The Biologist (Lima), 2023, vol. 22 (1), XX-XX.
DOI: https://doi.org/10.2403/rtb20242211717

Este artículo es publicado por la revista The Biologist (Lima) de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.

ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

TROPHIC ECOLOGY OF *GIRARDINICHTHYS MULTIRADIATUS* (PISCES: GOODEIDAE) IN TWO DAMS IN THE STATE OF MEXICO

ECOLOGÍA TRÓFICA DE *GIRARDINICHTHYS MULTIRADIATUS* (PISCES: GOODEIDAE) EN DOS PRESAS DEL ESTADO DE MÉXICO

Adolfo Cruz-Gómez[1*], Flor Otilia Gómez-Pérez[1], Francisco Ali Fuentes-Mendoza[1] & Arturo Rocha-Ramírez[1]

[1]Laboratorio de Ecología de Peces, FES Iztacala UNAM. Av. De los Barrios No 1 Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla de Baz, Edomex. C.P. 54090.

*Corresponding author: adolfocg@unam.mx

Adolfo Cruz-Gómez: https://orcid.org/0000-0001-9339-486X

Flor Otilia Gómez-Pérez: https://orcid.org/0000-0001-9339-486X

Francisco Ali Fuentes-Mendoza: https://orcid.org/0000-0001-9339-486X

Arturo Rocha-Ramírez: https://orcid.org/0000-0001-9339-486X

ABSTRACT

In this work, the feeding results of *Girardinichthys multiradiatus* (Meek, 1904) in the dams El Molino and Brockman in the State of Mexico, Mexico during the dry and rain climatic seasons were analyzed. The fish were collected with a baitwell net, 279 organisms from the El Molino dam and 375 from the Brockman dam, from which both males and females were selected to carry out the analysis of the stomach contents, obtaining the trophic spectrum, the niche amplitude according to Levin Index and the food importance index using the Zander Index. The results showed 19 types of food consumed, 14 in El Molino and 18 in Brockman, with cladocerans, copepods and Diptera being the most consumed in both systems. According to Zander's index, Diptera and gastropods were essential prey at Brockman Dam, while cladocerans and Diptera were essential prey at El Molino. According to Levin, the niche amplitude was low, so it is considered a specialist. This species is carnivorous and the results show variations in its diet between the two systems studied, so by applying a Non-Metric Multidimensional Scaling (N-MDS) analysis it was demonstrated that there is a differential food consumption between the two systems and climatic seasons within each site, which makes it necessary to carry out more studies on the diet of *G. multiradiatus* in the environments of the State of Mexico in order to know its status as well as the use and selectivity of the resources in the environments where this species is distributed.

Keywords: Food importance – Niche amplitude – Trophic spectrum

ASAP

RESUMEN

En el presente trabajo se analizan los resultados de la alimentación de *Girardinichthys multiradiatus* (Meek, 1904) en las presas El Molino y Brockman en el Estado de México, México durante las temporadas climáticas de secas y lluvias. Los peces fueron recolectados con una red de cuchara, 279 organismos en la presa El Molino y 375 en la presa Brockman, de los cuales, se seleccionaron tanto machos como hembras de cada sistema para realizar el análisis del contenido estomacal, obteniéndose el espectro trófico, la amplitud de nicho mediante el Índice de Levin y el índice de importancia alimentaria mediante el Índice de Zander. Los resultados mostraron en total 19 tipos alimentarios consumidos, 14 en El Molino y 18 en Brockman siendo los cladóceros, copépodos y dípteros los más consumidos en ambos sistemas. De acuerdo con el Índice de Zander, en la presa Brockman los dípteros y gasterópodos fueron presas esenciales, mientras que en El Molino lo fueron los cladóceros y dípteros. De acuerdo con Levin, la amplitud de nicho fue baja en ambos sistemas por lo que se considera especialista. Esta especie es carnívora y los resultados muestran variaciones en su dieta entre los dos sistemas estudiados, por lo que al aplicar un análisis de Escalamiento Multidimensional no Métrico (N-MDS) se demostró qué hay un consumo alimenticio diferencial entre los dos sistemas y estaciones climáticas dentro de cada sitio, lo que hace necesario realizar más estudios sobre la dieta de *G. multiradiatus* en los ambientes del Estado de México con el fin conocer su estatus así como el aprovechamiento y selectividad de los recursos en los ambientes donde se distribuye esta esta especie.

Palabras clave: Amplitud de nicho – Espectro trófico – Importancia alimentaria

ASAP

INTRODUCCIÓN

Girardinichthys multiradiatus (Meek, 1904), conocido comúnmente como "mexclapique del Lerma, pez amarillo o doradilla", es una especie endémica que pertenece a la familia Goodeidae, que agrupa peces dulceacuícolas exclusivamente mexicanos (Álvarez del Villar, 1970). Su distribución abarca las tres cuencas hidrológicas que atraviesan el Estado de México, Balsas, Lerma y Pánuco (Miller *et al*., 2005, Navarrete-Salgado *et al.*, 20067ab; Cruz-Gómez *et al.,* 2020). El Estado de México tanto por su extensión como por el volumen de sus aguas superficiales de aproximadamente 22 499,95 Km^2 (GEM, 2007) cuenta con 259 cuerpos de agua registrados entre lagunas, presas y embalses (Arreguín-Cortés *et al.*, 2013), pero cuenta además con algunas presas y bordos pequeños aun no registrados por lo que no toda la hidrología del Estado de México ha sido estudiada. Aunque posee una alta diversidad biológica debido a su ubicación geográfica, topografía, relieve, variedad de climas y ecosistemas, la riqueza de especies tanto de flora como de fauna del Estado no ha sido estudiada con detalle (GEM, 2007, Ceballos *et al.*, 2009).

Dentro de la ictiofauna en estos ambientes, *G. multiradiatus* es una especie endémica que aún no está catalogada como especie en riesgo por la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT, 2010) como sucede con otras especies de la familia Goodeidae (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2008) pero que, debido a la acción antrópica en los cuerpos de agua debido a su extracción, uso y contaminación, además de la introducción de especies exóticas, no solo esta especie puede estar en riesgo, sino toda la ictiofauna que habita estos sistemas (Cruz-Gómez & Rodríguez-Varela, 2019).

ASAP

Si bien, algunos aspectos sobre la biología del pez amarillo como reproducción, parasitismo, ecología poblacional, distribución y alimentación han sido considerados en algunos ecosistemas (Cruz-Gómez & Rodríguez-Varela, 2019, 2022), en realidad son pocos los trabajos sobre esta especie debido a la gran cantidad de cuerpos de agua con los que cuenta el Estado de México (Arreguín-Cortes *et al.*, 2013) y de los cuáles, en muchos no se tiene conocimiento de la presencia o ausencia de esta especie.

En este sentido, el presente trabajo forma parte de un proyecto que aborda aspectos sobre la distribución, ecología y alimentación de esta especie en los sistemas dulceacuícolas del Estado de México. Hasta el momento, de los trabajos realizados sobre la ecología trófica de *G. multiradiatus* en las tres Cuencas Hidrológicas se contabilizan 13 sistemas, de los cuales, uno pertenece al estado de Querétaro, 10 por Cruz-Gómez *et al.* (2020) y 3 por otros autores (Trujillo-Jiménez & Espinosa de los Monteros, 2006; Navarrete-Salgado *et al.*, 2007ab). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue complementar la información sobre los hábitos alimentarios de *G. multiradiatus* en el Estado de México con los estudios realizados en las presas El Molino, en la Cuenca del Pánuco y Brockman en la Cuenca del Lerma durante las temporadas climáticas de secas y lluvias. Estos estudios nos permitirán conocer su estatus en estos ambientes, así como el aprovechamiento y selectividad de los recursos presentes donde se localiza esta especie, además de comparar su dieta con los demás sistemas estudiados, lo que, en cierta medida coadyuvará al entendimiento de su comportamiento y función ecológica en estos sistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Áreas de estudio:

ASAP

La presa Brockman, se localiza en el municipio El Oro, Estado de México, entre las coordenadas: 100° 08′ 40” Longitud O y 19° 46′ 04” Latitud N, la presa se encuentra a una altura de 2870 msnm con una temperatura media anual de 19 °C, clima templado Subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación anual de 950 mm (INEGI, 2010) y forma parte de la Cuenca del río Lerma (Fig. 1).

La presa El Molino está ubicada en el municipio de Aculco entre las coordenadas 99° 44’ 14’’ Longitud O y 20° 07’ 03’’ Latitud N, la presa se encuentra a una altura de 2440 msnm, con un clima semifrío, subhúmedo con lluvias en verano, temperatura promedio 18 ºC, precipitación pluvial promedio de 800 mm (INEGI, 2010) y forma parte de la Cuenca del Río Pánuco (Fig. 1).

Trabajo de campo y laboratorio

En cada sistema (El Molino en 2015 y Brockman en 2019), se establecieron tres puntos de recolecta (Fig. 1) donde se realizaron doce muestreos mensuales que abarcaron las temporadas de secas y lluvias. Los parámetros fisicoquímicos registrados en los cuerpos de agua fueron: temperatura del agua, profundidad, transparencia, Oxígeno disuelto, pH y conductividad. Para la colecta de los peces se utilizó una red de cuchara con boca de

ASAP

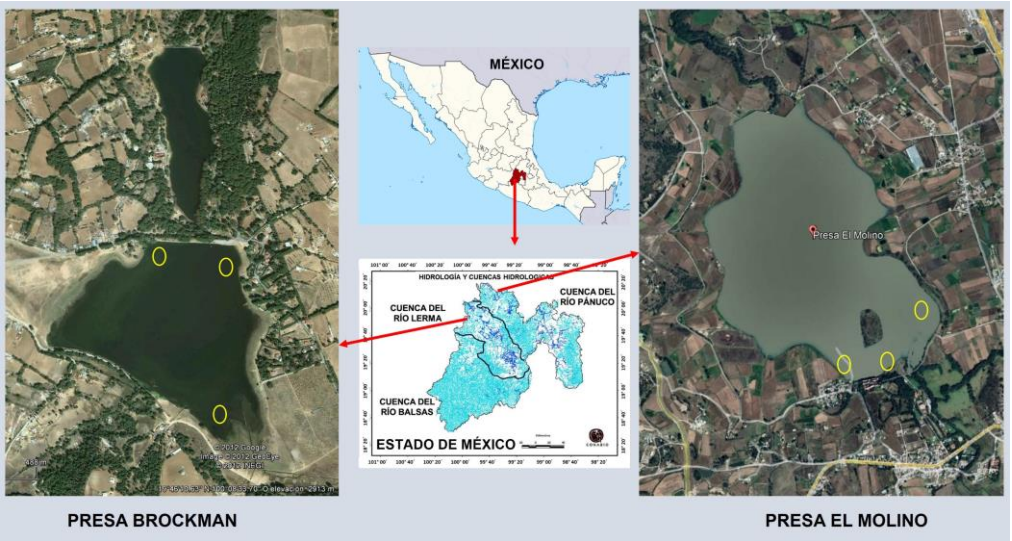

Figura 1. Localización de las presas Brockman y El Molino en el Estado de México y puntos de recolecta.

42 cm x 81 cm y 64 cm de profundidad y malla de 0,5 cm, las muestras recolectadas fueron fijadas con formalina al 4%.

Para el análisis de los peces, tanto para la disección como para la identificación del contenido estomacal, se siguieron las metodologías empleadas por Cruz-Gómez *et al.* (2020, 2022). De la población recolectada, se analizaron 279 organismos de la presa El Molino (183 hembras y 96 machos) y 375 de la presa Brockman (226 hembras y 149 machos).

Para el análisis de contenido estomacal se utilizaron los métodos numéricos (abundancia relativa), gravimétrico (biomasa relativa) y frecuencia (frecuencia relativa) de acuerdo con los criterios de Hyslop (1980) tanto de manera general como por talla y sexo para las temporadas de lluvias y secas de ambos sistemas. Para determinar la importancia de los tipos alimentarios se utilizó el Índice de Alimento Principal de Zander (Granado, 2002) y

ASAT

157 para la determinación de la amplitud de nicho trófico se utilizó el Índice Levin
158 estandarizado por Hulbert (Krebs, 1999).

159 Con la prueba W de Shapiro-Wilk se probó la normalidad de los datos ambientales y se
160 normalizaron con log10 aquellos que no presentaron una distribución normal. Para
161 determinar si había diferencias estadísticamente significativas en los valores de los
162 parámetros ambientales entre los sitios en la misma temporada se realizaron pruebas de
163 t-student (Sokal & Rohlf, 1981). Para determinar si el consumo de los alimentos se
164 agrupaba según la estación climática y el sitio de muestreo, se realizó un plot de
165 ordenación mediante Escalamiento Multidimensional no Métrico (N-MDS por sus siglas
166 en inglés) a partir de una semimatriz de similitud obtenida mediante el índice de Bray-
167 Curtis con los datos previamente transformados por raíz cuarta. Además, para visualizar
168 la variación en el consumo de los tres principales tipos alimentarios entre sistemas y entre
169 estaciones, se utilizaron plots de "burbuja" a partir del N-MDS realizado anteriormente
170 (Clarke & Warwick, 2001). Todos los análisis fueron realizados en el software Primer V6.

171 **Aspectos éticos**: Para el presente estudio, se atendieron los criterios que establece la
172 Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT, 2010), para especies bajo protección.

173 **RESULTADOS**

174 Con respecto a los parámetros ambientales, todos presentaron una distribución normal,
175 con excepción de la conductividad y el pH para los meses de lluvias. La tabla 1 muestra
176 los valores obtenidos de los parámetros ambientales de cada sistema, notándose una
177 diferencia muy marcada en la transparencia, oxígeno disuelto y conductividad, lo cual fue
178 corroborado mediante la aplicación de la prueba de *t-student* (Tabla 2).

ASAP

Tabla 1. Valores promedio de los parámetros ambientales en las presas Brockman y El Molino durante las temporadas de secas y lluvias

SISTEMAS	BROCKMAN		EL MOLINO	
PARÁMETROS AMBIENTALES	SECAS	LLUVIAS	SECAS	LLUVIAS
Profundidad (cm)	84,6	78,2	61,5	73,4
Transparencia (cm)	80,4	53,6	20,7	30,0
Temperatura agua (°C)	17,1	19,2	18,9	21,5
Oxígeno (mg/l)	8,6	12,7	6,4	4,7
Conductividad (µS)	116,7	103,0	178,1	170,2
pH	8,7	8,8	8,6	8,3

Tabla 2. Resultados de las comparaciones entre sitios en la misma temporada. * aquellos parámetros que presentaron diferencias estadísticamente significativas.

PARÁMETROS AMBIENTALES	SECAS		LLUVIAS	
	t	*p*	*t*	*p*
Profundidad (cm)	0,57	0,59	2,89	0,01*
Transparencia (cm)	2,4	0,043*	11,35	8,92E-08*
Temperatura agua (°C)	1,44	0,19	0,77	0,45
Oxígeno (mg/l)	3,47	0,008*	1,89	0,08
Conductividad (µS)	3,63	0,007*	3,75	0,003*
pH	0.74	0.48	0.35	0.73

Con base en esto, la Presa El Molino con la temperatura y conductividad más altas y el oxígeno y transparencia más bajos, indicaría un sistema levemente eutrofizado con aguas bien oxigenadas, duras y con temperaturas promedio de 20 ºC; en cambio, la presa Brockman, con la temperatura y conductividad más bajas y el oxígeno y transparencia altos nos indicaría un ambiente oligotrófico con saturación de oxígeno, con agua ligeramente blanda con temperaturas promedio de 18 °C.

En cuanto al alimento, en general se registraron 19 tipos alimentarios consumidos por el pez amarillo, 14 en El Molino y 18 en Brockman. De éstos, los anostracos fueron

consumidos solo en El Molino y los colémbolos, decápodos, himenópteros, plecópteros y tisanópteros solo se consumieron en Brockman.

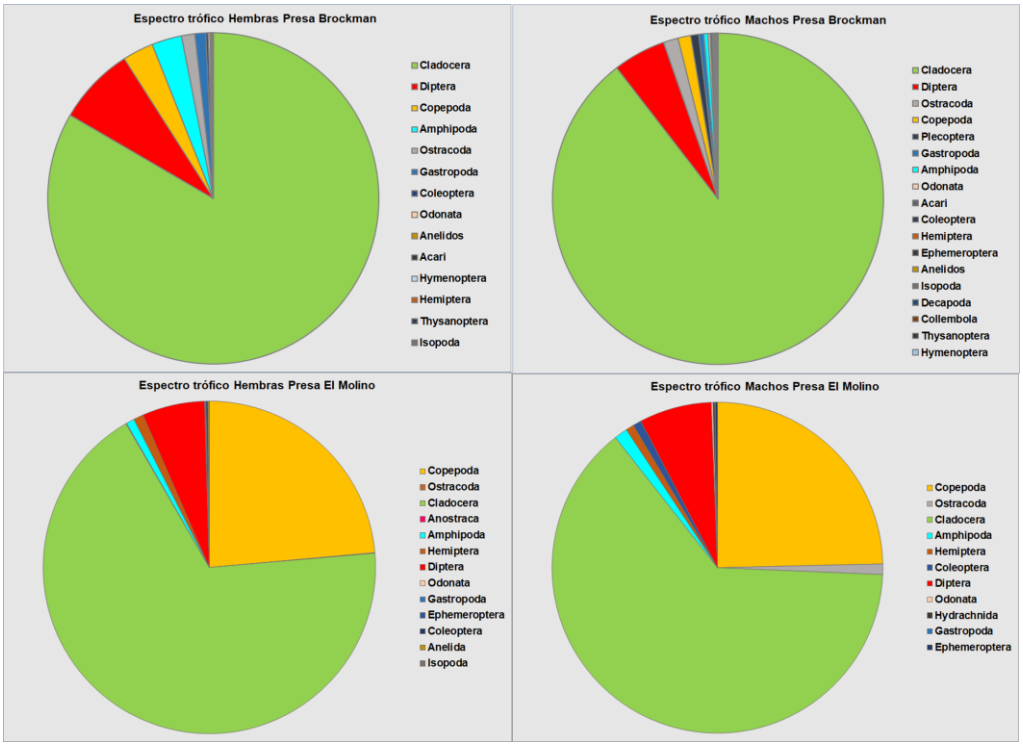

Figura 2. Espectro trófico de *Girardinichthys multiradiatus* durante las temporadas climáticas de secas y lluvias en las Presas Brockman y El Molino.

La Fig. 2 muestra los espectros tróficos de *G. multiradiatus* en ambos sistemas durante las temporadas climáticas de secas y lluvias. En la presa El Molino, de los 14 tipos alimentarios registrados tres fueron los alimentos más consumidos, cladóceros, copépodos y dípteros en ambas temporadas, mientras que en la presa Brockman de los 18 tipos alimentarios registrados, durante las lluvias las hembras consumieron cladóceros dípteros y copépodos y durante las secas los alimentos más consumidos fueron, cladóceros, dípteros, anfípodos, copépodos y gasterópodos. En cambio, los machos en

ambas temporadas en este sistema consumieron con mayor abundancia, cladóceros, dípteros y ostrácodos.

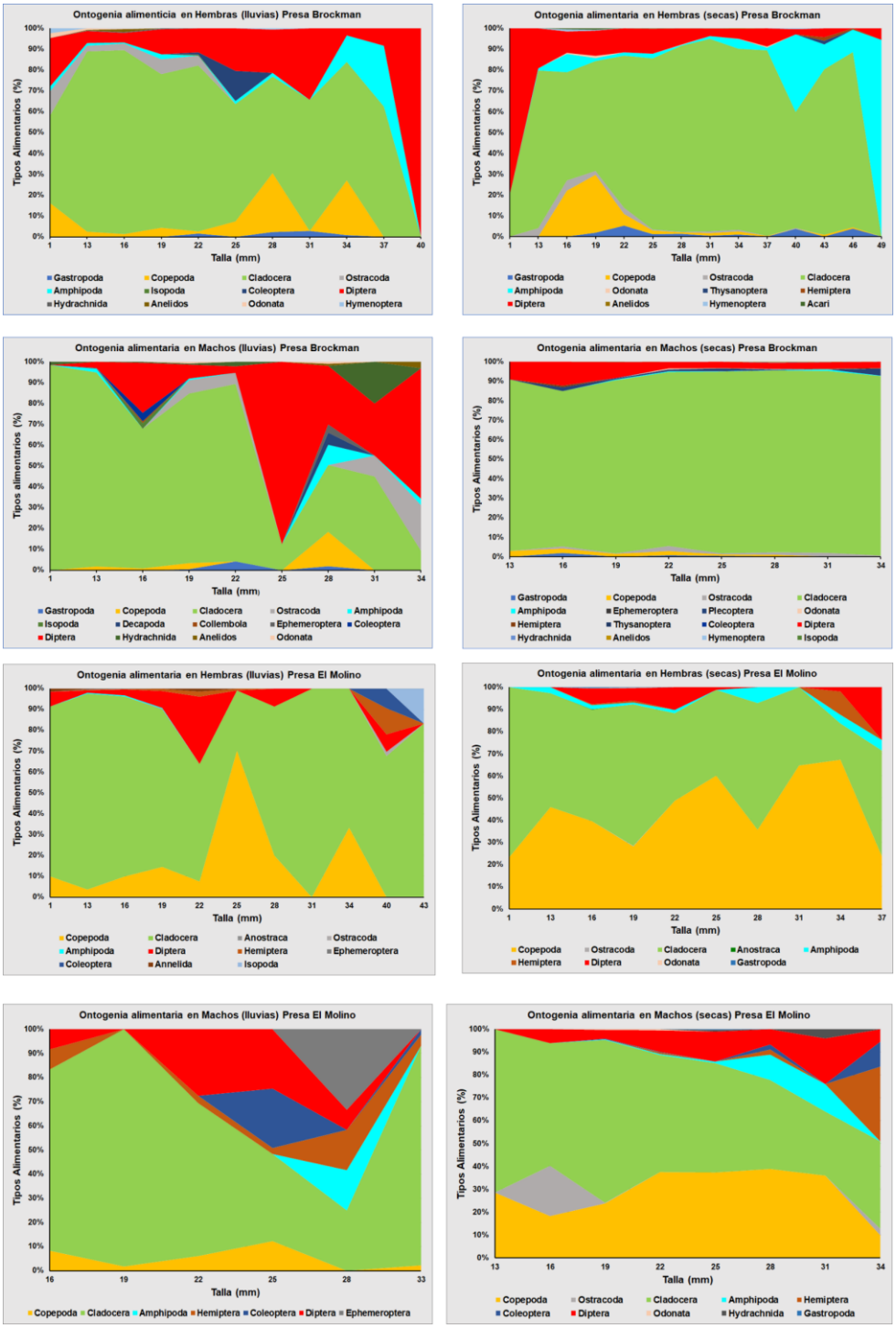

Figura 3. Ontogenia alimentaria de *Girardinichthys multiradiatus* en las presas Brockman y El Molino durante las temporadas de secas y lluvias.

Los resultados de la ontogenia alimentaria (Fig. 3), muestra a los cladóceros, copépodos y dípteros como los más consumidos en todas las tallas, y al parecer, son estos tres tipos alimentarios los que sostienen a esta especie en estos dos sistemas, aunque en las figuras aparezcan otros alimentos a partir de las tallas de 22 mm y que en general son organismos relativamente más grandes como los anfípodos, coleópteros y hemípteros.

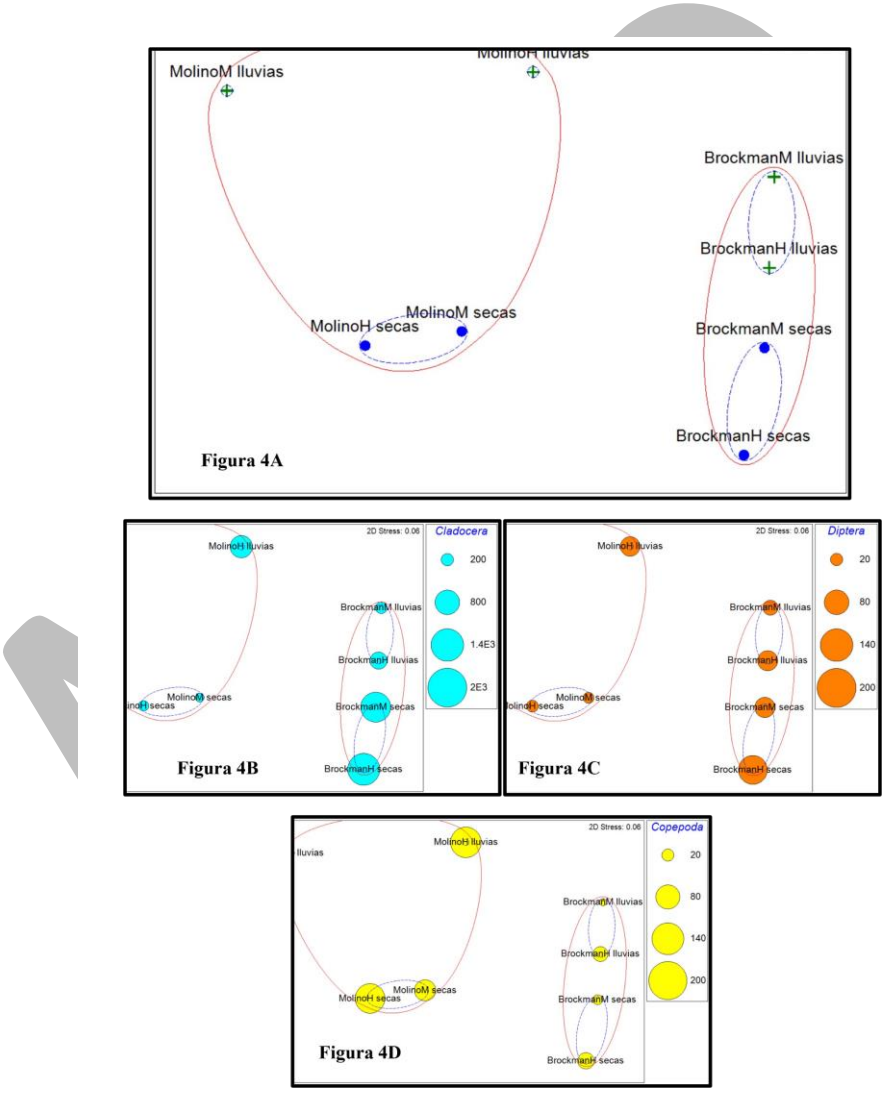

Figura 4. A, plot de N-MDS donde se aprecia la formación de grupos al 65% (línea roja solida) y 80% (línea azul cortada) de similitud. B, C y D, plots de burbuja a partir del N-

MDS de las abundancias de los tres principales ítems alimenticios para *Girardinichthys multiradiatus* en las presas Brockman y el Molino (H: Hembras, M: machos).

El gráfico de N-MDS (Fig. 4A) muestra qué hay un consumo alimenticio diferencial entre los dos sistemas y entre estaciones climáticas dentro de cada sitio. Los gráficos de burbuja muestran qué hay variación en cuanto a cantidad de consumo en los principales tipos alimenticios para *G multiradiatus* en los dos sistemas. En este sentido, se puede observar que los cladóceros y dípteros fueron más consumidos en la presa Brockman (Fig. 4B y C), mientras que en la presa El Molino los copépodos fueron los más consumidos (Fig. 4D).

Con respecto a la amplitud de nicho, considerando las abundancias del alimento consumido (espectro trófico), fue baja de acuerdo con el índice de Levin estandarizado por Hulbert (Tabla 3) y este valor es debido principalmente al alto consumo de cladóceros, por lo que el pez amarillo podría consideraría como especialista.

Tabla 3. Amplitud de nicho trófico de *Girardinichthys multiradiatus* de acuerdo con el Índice Levin estandarizado por Hulbert para ambos sexos y sistemas.

PRESA EL MOLINO

Hembras lluvias		Hembras secas		Machos lluvias		Machos Secas	
Levins	1,61	Levins	2,41	Levins	1,31	Levins	2,43
Hulbert	0,06	Hulbert	0,18	Hulbert	0,05	Hulbert	0,16

PRESA BROCKMAN

Hembras lluvias		Hembras secas		Machos lluvias		Machos Secas	
Levins	1,71	Levins	1,36	Levins	1,71	Levins	1,19
Hulbert	0,06	Hulbert	0,03	Hulbert	0,06	Hulbert	0,01

ASAP

Considerando la importancia de los alimentos consumidos, la Tabla 4 muestra los valores obtenidos mediante la aplicación del Índice de Zander (Granado, 2002) señalando en la presa Brockman, a los dípteros para ambos sexos en ambas temporadas y gasterópodos para las hembras en secas como presas esenciales y a los coleópteros y cladóceros como presas secundarias y al resto de los alimentos como presas accesorias, mientras que en la presa El Molino, los cladóceros y dípteros son los alimentos esenciales para las hembras en ambas temporadas y para los machos, lo son los coleópteros, dípteros y cladóceros, el resto del alimento es accesorio.

ASAP

293 **Tabla 4**. Valores del Índice de Importancia Alimentaria de Zander por temporada
294 climática de *Girardinichthys multiradiaus* en las presas Brockman y El Molino: Mayor
295 de 75, presas esenciales; entre 51 y 75, presas principales; entre 26 y 50, presas
296 secundarias y menor a 26, presas accesorias.

297

PRESA BROCKMAN

HEMBRAS LLUVIAS		HEMBRAS SECAS		MACHOS LLUVIAS		MACHOS SECAS	
ALIMENTO	Zander	ALIMENTO	Zander	ALIMENTO	Zander	ALIMENTO	Zander
Diptera	127,83	Diptera	179,52	Diptera	137,99	Diptera	171,67
Coleoptera	46,16	Gastropoda	104,27	Coleoptera	31,2	Gastropoda	46,02
Anelidos	8,45	Cladocera	17,22	Decapoda	16,6	Cladocera	30,22
Gastropoda	7,25	Amphipoda	12,85	Gastropoda	15,19	Odonata	20,33
Cladocera	6,53	Odonata	8,5	Odonata	8,11	Plecoptera	8,25
Odonata	6,5	Anelidos	3,05	Cladocera	5,85	Anelidos	7,84
Amphipoda	2,88	Copepoda	0,86	Anelidos	3,79	Hemiptera	3,5
Ostracoda	1,69	Ostracoda	0,69	Amphipoda	1,8	Ostracoda	2,01
Copepoda	0,93	Hemiptera	0,5	Ephemeroptera	1,48	Coleoptera	1,39
Hydrachnida	0,1	Hydrachnida	0,03	Ostracoda	1,1	Amphipoda	0,97
Hymenoptera	0,05	Thysanoptera	0,03	Isopoda	0,76	Ephemeroptera	0,68
Isopoda	0,04	Hymenoptera	0,02	Hydrachnida	0,44	Copepoda	0,47
				Copepoda	0,38	Hydrachnida	0,09
				Collembola	0.002	Isopoda	0,04
						Thysanoptera	0,03
						Hymenoptera	0,01

PRESA EL MOLINO

HEMBRAS LLUVIAS		HEMBRAS SECAS		MACHOS LLUVIAS		MACHOS SECAS	
ALIMENTO	ZANDER	ALIMENTO	ZANDER	ALIMENTO	ZANDER	ALIMENTO	ZANDER
Cladocera	131,28	Diptera	177,52	Coleoptera	157,71	Diptera	206,77
Diptera	114,02	Cladocera	84,14	Cladocera	45,42	Cladocera	76,52
Hemiptera	53,42	Copepoda	69,96	Hemiptera	34,18	Coleoptera	53,71
Coleoptera	28,1	Hemitera	57,88	Diptera	18,45	Copepoda	39,51
Copepoda	16,52	Gastropoda	17,31	Ephemeroptera	2,07	Hemiptera	15,76
Anellida	6,47	Amphipoda	9,93	Copepoda	0,98	Amphipoda	7,17
Amphipoda	0,86	Odonata	2,18	Amhipoda	,026	Odonata	4,27
Isopoda	0,34	Anostraca	0,09			Gastropoda	3,2
Ephemeroptera	0,3	Ostracoda	0,03			Ostracoda	1,16
Anostraca	0,1					Hydrachnida	0,11
Ostracoda	0,02						

DISCUSIÓN

Los valores en los parámetros ambientales considerados para ambos sistemas (Tabla 1) muestran una clara diferencia, por lo que, al aplicar la prueba de *t-student,* se determinó que hubo diferencias significativas (Tabla 2) entre algunas de las variables analizadas. Estas diferencias fueron más marcadas en la transparencia, oxígeno y conductividad, variables que han sido utilizadas para indicar la calidad del agua y por lo tanto la presencia y abundancia de algunos organismos (Arango *et al.*, 2008; Gómez-Márquez *et al.*, 2013).

En la figura 1, se pueden apreciar las características fisiográficas de cada sistema y en la cual se nota una extensión más grande de zonas de cultivo en la presa El Molino, lo que le conferiría más aporte de nutrientes en la época de lluvias, esta presa permanece llena durante las lluvias, pero durante el periodo de secas se vacía casi al 90% de su volumen (fig. 5), propiciando cambios en el ambiente y en sus comunidades durante cada periodo.

ASAP

Figura 5. Presa El Molino durante la temporada de secas.

En cambio, la presa Brockman que cuenta con menos áreas de cultivo, áreas boscosas y un afluente continuo al sur del sistema, permanece todo el año con buen volumen de agua y con características oligotróficas, en este sentido, diversos autores (Elías-Gutiérrez *et al.*, 1999; Conde-Porcuna *et al.*, 2004; Ortega-Murillo *et al.* 2016), mencionan que los ambientes oligotróficos son más apropiados para le presencia de los cladóceros, y los eutróficos más propicios para la presencia de los copépodos, como ocurre en nuestros sistemas. Obviamente dependerá de las características adaptativas de las especies que se encuentren en estos ecosistemas, ya que muchas de ellas pueden soportan los cambios en el ambiente o son tolerantes a ellos.

En este sentido, además de los parámetros fisicoquímicos, la biota de un ecosistema también brinda un panorama sobre las condiciones en las que se encuentra un sistema acuático (Ahmed *et al.*, 2003). Algunos macroinvertebrados registrados y consumidos en El Molino y Brockman han sido utilizados como bioindicadores en la calidad del agua tales como los efemerópteros, que son sensibles a la eutrofización (Menetrey *et al.*, 2008), y tienen más presencia en Brockman. Los dípteros (Caicedo & Palacio, 1998) y coleópteros (Caupaz, 2006) pueden sobrevivir a diferentes ambientes y tienen tolerancia a la presencia de materia orgánica residual, de ahí su presencia y consumo en todos los sistemas que han sido estudiados. En cuanto a los crustáceos como bioindicadores, los anfípodos, son particularmente sensibles a los contaminantes y las concentraciones altas de materia orgánica, estando presentes únicamente en ambientes oligotróficos con poca contaminación (Correa-Araneda *et al.*, 2010) por lo que fueron más abundantes en la presa Brockman. Otros invertebrados como los copépodos y los cladóceros también son

ASAP

bioindicadores importantes debido a que únicamente sobreviven en aguas poco contaminadas con buena oxigenación y son afectados por las variaciones en el clima y nivel del agua, (Elías-Gutiérrez *et al.*, 1999, Drira *et al.*, 2017, Frolova, 2018) lo cual fue más notorio en la presa El Molino.

En general, los parámetros ambientales registrados en estos sistemas reflejan en cierta medida las condiciones ambientales donde habita *G. multiradiatus* y que, de una u otra forma, están relacionados con los recursos disponibles para esta especie, cuya composición y consumo varia con los cambios estacionales y la localización de estos dos cuerpos de agua en las cuencas hidrológicas mencionadas, lo cual se muestran claramente en la figura 2 y Tabla 4. La presa El Molino mostró menos tipos alimentarios que la presa Brockman durante las dos temporadas, así como la diferencia en el consumo entre sexos.

Con base en lo anterior, ambos sistemas, tanto la presa El Molino como la presa Brockman presentan una marcada estacionalidad asociada a los periodos de lluvias y secas, pero adecuados para el desarrollo de *G. multiradiatus* y de las poblaciones del zooplancton y zoobentos que ahí se presentan.

Dos tipos alimentarios sobresalen en estos sistemas, el Orden Anostraca en la presa El Molino y el Orden Thysanoptera en la presa Brockman. El anostraco, es la primera vez que se registra como alimento del pez amarillo y cuya presencia no había sido registrado en los otros 12 sistemas analizados (Cruz-Gómez *et al.*, 2020), de igual manera, el Orden Thysanoptera, que solo se había registrado en la Laguna de Zempoala, también fue registrado en la presa Brockman, dos sistemas aparentemente similares dada la vegetación de coníferas y de oyamel presentes en zonas adyacentes a los sistemas.

ASAP

Por otro lado, en algunos estudios se ha mencionado, que los cladóceros, copépodos, dípteros y otros insectos tienen un alto valor nutricional (Torrentera & Tacón, 1989; Rosas *et al.*, 2007; Prieto & Atencio, 2008) y tal vez por ello son depredados de forma similar en estos sistemas y con una evidente contribución en la dieta del pez amarillo. Sin embargo, como ya se mencionó anteriormente, el consumo en abundancia de un recurso no necesariamente indicaría el alimento más importante para la especie, sino también su contribución en biomasa y la frecuencia con que son consumidos estos recursos, de ahí, que la aplicación de los índices de importancia alimentaria sean un punto importante para considerar en el estudio de la ecología trófica de los peces (Hyslop, 1980; Cortés, 1997; Granado, 2002; Silva *et al.*, 2014).

Bajo esta consideración, los resultados obtenidos del Índice de Zander demuestran la importancia de estas variables, de tal manera que los alimentos más importantes para esta especie fueron los dípteros por su aporte en biomasa y eventualmente los cladóceros, tanto para hembras como machos en ambos sistemas. Esto viene a demostrar la importancia de la biomasa más que la abundancia de los tipos alimentarios. Algunos autores como Yáñez-Arancibia *et al.* (1976) mencionan que el método numérico no es muy apropiado por sí solo, dado que le otorga el mismo valor un organismo pequeño que a uno grande, por lo que la conjunción de las tres variables es mucho mejor.

En algunos sistemas, como la Ciénega de Chignahuapan (Cruz-Gómez *et al.*, 2022), la biomasa de los cladóceros fue significativa por la gran abundancia en su consumo, por lo que fueron considerados como alimento esencial de acuerdo con el Índice de Zander. En otros sistemas como la Laguna de Salazar (Cruz-Gómez *et al.*, 2020) los hemípteros, bivalvos, gasterópodos y anfípodos, fueron los alimentos esenciales, en este caso, la

ASAP

biomasa de estos grupos dado el tamaño de éstos superó la biomasa de los cladóceros, aun cuando éstos fueron muy abundantes en su consumo.

Con base en los resultados del presente trabajo, es claro que los alimentos más importantes en la dieta de *G. multiradiatus* en ambos sistemas son los dípteros, cladóceros, copépodos y anfípodos y eventualmente los hemípteros (coríxidos), organismos que son los más comunes en todas las presas, embalses y bordos en el Estado de México (Cruz-Gómez *et al.*, 2020) y por lo tanto los más consumidos.

Como se puede apreciar, cuando se aplica el mismo índice en diferentes sistemas, es posible la comparación de los alimentos más importantes para la especie en cuestión, pero no siempre es posible hacerla cuando este se aplica para varias especies en un mismo sistema o entre varios sistemas dados los hábitos alimenticios tan variados que podemos encontrar, lo que dificulta la aplicación de una misma metodología para todos los peces (Hyslop, 1980; Cortés, 1997).

Por otro lado, el seguimiento de los hábitos alimentarios durante la ontogenia muestra los cambios en la dieta y el papel que juega el pez en el ambiente durante su desarrollo ayudándonos a entender sus interacciones, nicho trófico, utilización de los recursos, posición en la cadena trófica y si existe o no la competencia por estos. En los peces ovíparos la alimentación, cuando eclosiona la larva, depende básicamente de la absorción del saco vitelino, pero en *G. multiradiatus* siendo un pez vivíparo, éste ya nace con la boca y estómago funcionales listos para la alimentación exógena por lo que ya en el estómago en peces de 10 mm se puede observar el alimento consumido con respecto a la talla de las presas. La Figura 6 muestra el desarrollo del tracto digestivo en peces desde una talla de 10 mm hasta una de 34 mm notándose muy poco el cambio en la forma del

ASAP

estómago durante su ontogenia que es característico de un pez carnívoro, pero una vez que aumenta de tamaño el pez, las presas más grandes empiezan a ser consumidas.

La dieta del pez amarillo a lo largo de su desarrollo es muy similar, los cladóceros y los copépodos son el componente mayoritario a lo largo de su ontogenia. Conforme crece, su dieta se complementa con organismos más grandes como dípteros, anfípodos, isópodos y coleópteros que son consumidos por los estados juveniles y adultos prácticamente después de los 22 mm cuando su estómago ya está más desarrollado (Figs. 3 y 6) y la presencia de estos grupos en la dieta, cambia drásticamente la proporción relativa de presas en términos de biomasa. Como se puede observar en la figura 3, son pocos los organismos grandes que se consumen, pero en términos de biomasa, esta es mayor. Este patrón de alimentación es muy similar en todos los sistemas estudiados.

Figura 6. Desarrollo de tracto digestivo de *Girardinichthys multiradiatus* en talla de 10 a 34 mm.

Muchas de las presas complementarias consumidas por el pez amarillo, como los anfípodos y larvas de insectos son organismos bentónicos y se ha observado que su presencia en la dieta está relacionada con la estacionalidad y los cambios durante la ontogenia. De igual forma, es importante considerar los tipos de hábitats donde se encuentra, hay que recordar que *G. multiradiatus* de acuerdo con Miller *et al.* (2005) es más común a profundidades menores de un metro y asociadas a la vegetación circundante en la ribera de los sistemas, de este modo se puede alimentar de diferentes presas o aprovechar el mismo recurso, pero de tamaños diferentes durante las etapas de su ciclo de vida.

Por otro lado, el listado de los tipos alimentarios registrados para esta especie (Fig.1) en ambos sistemas, indican cierta similitud en cuanto a la composición y consumo de estos grupos, en general, 13 tipos alimentarios son comunes en la dieta de *G. multiradiatus* en ambos sistemas.

Una de las diferencias más comunes que se nota en los tipos alimentarios de la dieta, es la abundancia en su consumo, tanto por sexo como por temporadas en ambos sistemas y en este sentido, el gráfico de N-MDS mostró estas diferencias entre los dos sistemas y entre estaciones climáticas dentro de cada sitio (fig. 4A). De igual forma, los gráficos de burbuja mostraron las variaciones en cuanto a cantidad en el consumo en los tres principales tipos alimenticios en los dos sistemas tanto por temporadas como por sexos. También se puede observar que los cladóceros y dípteros fueron más consumidos en la Presa Brockman por las hembras y machos durante la temporada de secas (Fig. 4C y D),

ASAP

mientras que en la presa El Molino los copépodos fueron los más consumidos por las hembras, pero durante el periodo de lluvias (Fig. 4B). Esto refleja en cierta medida el comportamiento alimentario de la especie durante las temporadas climáticas en cada uno de los sistemas analizados, pero, considerando la abundancia de los recursos.

De acuerdo con el análisis del contenido estomacal, *G. multiradiatus* ocupa el tercer nivel trófico, es consumidor de segundo orden, zooplanctófago y zoobentófago, cuya alimentación principal fue de cladóceros, copépodos, dípteros y anfípodos. Por otro lado, el elevado consumo de cladóceros mostró de acuerdo con Levins, una amplitud de nicho estrecha, lo que la cataloga como especialista.

Finalmente, si bien, los resultados aquí presentados complementan el estudio que se realiza en el Estado de México sobre la distribución y aspectos ecológicos de *G. multiradiatus*, es fácil notar que dada la extensión del Estado y cuerpos de agua registrados (Arreguín-Cortés *et al.*, 2013) aún faltaría revisar más sistemas, pero estos estudios podrían considerarse representativos ya que se han estudiado sistemas en las tres cuencas, desde bordos y embalses hasta presas. Como se ha mencionado, cada una de estas y por su posición geográfica deberían de presenta características muy particulares, lo que se reflejaría en la presencia o ausencia de esta especie y la riqueza y abundancia de los recursos disponibles para ésta.

Como se puede observar, la dieta es muy similar en ambos sistemas a pesar de que estos presentan características ambientales diferentes, lo mismo ocurre en los demás sistemas localizados en las tres cuencas hidrológicas (Cruz-Gómez *et al.,* 2020) en donde se reporta una mayor cantidad de tipos alimentarios en los sistemas de la Cuenca del Lerma y en menor cantidad en los del Pánuco, pero en general, en todos los sistemas analizados los

ASAP

alimentos más frecuentemente consumidos son los cladóceros, copépodos, dípteros y anfípodos y la única diferencia es la abundancia en el consumo de éstos.

En este sentido, es claro que la riqueza y abundancia de los recursos presentes en estos sistemas están supeditados a las características ambientales en cada uno de ellos y a las temporadas climáticas. Uno los aspectos importantes a analizar, es la vegetación acuática dentro de las presas, bordos y embalses, ya sea como refugio de organismos o como áreas de alta productividad e importancia ecológica, lo que nos permitirá conocer más acerca del uso espacial y temporal de estos ambientes y poder establecer las relaciones ecológicas entre *G. multiradiatus* y los organismos presentes, con lo que se podrán inferir los diferentes niveles tróficos a lo largo de su ontogenia y al mismo tiempo evaluar cada uno de estos hábitats.

Aun cuando la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT, 2010) no ha catalogado a *G. multiradiatus* como especie vulnerable, este tipo de estudios permitirá conocer más sobre su estatus en estos cuerpos de agua y poder definir si está en riesgo o no, pero como ya se mencionó, el uso y actividades antropocéntricas que se llevan a cabo en estos ambientes pueden afectar a largo plazo la existencia no solo del pez amarillo sino de otras especies nativas que habitan estos sistemas, de ahí la importancia de estos trabajos.

ASAP

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por la UNAM, a través de los programas: PAPIME: EN203804 (Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza); PAPCA (Programa de Apoyo a los Profesores de Carrera para Promover

Grupos de Investigación); PAPIIT: IN225420 (Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica).

Author contributions: **CRediT (Contributor Roles Taxonomy)**

ACG = Adolfo Cruz Gómez

FOGP = Flor Otilia Gómez Pérez

FAFM = Francisco Ali Fuentes Mendoza

ARR = Arturo Rocha Ramirez

Conceptualization: ACG

Data curation: ACG, FOGP, FAFM

Formal Analysis: ACG, FAFM, ARR

Funding acquisition: ACG

Investigation: ACG, FOGP, ARR

Methodology: ACG, FOGP

Project administration: ACG

Resources: ACG, FOGP, FAFM

Software: FAFM, ARR

Supervision: ACG, ARR,

Validation: ARR, FAFM, ACG

Visualization: ACG, ARR

Writing – original draft: ACG, FOGP

Writing – review & editing: ACG, ARR, FAFM

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASAP

Ahmed, K.K.U., Ahamed, S.U., Hossain, M.R.A., Ahmed, T., & Barman, S. (2003). Quantitative and qualitative assessment of plankton: some ecological aspect and water quality parameters of the river Meghna, Bangladesh. *Bangladesh Journal of Fisheries Research*, 7(2), 131-140.

Álvarez del Villar, J. (1970). *Peces mexicanos (Claves)*. Secretaría de Industria y Comercio. Instituto Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras.

Arango, M.C., Álvarez, L.F., Torres, O.E., & Monsalve, A.J. (2008). Calidad del agua de las Quebradas, La Cristalina y a Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA*, *9,* 121-141.

Arreguín-Cortés, F.I., Murillo-Fernández, R., & Marengo-Mogollón, H. (2013). Inventario nacional de presas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, *4*, 179-185.

Caicedo, O., & Palacio, J. (1998). Los macroinvertebrados bentónicos y la contaminación orgánica en la quebrada La Mosca (Guarne, Antioquia, Colombia). *Actualidades Biológicas*, *20*, 61-73.

Caupaz, F. (2006). *Estudio de los coleópteros acuáticos de las cuencas de los ríos Prado y la parte baja de Amoyá en el departamento del Tolima*. (Tesis de licenciatura. Universidad del Tolima. Facultad de Ciencias. Programa de Biología. Ibagué).

Ceballos, G., List, R., Garduño, G., López Cano, R., Muñozcano, Q. M. J., Collado, E., & San Román J.E. (Comps.) (2009). *La diversidad biológica del Estado de México. Estudio de Estado*. Biblioteca Mexiquense del Bicentenario. Colección Mayor.

ASAP

554 Clarke, K.R. & Warwick, R.M. (2001). *Change in marine communities: an approach to*
555 *statistical analysis and interpretation,* 2nd edition. PRIMER-E: Plymouth.

556 Conde-Porcuna, J., Ramos-Rodríguez, E., & Morales-Baquero, R. (2004). El zooplancton
557 como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos:
558 *Ecosistemas*, *13*(2), 23-29.

559 Correa-Araneda, F.J., Contreras, A. & De los Ríos-Escalante, P. (2010). Amphipoda and
560 Decapoda as potential bioindicators of wáter quality in an urban stream (38°S,
561 Temuco, Chile). *Crustaceana*, *83*, 897-902.

562 Cortés, E. (1997). A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis
563 of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Canadian Journal of*
564 *Fisheries and Aquatic Sciences*, *54*(3), 726-738.

565 Cruz-Gómez, A., & Rodríguez-Varela, A. del C. (2019). Ecología poblacional de
566 *Girardinichthys multiradiatus* (Meek, 1904) pez endémico de México. *The*
567 *Biologist (Lima), 17*, 61-72.

568 Cruz-Gómez, A., Franco-López, J., & Rodríguez-Varela, A. del C. (2020). Ecología
569 trófica de *Girardinichthys multiradiatus* (Meek, 1904) (Pisces: Goodeidae) en la
570 Laguna de Salazar Estado de México, México. *BIOCYT Biología, Ciencia y*
571 *Tecnología*, *13*, 918-933.

572 Cruz-Gómez, A., Franco-López, J., & Piedra-Ibarra, E. (2022). Dieta de *Girardinichthys*
573 *multiradiatus* (Meek, 1904) (Pisces: Goodeidae) en la ciénega de Chignahuapan,
574 México. *The Biologist (Lima)*, *20*, 35-44.

ASAP

575 Domínguez-Domínguez, O., Zambrano, L., Escalera-Vázquez, L.H., Pérez-Rodríguez,
576 R., & Pérez-Ponce de León, G. (2008). Cambio en la distribución de goodeidos
577 (Osteichthyes: Cyprinodontiformes: Goodeidae) en cuencas hidrológicas del
578 centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *79*, 501- 512.

579 Drira, Z., Kmiha-Megdiche, S., Sahnoun, H. & Tedetti, M. (2017). Copepod assemblages
580 as a bioindicator of environmental quality in three coastal areas under contrasted
581 anthropogenic inputs (Gulf of Gabes, Tunisia). *Journal of the Marine Biological*
582 *Association of the UK, 98*, 1-17.

583 Elías-Gutiérrez, M., Ciros-Pérez, J., Suárez-Morales, E., & Silva-Briano, M. (1999). Los
584 Cladocera de agua dulce (Órdenes Ctenopoda y Anomopoda) de México, con
585 comentarios sobre taxones seleccionados. *Crustaceana, 72*, 171-186.

586 Frolova, L. (2018). Cladocera from bottom deposits as an indicator of changes in climate
587 and ecological conditions. *IOP Conference Series Earth and Environmental*
588 *Science*, *107*(1), 012084.

589 GEM (Gobierno del Estado de México). (2007). *Situación de la flora y fauna del Estado*
590 *de México respecto a la NOM-059-SEMARNAT-2001*. Secretaría del Medio
591 Ambiente. Tlalnepantla de Baz, Estado de México.

592 Gómez-Márquez, J.L.; Peña-Mendoza, B.; Guzmán-Santiago, J.L., & Gallardo-Pineda,
593 V. (2013). Composición, abundancia del zooplancton y calidad de agua en un
594 micro reservorio en el estado de Morelos. *Hidrobiológica*, *23*, 227-240.

595 Granado, L.C. (2002). *Ecología de peces*. Universidad de Sevilla, Secretariado de
596 Publicaciones. España.

ASAP

Hyslop, E.J. (1980). Stomach contents analysis-a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology*, *17*, 411–429.

INEGI (Instituto Nacional de Geografía y Estadística). (2010). *Compendio de información geográfica municipal, México.* https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos

Krebs, C.J. (1999). *Ecological methodology.* 2nd Edition. Benjamin Cummings.

Menetrey, N., Oertli, B., Sartori, M., & André, W. (2008). Eutrophication: are mayflies (Ephemeroptera) good bioindicators for ponds? *Hydrobiologia*, *597*, 125-135.

Miller, R.R., Minckley, W.L., & Norris, S.M. (2005). *Freshwater fishes of Mexico*. The University of Chicago Press.

Navarrete-Salgado, N.A., Aguilar-Rubio, J., González-Domínguez, J.M., & Elías-Fernández, G. (2007a). Espectro y trama trófica de la ictiofauna del Embalse San Miguel Arco, Soyaniquilpan, Estado de México. *Revista de Zoología*, *18*,1-12.

Navarrete-Salgado, N.A, Rojas-Bustamante, L.M., Contreras-Rivero, G., & Elías-Fernández, G. (2007b). Alimentación de *Girardinichthys multiradiatus* (Pisces: Goodeidae) en el embalse La Goleta, Estado de México. *Ciencia Ergo Sum*, *14*, 63-68.

Ortega-Murillo, M.R., Hernández-Morales, R., Oropeza-Flores, H., Alvarado-Villanueva, R., & Mora, Y. (2016). Estructura de la comunidad del zooplancton en un lago hipereutrófico en Michoacán, México. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico-Agropecuarias, 18*, 51-59.

ASAP

618 Prieto, G.M.J., & Atencio, G.V. (2008). Zooplancton en la larvicultura de peces. *Revista*
619 *de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Córdoba, 13*, 1415-1425.

620 Rosas, J., Cabrera, G., Velásquez, A., & Cabrera, T. (2007). Crecimiento poblacional y
621 valor nutricional del copépodo *Oithona ovalis*, Herbst 1955. (Copepoda:
622 Cyclopoida) alimentado con cuatro especies de microalgas. *Ciencia, 15*, 141–149.

623 SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2010). Norma
624 Oficial Mexicana (NOM-ECOL-059-2010). Diario Oficial de la Federación.
625 México, https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-
626 059-semarnat-2010

627 Silva, V., Morales, R., & Nava, M. (2014). Métodos clásicos para el análisis del contenido
628 estomacal en peces. *Biológicas*, *16*, 13 -16.

629 Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. (1981). *Biometry: The principles and practice of statistics in*
630 *biological research*. W.H. Freeman & Co.

631 Torrentera, B.L., & Tacón, A.G.J. (1989). *La producción de alimento vivo y su*
632 *importancia en acuacultura: Una diagnosis*. Documento de campo 12. Proyecto
633 GCP/RLA/075/ FAO Italia.

634 Trujillo-Jiménez, P., & Espinosa de los Monteros, V.E. (2006). La ecología alimentaria
635 del pez endémico *Girardinichthys multiradiatus* (Cyprinidontiformes:
636 Goodeidae), en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. *Revista de*
637 *Biología Tropical*, *54*, 1247-1255.

638 Yáñez-Arancibia, A., Curiel-Gómez, J., & Yáñez, V. de L. (1976). Prospección biológica
639 y ecológica del bagre marino *Galeichthys caerulescens* (Günther) en el sistema
640 lagunar costero de Guerrero, México (Piscis: Ariidae). *Anales del Instituto de*

ASAP

Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, *3*, 125-180.

Received December 11, 2023.

Accepted January 20, 2024.

ASAP