during nitrogen stress-induced cell differentiation in *Anabaena sp. PCC7120***. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108(50): 20130-20135.
- Moreno, C. E. 2001. **Manual de métodos para medir la biodiversidad**. Xalapa Xalapa: Universidad Veracruzana. 49 pp
- Ortega Murillo M. R., R. Alvarado Villanueva, R. Hernández Morales R. y J. D. Sánchez Heredia. 2010. **Evolución trófica de un lago tropical hiposalino en México con base al fitoplancton**, *Biologicas* 12(2): 75-81

- Ortega-Murillo M. R., I. Israde-Alcántara, R. Alvarado-Villanueva y M. Arredondo-Ojeda. 2012. **Las algas, su composición y abundancia en el lago de Cuitzeo de 1976 a 2002**. En: Bravo-Espinosa, M., G. Barrera-Camacho, M.E. Mendoza, J.T. Sáenz, F. Bahena-Juárez y R. Sánchez-Martínez (Ed.). 2012. **Contribuciones para el desarrollo sostenible de la cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán**. INIFAP-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán. UNAM Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Morelia, Michoacán, México.
- Osorio T. 1946. **Anotaciones sobre algunos aspectos de la hidrología mexicana**. <http://repositorio.fciencias.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11154/142549/7VAnotacionesSobre.pdf?sequence=1>
- Palacios C. M., I. S. Racotta, M. G. Ríos-Durán, E. Palacios, M. Toledo-Cuevas y L. G. Ross. 2006. **Advances in applied research for the culture of mexican silversides (*Chirostoma*, *Atherinopsidae*)**. *BIOCELL-MENDOZA* 30(1): 137.
- Pedraza Agustín I., R. Alfaro Cuevas-Villanueva, R. Farías Rodríguez, R. Cortés Martínez y J. M. Sánchez Yáñez. 2010. **Dinámica poblacional bacteriana**. En: Cram S., L. Galicia e I. Israde-Alcántara, 2010. **Atlas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Análisis de su Geografía y Entorno Socioambiental**, Universidad Autónoma de México-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 314 pp.
- Pérez Ramírez M. Y. 2003. **Discriminación de especies de peces blancos (ATHERINOPSIDAE: *Chirostoma*) del lago de Pátzcuaro, por medio de caracteres morfológicos, aloenzimáticos Y RFLPs del gen mitocondrial 16S**. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana 40 pp.
- Perrow M. R., M. L. Meijer, P. Dawidowicz y H. Coops. 1997. **Bio-manipulation in shallow lakes: State of the art**. *Hydrobiologia* 342/343: 355-365.
- Perrow M. R., A. J. Jowitt, J. H. Stansfield y G. L. Phillips. 1999. **The practical importance of the interactions between fish, zooplankton and macrophytes in shallow lake restoration**. *Hydrobiologia* 395, 199-210.
- Pyke G. H. 1984. **Optimal foraging theory: A critical review**. *Annual Review of Ecology* 15: 523-575.
- Rozas L. P. y W. E. Odum. 1988. **Occupation of submerged aquatic vegetation by fishes: testing the roles of food and refuge**. *Oecologia* 77(1): 101-106.
- Sommer Cervantes I., P. Fernández Lomelí, C. Díaz Avalos, C. Ponce de León Hill, V. Becerra, S. Cram Heydrich. 2010. **Distribución de elementos geogéneos al interior del lago** En: Cram S., L. Galicia e I. Israde-Alcántara, 2010. **Atlas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Análisis de su Geografía y Entorno Socioambiental**. Universidad Autónoma de México-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 314 pp.
- Soto-Galera, E., Paulo-Maya, J., López-López, E., Serna-Hernández, J. A., y Lyons, J. 1999. **Change in fish fauna as indication of aquatic ecosystem condition in Río Grande de Morelia-Lago de Cuitzeo basin, Mexico**. *Environmental Management*, 24(1), 133-140.
- Torres-Rojas Y. E. 2011. **Nicho trófico de pelágicos mayores capturados en la boca del Golfo de California**. Tesis doctoral, Centro Interdisciplinario de

- Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, La Paz Baja California Sur, México, 185 pp.
- Valdivia Carreón, E., I. Y. Pompa López y J. Romero Peñaloza. 1996. **Estrategias Organizativas de los Productores de la Ribera del Lago de Cuitzeo.** En I Foro de análisis de la problemática ambiental del Estado de Michoacán. Cuenca del Lago de Cuitzeo. pp. 161-167.
- Vekerdy Z., M. E. Mendoza 2010. **Dinámica del lago**, en Cram S., L. Galicia e I. Israde-Alcántara. 2010. **Atlas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Análisis de su Geografía y Entorno Socioambiental**, Universidad Autónoma de México-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 314 pp.
- Velázquez Duran R., I. Israde Alcántara y L. García. 2001. **Significado ecológico de los palinomorfos depositados en el Lago de Cuitzeo, Michoacán, durante los últimos 35,000 años.** Ciencia Nicolaita 29: 45-61
- Zambrano L., M. R. Perrow, C. D. Sayer, M. L. Tomlinson y T. A. Davidson. 2006. **Relationships between fish feeding guild and trophic structure in English lowland shallow lakes subject to anthropogenic influence: implications for lake restoration.** *Aquatic Ecology* 40 (3): 391-405.

15.-ANEXOS.

Anexo 1.- Artículo de revisión publicado en la revista de *Biologicas*.

Biologicas, Diciembre 2014, 16(2): 13-16



Métodos clásicos para el análisis del contenido estomacal en peces

Mar Silva V.¹, Hernández Morales R.², Medina Nava M.²¹Posgrado Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas, Laboratorio de Biología Acuática, Facultad de Biología, UMSNH, Av. Francisco J. Múgica s/n Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, 58030 México²Laboratorio de Biología Acuática, Facultad de Biología, UMSNH, Av. Francisco J. Múgica s/n Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, 58030 México

Resumen

Actualmente existe una gran diversidad de métodos de análisis clásicos de contenido estomacal en peces, que obedecen a supuestos y líneas metodológicas particulares. En el presente trabajo se exploran algunas de las técnicas e índices de mayor uso en la determinación de dietas, con un énfasis en sus ventajas y dificultades para su aplicación.

Palabras clave: Ecología trófica, dieta, hábitos alimenticios, peces lacustres.

Introducción

El análisis de contenido estomacal es una herramienta valiosa para inferir como, en una cadena trófica, los peces interactúan con otras especies, animales y vegetales, y con su medio (Langley, 1956; Hyslop, 1980; Krebs, 1989). La descripción y cuantificación de la dieta de organismos acuáticos es la base para comprender como ocurren los ciclos energéticos. De esta forma podemos estimar como los peces utilizan los recursos disponibles en su medio, si compiten por recursos con otros organismos, y cuál es la posición que ocupan dentro de la red trófica (Langley, 1956; Hyslop, 1980; Krebs, 1989; Torres-Rojas, 2011; Vital-Rodríguez, 2011; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013).

Para realizar el análisis se utilizan líneas metodológicas definidas, las cuales se eligen en función de las particularidades de la dieta de las especies en estudio (Torres-Rojas, 2011; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013). Esto se debe a que los peces son un grupo altamente diverso y ocupan una gran amplitud de funciones en los sistemas que habitan, desde los consumidores primarios hasta carnívoros tope (Langley, 1956; Helfman, 2009; Torres-Rojas, 2011; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013) y por lo tanto los estudios de contenido estomacal se tienen que adaptar a las características propias de los objetos de estudio y al tipo de sistema acuático en el que se presentan (Canto-Maza y Vega-Cendejas, 2008; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013).

Sin embargo, esto plantea una dificultad para homogenizar las metodologías e imposibilita la utilización de un mismo procedimiento para todos los grupos de peces (Hyslop, 1980; Cortés, 1997; Torres-Rojas, 2011). Debido a la variedad de técnicas y a la diversidad en los métodos existentes el objetivo es realizar un consenso y establecer una línea metodológica guía para el análisis de contenido estomacal de peces dulceacuicolas, que sea de utilidad principalmente para sistemas acuáticos lenticos de la Mesa Central de México.

Discusión

De manera histórica el análisis clásico de contenido estomacal se ha considerado como "una práctica común en la ecología de peces" (Hyslop, 1980; Amundsen *et al.*, 1996; Cortés, 1997). Un aspecto crítico para cualquier estudio trófico es la determinación del tamaño mínimo de muestra, dado que el esfuerzo muestral puede resultar exagerado e innecesario, o como ocurre con mayor frecuencia ser insuficiente (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). Para resolver esta problemática y determinar el tamaño mínimo de muestra se emplea de manera común las metodologías de curva de acumulación de especies (Zubieta-Rojas, 1985; Vital-Rodríguez, 2011; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013). Las cuales a pesar de ser empleadas en inventarios biológicos y estar diseñadas para riqueza específica (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003), han demostrado ser útiles (Vital-Rodríguez, 2011; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013).

Para obtener las muestras biológicas de la comunidad íctica necesarias para el análisis se emplean los métodos de recolecta clásicos: redes, atarrayas, electro pesca, trampas, redes de enmalle o agalleras, inclusive se puede utilizar la pesca deportiva (Zubieta-Rojas, 1985; Navarrete *et al.*, 1993; Trujillo-Jiménez y Díaz-Pardo, 1996; Navarrete *et al.*, 2009; Torres-Rojas, 2011; Vital-Rodríguez, 2011; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013).

Fases o etapas, una vez obtenidos los organismos

Fase cualitativa

Consiste en la identificación de los taxa que componen el contenido estomacal de la especie de estudio a partir de preparaciones del contenido estomacal revisadas al microscopio estereoscópico o lupa (Hynes, 1950; Hyslop, 1980; Zubieta-Rojas, 1985; Cortés, 1997).

El nivel taxonómico depende de la necesidad del investigador y es definido por el mismo en función del análisis, de esta forma la identidad de las especies puede realizarse a nivel específico, a nivel de grupos (ejemplo familia o genero) o incluso a nivel de gremio. Si se opta por este último criterio se consideran en la misma categoría a los organismos que se alimentan de un recurso similar (como los herbívoros) dado que se espera que el nivel trófico de estos grupos sea igual y por tanto el aporte a la dieta

✉ Autor de correspondencia: Mar Silva V. Posgrado Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas, Laboratorio de Biología Acuática, Facultad de Biología, UMSNH, Av. Francisco J. Múgica s/n Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, 58030 México. email: maresilva@live.com

Mar Silva V. et al

del consumidor, en términos de enriquecimiento energético sea equiparable.

Se emplean claves adecuadas al tipo de organismo para realizar la identificación taxonómica, y se elige la más idónea de acuerdo al estudio. Debido a la gran cantidad de casos particulares se recomienda para una mejor orientación revisar la literatura citada.

Fase cuantitativa

Para la cuantificación de los componentes del contenido estomacal se han adaptado y desarrollado una gran cantidad de técnicas, desde el uso del porcentaje de contribución de los artículos alimenticios (Hynes, 1950), pasando por el empleo de índices ecológicos (Hyslop, 1980; Cortés, 1997; Moreno, 2001) hasta el desarrollo de métodos gráficos (Amundsen, *et al.*, 1996). En las diferentes investigaciones de campo y las revisiones se pueden identificar dos parámetros de gran importancia en la cuantificación de la dieta: la frecuencia de ocurrencia (FO) y la abundancia relativa de la presa (Hyslop, 1980; Cortés, 1997).

Hay un consenso en trabajos realizados en embalses (Zubieta-Rojas, 1985; Navarrete *et al.*, 1993; Trujillo-Jiménez y Díaz-Pardo, 1996; Navarrete *et al.*, 2009; Torres-Rojas, 2011; Vital-Rodríguez, 2011; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013) sobre la determinación de la FO y se expresa la frecuencia de la aparición de un tipo de componente alimenticio con respecto a todos los tubos digestivos analizados, en porcentaje, según lo propuesto por Stark y Schoroer (1970). De acuerdo a lo siguiente:

$$FO = (n/N) (100)$$

Donde n representa el número de veces que aparece una presa o componente de la dieta y N el número total de los tractos o estómagos analizados.

Sin embargo, para la evaluación de la abundancia relativa de la presa no existe una línea metodológica única y suelen emplearse diversas técnicas (Hynes, 1950; Hyslop, 1980; Cortés, 1997; Vega-Cendejas, 1990). Esta diversidad en la utilización de los métodos radica en las particularidades de los objetos de estudio y de los hábitats en los que se les encuentra (Vega-Cendejas, 1990; Helfman, 2009; Vital-Rodríguez, 2011; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013), así como el tamaño del pez en estudio y de las presas que ingiere (Torres-Rojas, 2011).

Líneas metodológicas empleadas de manera común

Método volumétrico directo

Presenta una gran utilidad y buena capacidad de inferencia, es altamente recomendable cuando los componentes de la dieta son de tamaño medio o grande (Aprox. mayores a 5 mm). Según lo expresado por Hynes (1950) y Hyslop (1980), se puede obtener mediante algún tipo de instrumento volumétrico con graduación y se realiza para cada uno de los componentes de la dieta. Sin embargo, cuando los artículos analizados son muy pequeños, como algas o zooplancton dulceacuicolas, puede ser difícil encontrar un instrumento con la graduación adecuada y es preferible utilizar algún otro método (Hyslop, 1980; Vega-Cendejas, 1990).

Método volumétrico indirecto

Cuando no es viable realizar la opción anterior, por ejemplo cuando el organismo se alimenta de presas pequeñas, una alternativa es un método volumétrico indirecto (Hyslop, 1980; Vega-Cendejas, 1990; Canto-Maza y Vega-Cendejas, 2008). El cual consiste en estimar el volumen medio que ocupa una presa o artículo alimenticio de acuerdo a la forma que tiene y compararlo con un volumen conocido (Hyslop, 1980). Se necesita estimar también cual es el volumen total del tracto digestivo o estomago a analizar. Entre las aplicaciones que presenta esta la de estimar cambios temporales en los hábitos alimenticios de las especies. (Hyslop, 1980).

Sin embargo, este método es una técnica visual que puede fácilmente caer en la subjetividad y por tanto subestimar o sobrestimar algunos componentes. Este problema puede ser solucionado si se emplea la modificación de Canto-Maza y Vega-Cendejas (2008), donde se propone la utilización del área en lugar del volumen. De esta forma se estima el área que ocupa un artículo alimenticio dentro de un área conocida, generalmente una cuadrícula milimétrica.

Método gravimétrico

Cuando el planteamiento del proyecto está enfocado a estimar el impacto de una especie sobre su medio y la investigación se centra en la especie como parte funcional de la trama trófica, el método gravimétrico es adecuado (Hynes, 1950; Hyslop, 1980; Zubieta-Rojas, 1985; Bowen, 1996; Cortés, 1997). Consiste en separar cada uno de los componentes de la dieta y obtener el peso de cada uno (Hyslop, 1980). Se puede realizar la estimación de peso seco o húmedo, de manera más usual se emplea el peso seco (Hyslop, 1980; Bowen, 1996). A pesar de que el uso de peso seco demanda un mayor gasto de tiempo, es utilizado en estudios de contenido calórico (Hyslop, 1980).

Esta línea metodológica a pesar de ser muy útil, tiene desventajas: La separación de los artículos alimenticios no siempre es posible, se dificulta por el tamaño de los organismos o la degradación por el proceso digestivo. Se necesitan balanzas y aparatos de medición de sensibilidad adecuada para el análisis cuyo empleo necesita mayor tiempo.

Conteo numérico

Una forma de obtener la abundancia relativa de la presa es estimando el número de organismos por artículo alimenticio (Hyslop, 1980; Bowen, 1996), sin embargo, esta técnica presenta dificultades para aplicarse en especies omnívoras que ingieran detritus (Hyslop, 1980; Canto-Maza y Vega Cendejas, 2008) y tampoco es aplicable a especies que presenten sistemas dentarios que trituren el alimento. Es particularmente adecuada para carnívoros y zooplanctófagos (Hynes, 1950; Hyslop, 1980; Vital-Rodríguez, 2011)

Índice compuesto

Debido a que los métodos anteriores pueden presentar sesgos y sobrestimar o subestimar la abundancia de los componentes de la dieta, se propuso el empleo de mediciones combinadas de los mismos (Hyslop, 1980) que se conocen como "Índice de Importancia Relativa" (IIR) y contienen el porcentaje del conteo

Métodos clásicos para el análisis del contenido estomacal en peces

numérico de las presas, el índice volumétrico en porcentaje y la frecuencia de ocurrencia porcentual (Pinkas *et al.*, 1971):

$$\text{IIR} = (\%N + \%V) \times \%EO.$$

Sin embargo, la fórmula anterior no puede ser empleada cuando no es posible el empleo de mediciones volumétricas. Para algunos peces que consumen presas muy pequeñas o una gran cantidad de materia orgánica se propone el uso del área y no el volumen en la cuantificación de la dieta (Vega-Cendejas, 1990; Vital-Rodríguez, 2011; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013). Y por lo tanto, se puede emplear la fórmula de Índice de Importancia Relativa (Cortés, 1997):

$$\text{IIR} = (\%EO \times \%A) / 100$$

Donde EO. corresponde a la frecuencia de ocurrencia y A al porcentaje de área para cada presa.

Las mediciones anteriores permiten inferir la importancia de los taxa del contenido estomacal en la dieta de la especie en estudio, y de esta forma determinar presas importantes y poco frecuentes/accidentales (Hyslop, 1980)

Amplitud de dieta

La estimación de la amplitud de dieta está estrechamente relacionada con la determinación del nicho trófico de una especie (Torres-Rojas, 2011). Por lo tanto se pueden emplear índices de nicho para la amplitud de dieta (Krebs, 1989; Torres-Rojas, 2011).

Amplitud de Levin.

Este índice es uno de los que se utilizan más frecuentemente, de una forma rápida y relativamente fácil de interpretar indica si la especie es generalista o especialista en el uso de los recursos. Este método nos permite inferir que tan amplia es la dieta de un organismo, tomando en cuenta la proporción de cada presa y como se distribuyen para el total:

$$B = \frac{1}{\sum p_j^2}$$

Donde la amplitud de nicho de Levin (B) es el inverso de la sumatoria del cuadrado de las proporciones de los componentes de la dieta (p_j).

De esta forma se obtiene un índice que puede ser difícil de interpretar, pues de manera similar con otros índices, el valor obtenido es poco informativo de manera particular. Para una lectura más sencilla del índice se utiliza la amplitud de nicho de Levin estandarizada y el resultado se expresa de 0 a 1, donde 0 es una dieta poco amplia y 1 es una dieta muy amplia (Krebs, 1989):

$$E_A = \frac{B - 1}{n - 1}$$

B = Amplitud de nicho de Levin
 n = Número de posibles presas.

Otro posible índice ecológico con aplicación para la amplitud de nicho es la medición de Shannon-Wiener (Krebs, 1989). Si bien es muy discutido el valor explicativo de esta medición, debido a la complejidad de su interpretación y los supuestos en que está fundamentado (Krebs, 1989), pondera aquellas especies menos frecuentes y puede resultar complementario con el índice de Levin, que suele asignar mayor importancia a las especies más abundantes (Krebs, 1989). El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$H' = - \sum p_j \log p_j$$

Donde H' = Índice de Shannon-Wiener.
 p_j = Abundancia relativa de las presas que componen la dieta de la especie j .

La mayor problemática del uso de este índice radica en la utilización de la abundancia relativa de la presa, pues se necesita que se exprese en número de individuos y en análisis de contenido estomacal usualmente la abundancia relativa se obtiene en porcentajes con respecto del total.

Hasta aquí se han considerado dos mediciones de amplitud de dieta basadas solo en la proporción de las presas en la dieta del consumidor, pero, con la finalidad de explicar de una manera más completa las complejas interacciones del medio acuático se puede emplear una medida que considere la abundancia de la presa en el medio ambiente como:

Medición del nicho de Smith (Krebs, 1989)

Para realizar esta estimación se considera la abundancia medioambiental de las presas:

$$FT = \sum (\sqrt{p_j a_j})$$

Donde FT = Medida de nicho de Smith, p es la proporción de los componentes de la dieta y a es la abundancia medioambiental del componente.

Nivel trófico

A pesar de que en la mayor parte de los trabajos el concepto de nivel trófico es similar (Hyslop, 1980; Cortés, 1997; Torres-Rojas 2011) la determinación del mismo es diferente. Para resolver ese conflicto se utiliza la fórmula desarrollada por Pauly *et al.*, (2000). Los resultados se obtienen como un valor TROPH, que permite asignar el nivel trófico en el que se ubica la especie. Para estimar el TROPH de la especie, se debe considerar tanto la composición de su dieta, así como el valor TROPH de cada una de las presas, lo cual se estimará con la siguiente ecuación.

Mar Silva V. et al

$$TROPH_i = 1 + \sum_{j=1}^G DC_{ij} \times TROPH_j$$

DC_{ij} —Representa la fracción de la presa j en la dieta de i .

$TROPH_j$ —Es la posición trófica de la presa j .

G — Es el número de presas en la dieta de i .

El resultado de esta ecuación se expresa como un nivel trófico o posición específica, entre 1 y 5. Regularmente el valor 5 que corresponde al nivel más alto solo se presenta en depredadores tope y en un cuerpo de agua dulce acuática raramente se encuentran más de cuatro niveles.

La mayor dificultad a la que se debe enfrentar un análisis de posición trófica en un sistema acuático, es la incertidumbre para ubicar los niveles tróficos basales, pues si bien no todos los organismos planctónicos son autótrofos, algunos de ellos se comportan como heterótrofos facultativos y participan de niveles superiores de la trama trófica. Este fenómeno dificulta la precisión para determinar niveles tróficos, pero es una manifestación del carácter dinámico de los sistemas naturales.

Conclusiones

Debido a que existe una gran diversidad de índices y metodologías bien establecidas para el análisis de contenidos estomacales, que obedecen supuestos y se ajustan a características propias, la mejor línea metodológica a seguir será aquella que mejor responda al componente biológico en estudio.

Las fases cuantitativa y cualitativa son fundamentales en cualquier análisis de contenido estomacal en peces. E independientemente de la metodología empleada, los dos atributos que debe incluir cualquier trabajo son la Frecuencia de Ocurrencia y la Abundancia (Volumen, peso o área) de la presa.

De manera particular, para el análisis cuantitativo del contenido estomacal de la ictiofauna lacustre de la Mesa Central se propone la utilización del método volumétrico indirecto modificado (Canto-Maza y Vega-Cendejas, 2008). Se recomienda seguir la línea metodológica de Vital-Rodríguez (2011) y Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013 pues en estos trabajos se consideraron las características locales de los cuerpos acuáticos de la región.

Referencias

- Amundsen PA, Gæbler HM and Staldvik FJ. 1996. A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data—modification of the Costello method. *Journal of Fish Biology* 48:607–614.
- Bowen SH. 1996. Quantitative description of the diet. In Murphy BR and Willis DW (eds.), *Fisheries techniques*. 2nd edition. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. Pages 513–522
- Canto-Maza WG y Vega-Cendejas ME. 2008. Hábitos alimenticios del pez *Lagodon rhomboides* (Perciformes: Sparidae) en la laguna costera de Chelem, Yucatán, México. *Revista de Biología Tropical* 56 (4): 1837-1846.
- Cortés E. 1997. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54: 726-738.
- Helfman G, Collette BB, Facey DE y Bowen BW. 2009. *The diversity of fishes: biology, evolution, and ecology*. John Wiley & Sons. 737 pp.
- Hynes HBN. 1950. The food of freshwater sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pungitius*) with a review of methods used in studies of the food of fishes. *Journal of Animal Ecology* 19: 36-58.
- Hydop EJ. 1980. Stomach contents analysis a review of methods and their application. *Journal of fish biology*, 17(4): 411-429.
- Jiménez-Valverde A y Hortal J. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Amcnología* 8: 151-161.
- Krebs CJ. 1989. *Ecological Methodology*. Harper and Row. New York, USA. 550 pp.
- Langler KE. 1956. *Freshwater Fishery Biology*. Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown. 421 pp.
- Moreno CE. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. Manuales y Tesis, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- Navarrete N, Sánchez R, Rojas M. 1993. Selección del zooplankton por el charal *Chirostoma jordani* (Atheriniformes: Atherinidae). *Revista de Biología Tropical* 44(2): 757-761.
- Navarrete N, Jacobo D, Aguilar C. 2009. Alimentación de *Menidia jordani* en el embalse La Goleta, Estado de México. *Revista de Zoología*. No. 20: 1-6.
- Pauly D, Froese R, Sala P, Palomares ML, Christensen V and Rius J. 2000. *TrophLab Manual*. ICLARM, Manila. [en línea] <http://www.fisheries.ubc.ca/archive/members/dpauly/software.php>
- Pinkas L, Oliphant MS and Iverson ILK. 1971. *Fish Bulletin* 152. Food habits of albacore, Bluefin tuna, and bonito in California waters
- Ramírez-Herrejón JP, Castañeda-Sam LS, Moncayo-Estrada R, Caraveo-Patiño J, Balart EF. 2013. Trophic ecology of the exotic Lerma livebearer *Poeciliopsis infans* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) in the Lago de Pátzcuaro, Central Mexico. *Revista de Biología Tropical* 61(3): 1289-1300
- Torres-Rojas YE. 2011. *Nicho trófico de pelágicos mayores capturados en la boca del Golfo de California*. Tesis doctoral, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, La Paz Baja California Sur, México, 185 pp.
- Trujillo-Jiménez P y Díaz-Pardo E. 1996. Espectro trófico de *Ilyodon whitei* (Pisces: Goodeidae) en el río del muerto, Morelos, México. *Revista de Biología Tropical* 44: 755-761.
- Vega-Cendejas ME. 1990. Interacción trófica entre los bagres *Arius melanopus* (Agassiz, 1829) y *Arius felis* (Linnaeus, 1766) en las costas de Celestún, Yucatán, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 15 (1): 185-194
- Vital-Rodríguez BE. 2011. *Hábitos alimentarios del género Chirostoma del lago de Pátzcuaro Michoacán México*. Tesis de maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia Michoacán, México. 108 pp.
- Zubieta RI. 1985. *Estudio Sobre los Hábitos Alimenticios de Seis Especies de Peces del Lago de Cuitzeo, Mich.* Tesis Profesional. Universidad Michoacana México. 55 pp.