

# UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

## TESIS

“Peces como indicadores de Integridad  
Biótica, en la Reserva de la Biosfera  
Selva El Ocote, Chiapas, México”

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN **CIENCIAS  
BIOLÓGICAS**

PRESENTA

**MANUEL DE JESÚS ANZUETO CALVO**

DIRECTOR:

Dr. ERNESTO VELÁZQUEZ VELÁZQUEZ  
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

CO-DIRECTOR:

Dr. Wilfredo Antonio Matamoros Ortega  
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

ASESOR:

Rebecca Quiñones  
Klamath National Forest

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Octubre de 2015.



## **DEDICATORIAS**

Dedico principalmente esta obra a lo más hermoso y valioso que Dios me ha permitido tener en esta vida; mis amados hijos (Elías Caleb y Ana Belén) y mi hermosa esposa (Brendi), gracias por todo el apoyo, felicidad y paciencia brindada.

Dedico este trabajo a mis amados padres (Sebastián Anzuetto Salazar y Concepción Calvo Pérez) por todo el esfuerzo que hicieron para darme la preparación educativa, ejemplo de perseverancia y los valores que me han forjado en la vida. De igual manera a mis siete hermanos, espero ser ejemplo para ellos, de quienes también he aprendido mucho.

Dedico también este trabajo a mis suegros (Rosario Maza y Octavio Cruz) y a mi cuñada (Erikita) por todo el apoyo demostrado en todo, formando parte en la culminación de esta obra.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco principalmente a Dios por permitirme concluir esta etapa de mi vida y por su respaldo en todo tiempo.

Al Dr. Ernesto Velázquez Velázquez, quien me ha permitido formar parte del gran equipo del Museo de Zoología y sobre todo por el gran apoyo demostrado a mi persona.

Al M. en C. Adán E. Gómez González y a todos los compañeros del Museo de Zoología por su gran amistad y apoyo para la realización de esta obra; Al Dr. Miguel A. Peralta Meixueiro y al Dr. Gustavo Rivera Velázquez, por sus oportunos y excelentes comentarios a este trabajo.

Agradezco a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) en especial a los directivos de la Reserva El Ocote, por su apoyo en logística y a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), por su contribución en el financiamiento para la realización de este trabajo. Al Dr. Wilfredo Matamoros por sus contribuciones a este trabajo y al Biól. Ever U. Vázquez Pérez, por su apoyo en campo.

## INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
3. ANTECEDENTES.....	4
4. JUSTIFICACION.....	5
5. OBJETIVO GENERAL.....	6
5.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	6
6. HIPOTESIS.....	7
7. MATERIAL Y MÉTODO.....	7
7.1. Área de estudio.....	7
7.2. Muestreo de Peces.....	8
7.3. Riqueza taxonómica.....	9
7.4. Estructura del ensamblaje.....	10
7.5. Análisis estadístico.....	12
7.6. Guía base para el IBI.....	13
7.7. Regionalización.....	14
8. RESULTADOS.....	15
8.1. Riqueza Taxonómica.....	15
8.2. Catálogo de Especies.....	16

8.3.	Estructura del ensamblaje de peces .....	20
8.4.	Riqueza .....	23
8.5.	Abundancia .....	25
8.6.	Diversidad .....	28
8.7.	Variación ambiental.....	30
8.8.	Regionalización .....	35
8.9.	Calidad del hábitat.....	37
8.10.	Selección de atributos (métricas) .....	38
8.11.	Composición y riqueza de especies .....	38
8.12.	Composición trófica.....	39
8.13.	Condición y abundancia de los peces .....	39
9.	DISCUSIÓN.....	42
10.	CONCLUSIONES.....	46
11.	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....	48

## INDICE DE FIGURAS

Figuras	Pagina
Mapa de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote .....	
Figura 1. ....	13
Figura 2. Especies dominantes (IVIr) recolectadas en la REBISO.....	29
Figura 3. Porcentajes de las categorías ecológicas de las especies de la REBISO .....	30
Figura 4. Variación espacial de la riqueza media, en las localidades de la REBISO .....	32
Figura 5. Variación temporal de la riqueza media en la REBISO .....	33
Figura 6. Variación espacial de abundancia media, en las localidades de la REBISO .....	35
Figura 7. Variación temporal de la abundancia CPUE, en las localidades de la REBISO .....	36
Figura 8. Variación espacial de la diversidad $H'$ , en las localidades de la REBISO .....	37
Figura 9. Variación temporal de la diversidad $H'$ , en las localidades de la REBISO .....	38
Figura 10. Variación espacio temporal de los parámetros ambientales, medidos en la REBISO .....	43
Figura 11. Dendograma de similitud (Sorensen's) por el método UPGMA, de las áreas de la cuenca del Grijalva .....	44

## INDICE DE CUADROS

Cuadros	Pagina
Localidades de la REBISO, que se muestrearon utilizando el arte de pesca atarraya para representar la estructura del ensamblaje de peces.....	18
Cuadro 1. Índice de valor de importancia relativa (IVI <sub>r</sub> ) del ensamblaje de peces de la REBISO, considerado en la captura por unidad de esfuerzo.....	30
Cuadro 2. Resumen estadístico de la riqueza espacial en la REBISO, muestreados al menos dos veces.....	31
Cuadro 3. Resumen estadístico de la abundancia CPUE, espacial en la REBISO.....	33
Cuadro 4. Abundancia numérica en la REBISO, Chiapas, México.	34
Cuadro 5. Resumen estadístico de la diversidad H', espacial en la REBISO.....	36
Cuadro 6. Clasificación de localidades de acuerdo al oxígeno disuelto, A= alto, M= medio, B= bajo. ....	45
Cuadro 7. Propuesta de clasificación de los peces de la REBISO, para el desarrollo de un IBI. Clasificación ecótica.....	48
Cuadro 8.	

## RESUMEN

Con el propósito de generar una guía base utilizando ensamblaje de peces para la elaboración de un índice de integridad biótica en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote (REBISO), Chiapas, México, se realizaron 14 salidas de campo en la REBISO, en las cuales se establecieron 33 puntos de muestreo, de Marzo de 2007 a Septiembre de 2009, utilizando diferentes artes de pesca. Para la diversidad, se consideró el Índice de Shannon-Wiener. Además se examinó la variación de los parámetros ambientales y la estructura del ensamblaje de peces, espacial y temporalmente usando un ANOVA. Se recolectaron un total de 10 911 ejemplares pertenecientes a ocho ordenes, 14 familias, 27 géneros y 42 especies; siete especies de peces están bajo alguna categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2010, la Lista Roja de la IUCN y la American Fisheries Society (AFS) y cuatro especies son exóticas, siete corresponden al componente dulceacuícola primario, 26 al dulceacuícola secundario y nueve al conjunto periférico (vicario). Las familias Cichlidae y Poeciliidae fueron las mejores representadas con 15 y nueve especies, respectivamente. *Astianax aeneus* fue la especie más numerosa (46.91 %) y la más frecuente (14.79 %), con la de mayor biomasa (29.06 %), y por lo tanto la que presentó el IVIr más alto (30.25 %). La riqueza, abundancia y diversidad, presentaron diferencias espaciales por la diversidad topográfica que existe en la REBISO, mismos que determinan la estructura del ensamblaje de peces. Temporalmente estos parámetros no tuvieron diferencias significativas sin embargo los valores más altos se registraron en temporada de lluvias. De acuerdo al oxígeno disuelto se propone una clasificación de la calidad de hábitat; alta, media y baja, encontrándose 13 altas, una media y una baja. Considerando los tres atributos básicos de las comunidades de peces: riqueza y composición de especies, estructura trófica, y condición y abundancia de los peces, se propone una guía base a partir de los resultados del análisis del ensamblaje de estos que incluyen una clasificación de acuerdo a su origen, posición típica en la columna de agua, tolerancia a la degradación ambiental, hábitos alimenticios, modo de reproducción así como una serie de atributos, que se sugieren deberán ser evaluados para analizar la salud general de estos ecosistemas.

## 1. INTRODUCCIÓN

Chiapas posee una de las mayores riquezas hidrológicas de México: 72 ríos permanentes (de los cuales los más importantes hacia el Atlántico son el río Grijalva y el Usumacinta), diversas presas y con 265 Km de litoral; estas características favorecen que exista gran diversidad de ictiofauna (Lozano y Contreras, 1987), ya que presenta la mayor riqueza de peces continentales (Miller, 1966; Rodiles-Hernández *et al.*, 2005). Además posee numerosas Áreas Naturales Protegidas (ANP), entre ellas se encuentra la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote (REBISO), que protege uno de los centros de diversidad biológica más importantes de México y el mundo, ya que forma parte de las regiones prioritarias hidrológicas (Malpaso-Pichucalco) y terrestres (selva Zoque-La Sepultura) del país establecidas por la Comisión Nacional Para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO; Arriaga *et al.*, 2000), y es además un área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) de México.

Lo anterior debido a su gran extensión y por presentar una de las masas forestales más extensas del continente americano, refugio del pleistoceno al igual que el Área Natural Protegida La Sepultura debido a que poseen una compleja entremezcla de selvas altas, medianas y bajas, bosques mesófilos de montaña (matorral nublado en los picos) en extensiones muy importantes, bosques de pino, pino-encino y selva muy húmeda de montaña, derivado del relieve abrupto de estas áreas originando así elevado índice de endemismos (Arriaga *et al.* 2000), ya que estas características favorecen a la formación de microclimas, que a su vez

los factores topográficos y climáticos son determinantes de la gran variedad de ambientes y riqueza de especies de México (Zavaleta-Mondragón, 2007).

Particularmente la icitofauna de la REBISO está conformada por 42 especies (Anzueto-Calvo *et al.*, 2013), actualmente esta biodiversidad como la de otras partes del mundo enfrenta grandes amenazas. Moyle y Leidy (1992) y Mercado-Silva *et al.* (2002), consideran que los ecosistemas acuáticos están sufriendo una degradación física, química y biológica y a pesar de esto han recibido poca atención, aun cuando es ampliamente reconocida como un problema mayor, ya que soportan una extraordinaria variedad de especies, muchas de las cuales se están perdiendo, con la degradación de sus hábitats sin que aún se describan.

Por lo que se ha requerido de la evaluación del estado de salud de los ecosistemas, utilizando la metodología de los índices de Integridad Biótica (IBIs, por sus siglas en inglés). En 1987, Karr define a la integridad biótica como la capacidad de soportar y mantener una comunidad adaptada, integrada y balanceada, con una composición, diversidad y organización funcional comparable con el hábitat natural de la región.

La integridad biótica, conjuga elementos estructurales y funcionales de los ecosistemas acuáticos, para conocer el estado aproximado de sus procesos. Los índices biológicos de integridad se han desarrollado mundialmente en años recientes; su desarrollo indica la importancia relevante de la biodiversidad y los problemas críticos del agua dulce, además son herramientas de evaluación de los

ecosistemas que incorporan información sobre la estructura, composición, y la salud de las comunidades biológicas (Karr, 1981; Mercado-Silva *et al.*, 2006,).

El IBI basado en peces presenta, con respecto a otros índices, como el de los macro invertebrados, mayores ventajas por sus bases ecológicas, su sensibilidad a diferentes fuentes de degradación ambiental, y por producir resultados manejables y reproducibles (Pérez *et al.*, 2007) a demás es una herramienta metodológica que integra diferentes atributos de la comunidad de peces, tales como riqueza y composición de especies, composición trófica y abundancia (Karr, 1981; Mercado-Silva *et al.*, 2006,).

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los cambios en la estructura y composición de las comunidades de peces de agua dulce que se han observado en México, se deben a la pesca excesiva, alteraciones del hábitat y a la contaminación (Mercado-Silva *et al.*, 2006), de igual forma en las aguas corrientes se ha observado el impacto negativo por dichas causas; por lo que es difícil encontrar arroyos y ríos prístinos en la actualidad (Pérez *et al.*, 2007). El reciente deterioro de los ecosistemas acuáticos ha venido demandando el desarrollo de sistemas y métodos, que permitan conocer su grado de alteración debido a causas naturales y/o antropogénicas (Pérez *et al.*, 2007).

Usando datos de abundancia y composición de las comunidades biológicas se pueden estimar las condiciones de salud o de calidad ambiental de un ecosistema (Lyons *et al.*, 1995). Las comunidades bióticas son sensibles a una amplia variedad de factores ambientales y ofrecen una perspectiva integral de las

condiciones ambientales de un hábitat dado, es decir ellos proveen bases objetivas y defendibles para establecer esfuerzos de conservación y restauración de un ecosistema acuático (Mercado-Silva *et al.*, 2002).

Dado que la REBISO se localiza en un ecosistema cárstico, la mayoría de los recursos acuáticos se encuentran en la base subterránea dentro del sistema de cuevas y ríos subterráneos, que luego emergen para formar la red hidrológica principalmente del río La Venta, en donde se encuentra la mayor parte de la ictiofauna de la REBISO. Para poder proteger este frágil ecosistema, es importante contar con herramientas eficaces para una mejor toma de decisiones en materia de protección y conservación de la fauna acuática y de la calidad de agua de esta área, por lo que se generó una guía base, para la elaboración de un índice de Integridad Biótica, a partir del análisis de la composición y estructura del ensamblaje de peces.

### **3. ANTECEDENTES**

En 1981, Karr propuso el uso de los Índices de Integridad Biótica, para entender la calidad de los sistemas acuáticos. Los IBIs basados en los ensamblajes de peces han sido ampliamente utilizados para evaluar la integridad biótica en arroyos y ríos de Norteamérica (e.g. Karr *et al.*, 1987; Angermeier *et al.*, 2000; Lyons *et al.*, 2001; Daniels *et al.*, 2002). La prevalencia del uso de la comunidad de peces como indicadores de la salud ambiental y/o monitoreos aún es reducida en México y más aún la utilización del índice de Integridad Biótica (Pérez *et al.*, 2007).

Lyons *et al.*, (1995), aportó criterios para evaluar el índice de integridad biótica, en arroyos y pequeños ríos, del occidente de México. En el 2000 desarrollaron un

índice preliminar de integridad biótica de 19 lagos de México central, para evaluar su condición.

Contreras-Balderas *et al.*, (2002), desarrolló un índice de Integridad Biotica, para el análisis de las condiciones ambientales del río Bravo, y cambios en la composición del ensamblaje de Peces.

Mercado-Silva *et al.*, (2002) evaluaron los atributos y criterios de Lyons *et al.*, (1995), para 10 cuencas de México central.

Mercado-Silva *et al.*, (2006) llevaron a cabo un trabajo acerca de Índices de Integridad Biótica, basados en peces mexicanos y su uso en la conservación de recursos de agua dulce.

Recientemente Velázquez (2008), realizó, en el sistema lagunar Carretas-Pereyra, Chiapas, un estudio de la composición, estructura y diversidad del ensamblaje de peces, con el propósito de generar una guía base para evaluar la integridad biótica del sistema.

#### **4. JUSTIFICACION**

A pesar de que la REBISO protege uno de los centros de diversidad biológica más importantes de México y el mundo, se encuentra amenazada con un fuerte riesgo de fragmentación de hábitats, pérdida de fauna silvestre y de servicios ambientales, estos problemas ambientales traen como consecuencia efectos negativos a la economía regional, al bienestar social y a las oportunidades para el desarrollo.

Dado que dentro del polígono de la REBISO se encuentra la zona denominada como zona de amortiguamiento, la cual tiene como característica principal la

presencia de asentamientos humanos, es necesario contar con un instrumento que promueva a largo plazo la conservación de los recursos naturales y permita establecer un esquema regional de oportunidades para el desarrollo de los habitantes de la REBISO, asegurando para estos y para las generaciones futuras un bienestar común.

El Índice de Integridad Biótica es una herramienta metodológica que integra los diferentes atributos de: riqueza y composición de especies, composición trófica y abundancia de la comunidad de peces, provee además, una herramienta rápida y de bajo costo relativo para evaluar la salud general de un ecosistema acuático (Karr, 1981, Daniels *et al.*, 2002).

Por lo anterior es fundamental y necesaria la realización de trabajos relacionados con este tema ya que un conocimiento más completo e integrado acerca de la composición de especies, de la estructura y la función de los ecosistemas, entre ellos los acuáticos, es una herramienta fundamental en el trabajo de conservación y restauración del entorno natural (Sánchez, 2007).

## **5. OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Generar una guía base utilizando ensamblaje de peces para la elaboración de un índice de integridad biótica en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México.

### **5.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ✓ Evaluar la riqueza y composición de especies.
- ✓ Determinar la estructura trófica de las especies.

- ✓ Evaluar la condición y abundancia de los peces.
- ✓ Determinar los parámetros ambientales (salinidad, pH, temperatura, oxígeno disuelto, fosfato, nitrito, nitrato y amonio).

## **6. HIPOTESIS**

- La Reserva de la Biosfera Selva El Ocote protege uno de los centros de diversidad biológica más importantes de México y el mundo, por la ubicación en una zona de transición de dos provincias neo tropicales; la Pacifiquense y la Tehuantepequense, además posee una amplia gama de condiciones topográficas y microclimas, sin embargo enfrenta problemas de pérdida de hábitat, ocasionando afectaciones principalmente al medio acuático. Dado que los peces son organismos sensibles a la modificación de su ambiente se espera que la composición y estructura del ensamblaje de peces presente una variación espacial y temporal significativa, de acuerdo al grado de perturbación del paisaje. Lo anterior servirá para la elaboración de una guía base para la formulación del índice de integridad biótica del área de estudio.

## **7. MATERIAL Y MÉTODO**

### **7.1. Área de estudio**

La Reserva de la Biosfera Selva El Ocote (REBISO) se localiza hacia la porción occidental del territorio chiapaneco entre los paralelos 16° 45'42" y 17° 09' 00" de latitud Norte y entre los meridianos 93° 54' 19" y 93° 21' 20" de longitud Oeste de Greenwich, ubicada en los municipios de Ocozocoautla de Espinosa, Cintalapa de

Figuroa, Tecpatan de Mezcalapa y Jiquipilas en el Estado de Chiapas (Fig. 1), con una superficie total de 101 has (ciento un mil hectáreas).

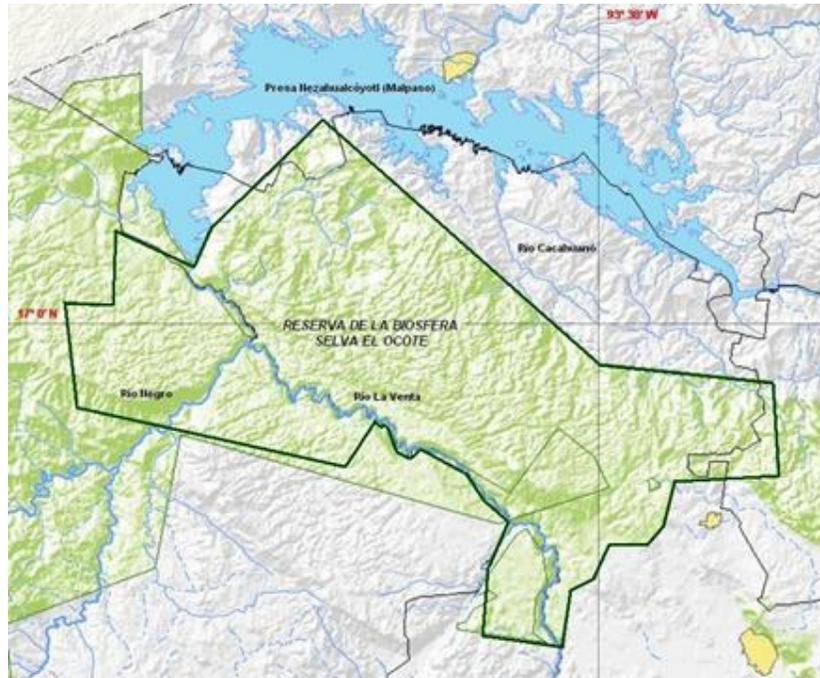


Figura 1. Mapa de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote.

## 7.2. Muestreo de Peces

Se realizaron 14 salidas de campo en la Reserva de La Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México. En las cuales se establecieron 33 puntos de muestreo, en el período comprendido de Marzo de 2007 a Septiembre de 2009.

El muestreo de la diversidad de peces consistió en la recolecta de ejemplares en cada uno de los recorridos, en donde se usó equipo de electro pesca de la marca Smith Root modelo 12A back pack, una atarraya tipo camaronera de 6 m de diámetro y 0.5 pulgadas de luz de malla, una red tipo chinchorrito de 3 m de largo con luz de malla de 5 mm, una red agallera, de 20 m de largo por 2 m de altura

con luz de malla de 2.25 pulgadas, calibre 0.20 y una red tipo cuchara 5 mm de luz de malla.

El equipo de electropesca se usó en lugares de poca profundidad, para la atarraya se mantuvo un esfuerzo constante de captura de 10 lances para los sitios donde era posible utilizar esta arte de pesca, en el caso de la red agallera 2 hrs., para la red tipo chinchorrito 0.5 hrs., y para la red tipo cuchara 0.25 hrs.

La identificación taxonómica de los peces se realizó utilizando literatura básica y claves, principalmente los trabajos de Álvarez del Villar (1970), Castro-Aguirre *et al.*, (1999), Lozano y Contreras (1987), Velasco (1976) y Miller *et al.*, (2005), así como descripciones originales y revisiones sistemáticas recientes. Los ejemplares capturados de cada especie fueron fotografiados, etiquetados y fijados en formalina al 10% posteriormente se trasladaron al Museo de Zoología del Instituto de Ciencias Biológicas de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (MZ-UNICACH), donde se etiquetaron nuevamente y colocaron en frascos de polietileno, conteniendo alcohol al 70%, que posteriormente formaron parte de la Colección Regional de Peces de este Instituto.

### **7.3. Riqueza taxonómica**

El elenco sistemático se elaboró con base en todo el material recolectado de los muestreos y localidades de la REBISO, antes mencionado. El arreglo taxonómico de las especies de peces se realizó con base en el criterio de Nelson (2006) para el nivel de orden y familia; la ortografía y reconocimiento de autor y año de cada especie se realizaron de acuerdo a la revisión en línea del catálogo de Eschmeyer y Fricke (2011), excepto en *Rhamdia guatemalensis*, para la cual se tomó en

cuenta los criterios de Weber y Wilkens (1998) y Perdices *et al.* (2002), quienes restringen la distribución de *Rhamdia quelen* para Suramérica. Los peces, fueron clasificados considerando la categoría ecológica de Myers (1938), de acuerdo a su tolerancia histórica a la salinidad.

#### 7.4. Estructura del ensamblaje

Los peces que se utilizaron para la estructura del ensamblaje fueron los recolectados con atarraya en 15 de los 33 puntos de muestreo (Cuadro 1), en las cuales se muestrearon al menos dos veces y en las que se muestreó con 10 lances para cada sitio de; ensayos previos demostraron que con este número de lances se alcanza la asíntota en la curva de acumulación de especie. El número de individuos capturados por 10 lances, se expresa como captura por unidad de esfuerzo (CPUE). En el laboratorio los peces se identificaron hasta el nivel de especie; los organismos fueron contados, medidos (Longitud estandar, SL) y pesados (gr.).

Cuadro 1. Localidades de la REBISO, que se muestrearon utilizando el arte de pesca atarraya para representar la estructura del ensamblaje de peces.

NÚMERO	LOCALIDADES	MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD
I	Bajo el puente Veinte Casas	OCOZOCOAUTLA DE ESPINOSA	16°59'43" N	93°31'40" W
II	Bajo el puente Corozo	OCOZOCOAUTLA DE ESPINOSA	17°03'18" N	93°34'04" W
III	Río El Francés	OCOZOCOAUTLA DE ESPINOSA	16°57'08" N	93°25'23" W
IV	Centro ecoturístico río La Junta	OCOZOCOAUTLA DE ESPINOSA	16°57'54" N	93°24'09" W
V	Bajo el puente que lleva a la colonia Lázaro Cárdenas	CINTALAPA DE FIGUEROA	16°52'56" N	93°42'51" W
VI	Arroyo Tatapedro	CINTALAPA DE	16°54'42" N	93°49'13" W

		FIGUEROA		
VII	A 250 m de la estación climatológica de CFE	CINTALAPA DE FIGUEROA	16°55'39" N	93°49'32" W
VIII	Laguna El Tule	OCOZOCOAUTLA DE ESPINOSA	16°55'00" N	93°37'03" W
IX	A 250 m de las escaleras de El Aguacero, sobre el río La Venta	OCOZOCOAUTLA DE ESPINOSA	16°45'39" N	93°31'33" W
X	A 150 m de la bajada de la colonia Emilio Rabasa, sobre el río La Venta	OCOZOCOAUTLA DE ESPINOSA	16°54'07" N	93°37'07" W
XI	Río La Venta a 800 m de la desembocadura del río Negro	OCOZOCOAUTLA DE ESPINOSA	16°58'51" N	93°45'48" W
XII	El Picacho, sobre el río La Venta	OCOZOCOAUTLA DE ESPINOSA	16°59'17" N	93°45'34" W
XIII	Río La Venta, a 2.5 km del campamento El Encajonado	OCOZOCOAUTLA DE ESPINOSA	17°01'25" N	93°48'18" W
XIV	Frente al campamento El Encajonado	OCOZOCOAUTLA DE ESPINOSA	17°02'32" N	93°48'33" W
XV	A 5 m de la entrada a la cueva El Túnel	OCOZOCOAUTLA DE ESPINOSA	17°03'39" N	93°47'55" W

Para expresar la medida de dominancia de las especies se utilizó el Índice de Valor de Importancia relativa (IVIr), en términos de abundancia numérica (% N), biomasa (% W) y frecuencia (% F), para cada especie ( $IVIr = [(\% N + \% W + \% F)/3]$ ) (Brower y Zar 1977).

Para los valores de diversidad, se consideró como base el Índice de Shannon-Wiener ( $H' = -\sum p_i \ln p_i$ ;  $H'$  = Índice de Diversidad de Shannon-Wiener,  $P_i$  = Proporción de individuos hallados en la especie  $i$ -ésima; se calcula mediante la relación  $n_i/N$ ,  $\ln$  = Logaritmo natural), el cual asume que todos los individuos se muestrean al azar a partir de una población indefinidamente grande, y que todas las especies están representadas en la muestra (Magurran, 1989), además de que este Índice es uno de los más utilizados y es muy sensible a las especies raras:

Para obtener los resultados de diversidad, se empleó el software *Species Diversity and Richness – version 3.0.* (P. A. Herdenson y Seaby M. H. 2002).

Además se tomaron en el campo datos de Amonio, Nitrito, Nitrato, Fosfato, utilizando reactivos Water quality Test Strips de la marca HACH. También se tomaron datos de temperatura (°C), oxígeno disuelto (DO, mg/l), Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) y Salinidad ( $^{\circ}/_{00}$ ), utilizando un equipo multiparametrico YSI-85, el pH fue medido con un equipo HACH, Sension1.

### **7.5. Análisis estadístico**

Se examinó la variación de los parámetros ambientales y la estructura del ensamblaje de peces, espacial y temporalmente usando como variables de respuesta la diversidad mediante el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) (con Logaritmo natural), riqueza (S) y la abundancia numérica (CPUE); estas variables fueron comparadas utilizando un ANOVA, para localidades que tenían al menos dos muestreos. Previo al análisis de varianza, se probó la normalidad (prueba de Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (prueba de Cochran) para todos los parámetros. Aquellas variables que no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, fueron probadas con un estadístico no paramétrico Kruskal-Wallis (Sokal y Rohlf, 1998), utilizando el programa estadístico STATGRAPHICS centurión XV.

## 7.6. Guía base para el IBI

Se generó una guía base, de acuerdo a los atributos del ensamblaje de peces: riqueza, composición, diversidad, abundancia y posición trófica para evaluar la integridad biótica de la REBISO.

Los peces fueron clasificados de acuerdo a: a) su origen, el cual fue establecido usando literatura sobre su distribución (Castro-Aguirre *et al.*, 1999, Miller, 2005; Fischer *et al.*, 1995, Allen y Robertson, 1998), N= Nativa, E= Exótica, b) posición típica en la columna de agua, agrupados como bénticas (B) y las que utilizan la columna de agua (C), basados sobre observaciones directas de su posición, c) tolerancia a la degradación ambiental categorizadas como sensitivas (S) cuando se presentan ligeros cambios en las condiciones ambientales del sistema acuático estas especies se ven afectadas en el número de individuos y además se ven afectados en su comportamiento, medianamente sensitivas (MS) y tolerantes (T), aquellas que pueden vivir en condiciones extremas, en alteraciones de la calidad del agua o degradación del hábitat (De la Lanza-Espino, *et al.*, 2000), estos criterios basados sobre observaciones de campo y literatura existente; siguiendo lo propuesto por de Mercado-Silva *et al.* 2002, d) hábitos alimenticios basado sobre información disponible en la literatura y al material revisado en el laboratorio, las especies fueron clasificadas de acuerdo a Elliott *et al.* (2007). ZP= Zooplantívoras, especies que se alimentan del zooplancton; DV= detritívoras; HV= herbívoras; OV= Omnívoras, PV = Piscívoras, ZB= Zoobentívoras, especies que se alimentan de invertebrados asociados al bentos, e) modo de reproducción, las especies fueron agrupadas como Ovíparos (O) u Ovpvivíparos (V) y f)

Clasificación ecótica, considerando la categoría ecológica de Myers (1938), de acuerdo a su tolerancia histórica a la salinidad (Pe= periférica, DP= dulceacuícola primaria, DS= dulceacuícola secundaria).

Los sitios fueron caracterizados y clasificados en función de las variables fisicoquímicas: salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad. Siguiendo los criterios de Deegan *et al.* (1997), se tomó como base el oxígeno disuelto, para la clasificación, debido a que concentraciones menores a 3 mg/l provocan afectaciones en la mayoría de los peces (Velázquez-Velázquez, 2008).

Con base en los elementos considerados se construyó una matriz de datos, para clasificar a las especies, y generar una propuesta de subíndices (métricas) que pueden ser utilizados como guía base para generar un índice de integridad biótica para la región.

### **7.7. Regionalización.**

Gracias a la utilidad que representan las regiones ecológicamente bien definidas como una herramienta para estratificar la variación espacial entre los ecosistemas, así como la respuesta de estos a los impactos humanos, la regionalización se considera como un componente crítico en las evaluaciones y regulaciones de la calidad de los ecosistemas acuáticos (Velázquez, 2008).

La Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta, pertenece a la vertiente del Golfo de México y es la de mayor importancia en nuestro país, dicha región alberga dos Cuencas Binacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y la República de Guatemala, las denominadas Grijalva-Usumacinta, la primera incluye el Alto, Medio y Bajo Grijalva y la segunda la de los ríos Lacantún, Usumacinta y Laguna de Términos (SEMARNAT, 2010).

Con base en los inventarios icitofaunísticos para las subcuencas de la cuenca del río Grijalva, se elaboró una matriz de ocurrencia de especies, con datos de presencia-ausencia. Utilizando el índice de similitud de Sorensen y el método de agrupamiento de medias no ponderadas (UPGMA) se construyó un dendograma de similitud ictiofaunística para identificar posibles biorregiones.

## **8. RESULTADOS**

### **8.1. Riqueza Taxonómica.**

Se recolectaron un total de 10 911 ejemplares pertenecientes a ocho ordenes, 14 familias y 27 géneros, mismos que conformaron el inventario con un total de 42 especies; de las cuales siete especies de peces están bajo alguna categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2010, la Lista Roja de la IUCN y la American Fisheries Society (AFS) (*Potamarius nelsoni*, *Rhamdia guatemalensis*, *Rhamdia laluchensis*, *Priapella intermedia*, *Xiphophorus clemenciae*, *Eugerres mexicanus*, *Paraneetroplus hartwegi*), además cuatro especies son exóticas (*Oreochromis aureus*, *Oreochromis niloticus*, *Parachromis managuensis*, *Tilapia*

*zillii*). Basadas en su afinidad ecológica siete corresponden al componente dulceacuícola primario, 26 al dulceacuícola secundario y nueve al conjunto periférico (vicario). Las familias Cichlidae y Poeciliidae fueron las mejores representadas con 15 y nueve especies, respectivamente (57.14 % de las especies colectadas), mientras que las menos representadas fueron las familias Ictaluridae, Atherinopsidae, Synbranchidae, Gerreidae y Sciaenidae, debido a que solo se registró una especie para estas.

## **8.2. Catálogo de Especies**

Listado de las especies de peces de la REBISO, Chiapas.\* Especie exótica; \*\* Especie bajo alguna categoría de riesgo, CE: Categoría ecológica.(Pe= periférica, DP= dulceacuícola primaria, DS= dulceacuícola secundaria).

### **Orden Clupeiformes**

#### **Familia Clupeidae**

*Dorosoma anale* Meek 1904 Pe

*Dorosoma petenense* (Günther 1867) Pe

### **Orden Characiformes**

#### **Familia Characidae**

*Astyanax aeneus* (Günther 1860) DP

*Brycon guatemalensis* Regan 1908 DP

## **Orden Siluriformes**

### **Familia Ictaluridae**

*Ictalurus meridionalis* (Günther 1860) DP

### **Familia Ariidae**

*Cathorops kailolae* Marceniuk y Betancur-R. 2008 Pe

*Potamarius nelsoni* (Evermann & Goldsborough 1902) Pe \*\*

### **Familia Heptapteridae**

*Rhamdia guatemalensis* (Günther 1864) DP \*\*

*Rhamdia laluchensis* Weber, Allegrucci & Sbordoni 2003 DP \*\*

*Rhamdia laticauda* (Kner 1858) DP

## **Orden Atheriniformes**

### **Familia Atherinopsidae**

*Atherinella alvarezi* (Díaz-Pardo 1972) Pe

## **Orden Beloniformes**

### **Familia Belonidae**

*Strongylura hubbsi* Collette 1974 Pe

### **Familia Hemiramphidae**

*Hypor hamphus mexicanus* Álvarez 1959 Pe

## Orden Cyprinodontiformes

### Familia Profundulidae

*Profundulus labialis* (Günther 1866) DS

*Profundulus punctatus* (Günther 1866) DS

### Familia Poeciliidae

*Heterandria bimaculata* (Heckel 1848) DS

*Poecilia mexicana* Steindachner 1863 DS

*Poecilia sphenops* Valenciennes 1836 DS

*Poeciliopsis fasciata* (Meek 1904) DS

*Poeciliopsis hnlickai* Meyer & Vogel 1981 DS

*Poeciliopsis pleurospilus* (Günther 1866) DS

*Priapella intermedia* Álvarez & Carranza 1952 DS \*\*

*Xiphophorus clemenciae* Álvarez 1959 DS \*\*

*Xiphophorus hellerii* Heckel 1848 DS

## Orden Synbranchiformes

### Familia Synbranchidae

*Ophisternon aenigmaticum* Rosen & Greenwood 1976 DP

## Orden Perciformes

### Familia Gerreidae

*Eugerres mexicanus* (Steindachner 1863) Pe \*\*

### Familia Sciaenidae

*Aplodinotus grunniens* Rafinesque 1819 Pe

### Familia Cichlidae

*Amphilophus macracanthus* (Günther 1864) DS

*Cichlasoma salvini* (Günther 1862) DS

*Cichlasoma trimaculatum* (Günther 1867) DS

*Oreochromis aureus* (Steindachner 1864) DS \*

*Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758) DS \*

*Parachromis managuensis* (Günther 1867) DS\*

*Paraneetroplus bifasciatus* (Steindachner 1864) DS

*Paraneetroplus hartwegi* (Taylor & Miller 1980) DS \*\*

*Paraneetroplus regani* (Miller 1974) DS

*Paraneetroplus melanurus* (Günther 1862) DS

*Paraneetroplus zonatus* (Meek 1905) DS

*Petenia splendida* Günther 1862 DS

*Theraps pearsei* (Hubbs 1936) DS

*Thorichthys helleri* (Steindachner 1864) DS

*Tilapia zillii* (Gervais 1848) DS \*

### **8.3. Estructura del ensamblaje de peces**

Para expresar la estructura del ensamblaje, se consideraron únicamente las especies recolectadas con atarraya (CPUE), sumando un total de 1900 ejemplares, pertenecientes a 31 especies, 23 géneros y 11 familias. *Astianax aeneus* fue la especie más numerosa (46.91 %) y la más frecuente (14.79 %), con la de mayor biomasa (29.06 %), y por lo tanto la que presentó el IVIr más alto (30.25 %). Dentro de las primeras cinco especies con IVIr más alto, se encuentran *Brycon guatemalensis*, *Dorosoma petenense*, *Poeciliopsis pleurospilus* y *Petenia splendida* (Fig. 2); mientras que *Potamarius nelsoni* y *Xiphophorus helleri*, presentaron los valores más bajos de IVIr (0.27 y 0.28 % respectivamente) (Cuadro 2). El 62.50 % de las 31 especies pertenecen a la categoría ecológica dulceacuícola secundaria, 21.88 % a las especies periféricas y 15% a las dulceacuícolas primarias (Fig. 3).

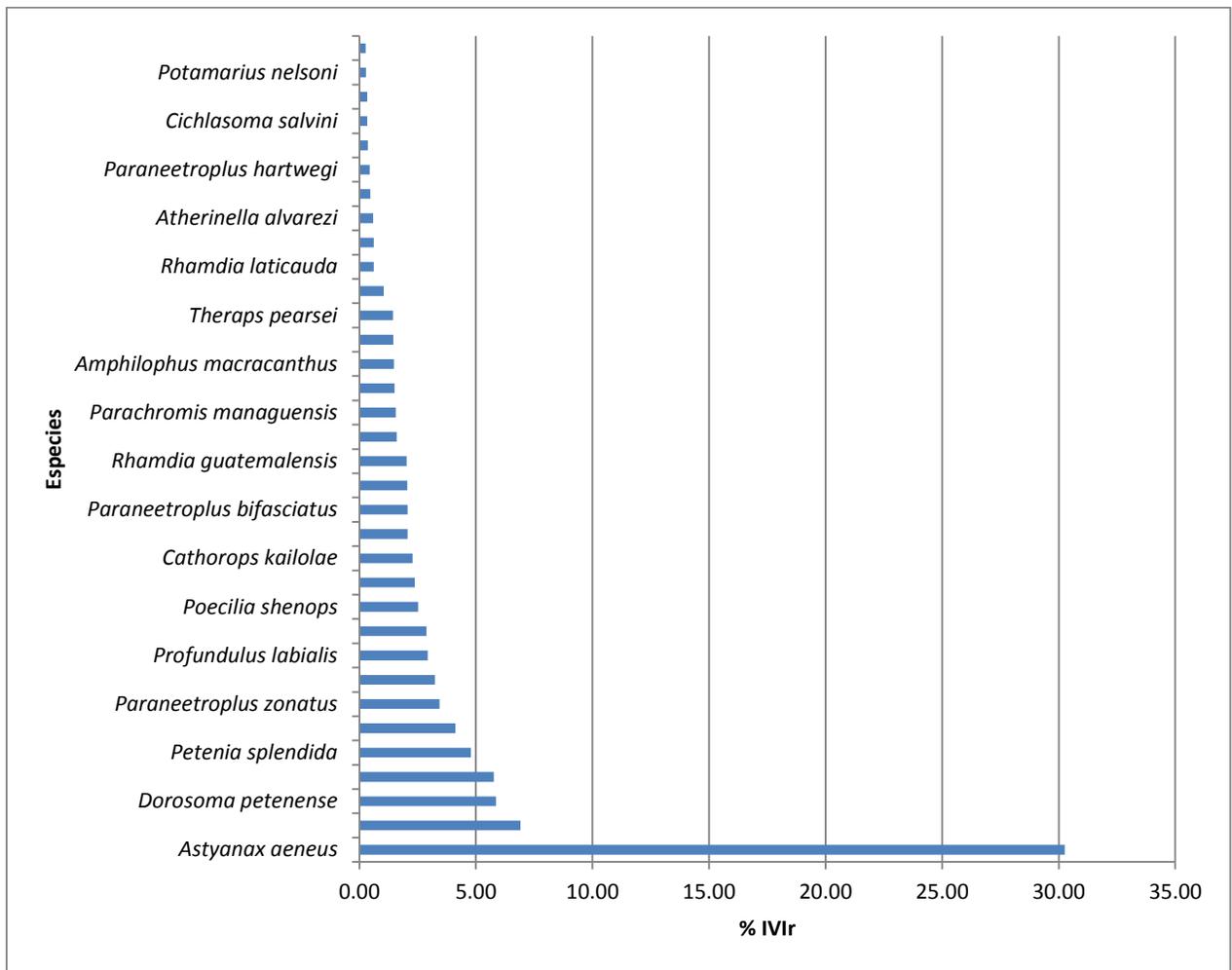


Fig. 2. Especies dominantes (IVIr) recolectadas en la REBISO.

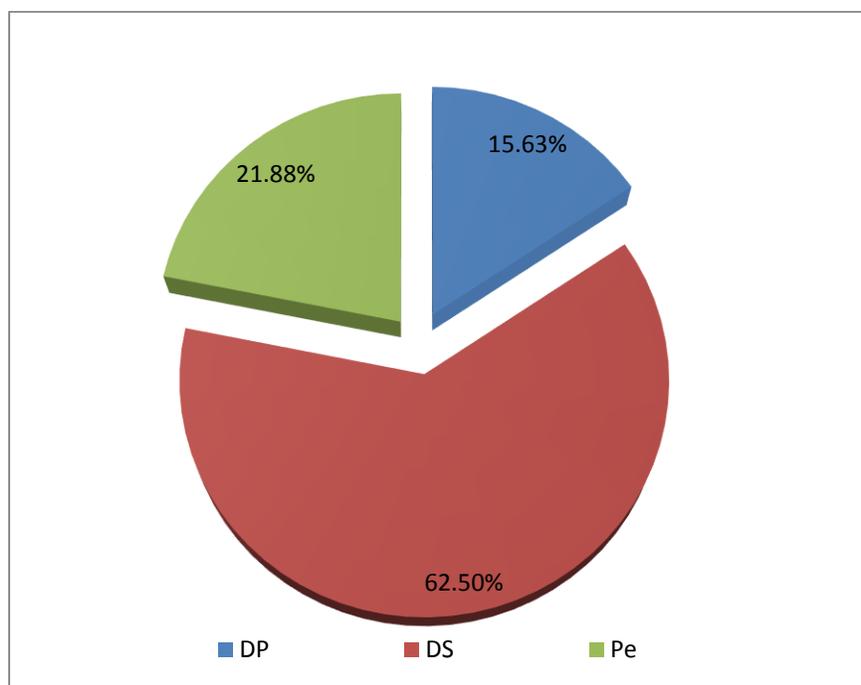


Fig. 3. Porcentajes de las categorías ecológicas de las especies de la REBISO, DP= dulce acuícola primario, DS= dulceacuícola secundario, Pe= periférica.

Cuadro 2. Índice de valor de importancia relativa (IVIr) del ensamblaje de peces de la REBISO, considerado en la captura por unidad de esfuerzo.

ESPECIE	% N	%F	% W	IVIr
<i>Astyanax aeneus</i>	46.9	14.9	29.1	30.3
<i>Brycon guatemalensis</i>	5.6	9.9	5.3	7.0
<i>Dorosoma petenense</i>	7.2	4.3	6.3	5.9
<i>Poeciliopsis pleurospilus</i>	9.3	7.1	1.0	5.8
<i>Petenia splendida</i>	2.8	2.9	8.8	4.8
<i>Oreochromis niloticus</i>	1.5	2.2	8.8	4.2
<i>Paraneetroplus zonatus</i>	1.4	5.0	4.1	3.5
<i>Dorosoma anale</i>	1.1	1.5	7.3	3.3
<i>Profundulus labialis</i>	1.8	5.7	1.5	3.0
<i>Paraneetroplus regani</i>	2.2	3.6	3.0	2.9
<i>Poecilia sphenops</i>	2.4	4.3	1.0	2.6
<i>Poecilia mexicana</i>	1.9	4.3	1.0	2.4
<i>Cathorops kailolae</i>	1.7	1.5	3.8	2.3
<i>Heterandria bimaculata</i>	2.5	3.6	0.3	2.1

<i>Paraneetroplus bifasciatus</i>	0.5	4.3	1.5	2.1
<i>Thorichthys helleri</i>	1.5	2.9	1.9	2.1
<i>Rhamdia guatemalensis</i>	1.0	3.6	1.7	2.1
<i>Ictalurus meridionalis</i>	0.7	2.9	1.4	1.7
<i>Parachromis managuensis</i>	0.9	2.9	1.1	1.6
<i>Poeciliopsis fasciata</i>	3.1	1.5	0.1	1.6
<i>Amphilophus macracanthus</i>	1.0	2.2	1.5	1.5
<i>Oreochromis aureus</i>	1.3	0.8	2.4	1.5
<i>Theraps pearsei</i>	0.3	1.5	2.7	1.5
<i>Strongylura hubbsi</i>	0.2	0.8	2.3	1.1
<i>Atherinella alvarezi</i>	0.3	1.5	0.1	0.6
<i>Paraneetroplus melanurus</i>	0.1	0.8	0.7	0.5
<i>Paraneetroplus hartwegi</i>	0.1	0.8	0.6	0.5
<i>Hyporhamphus mexicanus</i>	0.2	0.8	0.3	0.4
<i>Cichlasoma salvini</i>	0.2	0.8	0.2	0.4
<i>Potamarius nelsoni</i>	0.1	0.8	0.1	0.3
<i>Xiphophorus helleri</i>	0.1	0.8	0.1	0.3

Nota: % N= porcentajes del número total de ejemplares (1900), % F= frecuencia (15 localidades) y % W= del total de peso (15 787.81gr).

#### 8.4. Riqueza

La riqueza de especies se presentó con valores de 1 a 9, la localidad XIII presentó el promedio más alto (7.0), mientras que la localidad I obtuvo el menor promedio (1.0) (cuadro 3). De acuerdo al análisis de variación espacial (figura 4) ( $ANOVA = F$ , Kruskal-Wallis=  $H$ ) se encontraron diferencias significativas ( $H = 35.47$ ,  $p = 0.0012$ ), mientras que en la variación temporal (figura 5) no fue significativa ( $F = 0.31$ ,  $p = 0.5803$ ).

Cuadro 3. Resumen estadístico de la riqueza espacial en la REBISO, muestreados al menos dos veces.

Localidad	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Error Estándar	Mínimo	Máximo
-----------	----------	----------	---------------------	---------------------------	----------------	--------	--------

I	2	1.00	0.00	0.00%	0.00	1	1
II	6	2.50	1.64	65.73%	0.67	1	5
III	8	2.75	1.16	42.36%	0.41	1	4
IV	6	2.83	1.72	60.79%	0.70	1	5
V	2	4.00	0.00	0.00%	0.00	4	4
VI	2	2.00	0.00	0.00%	0.00	2	2
VII	2	5.00	2.83	56.57%	2.00	3	7
VIII	2	1.50	0.71	47.14%	0.50	1	2
IX	8	4.88	1.81	37.08%	0.64	3	9
X	5	5.20	2.28	43.85%	1.02	2	8
XI	2	4.50	0.71	15.71%	0.50	4	5
XII	4	6.00	2.71	45.13%	1.35	2	8
XIII	6	7.00	1.41	20.20%	0.58	5	9
XIV	3	1.67	1.15	69.28%	0.67	1	3
XV	5	3.00	1.22	40.82%	0.55	1	4
Total	63	3.83	2.23	58.37%	0.28	1	9

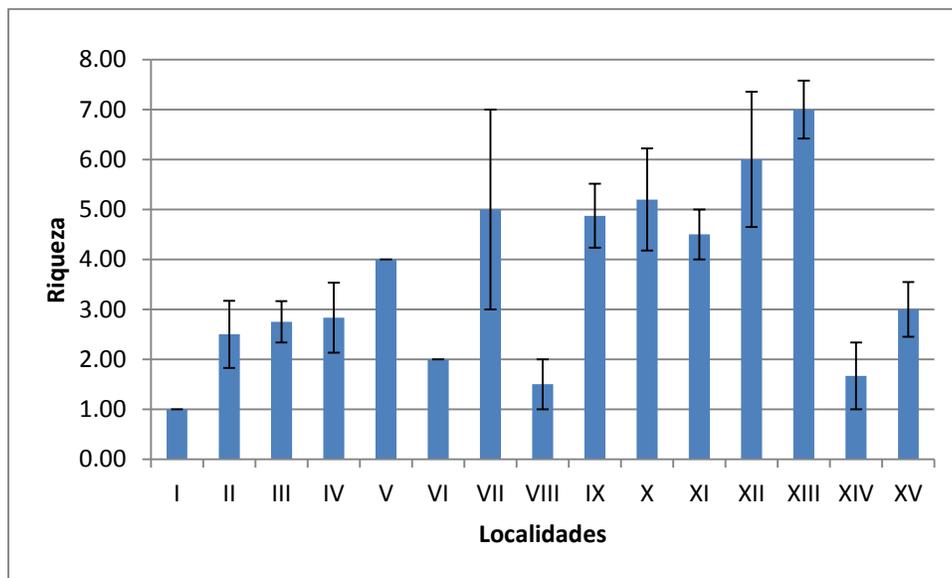


Fig. 4. Variación espacial de la riqueza media, en las localidades de la REBISO, (barras  $\pm$  1 Error estándar), ( $H= 35.47$ ,  $p= 0.0012$ ).

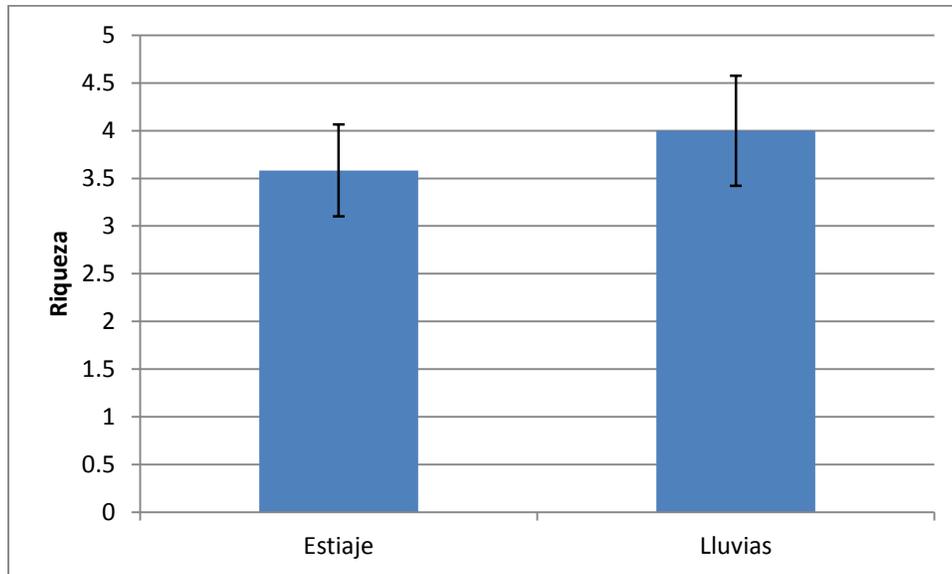


Fig. 5. Variación temporal de la riqueza media en la REBISO, (barras  $\pm 1$  Error estándar), ( $F= 0.31$ ,  $p= 0.5803$ ).

### 8.5. Abundancia

La abundancia (CPUE) se presentó con valores de 3 a 236 ejemplares, la localidad X presentó el promedio más alto (82.4), mientras que la localidad I obtuvo el menor promedio (3.5) (cuadro 4 y 5). Espacialmente se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $H= 29.22$ ,  $p= 0.0097$ ) (figura 6), mientras que temporalmente la variación no fue significativa ( $H= 0.958$ ,  $p= 0.3275$ ) (figura 7).

Cuadro 4. Resumen estadístico de la abundancia CPUE, espacial en la REBISO.

Localidad	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Error Estándar	Mínimo	Máximo
I	2	3.50	0.71	0.20	0.50	3.00	4.00
II	6	17.83	14.59	0.82	5.96	2.00	36.00
III	8	28.25	21.04	0.74	7.44	2.00	61.00

IV	6	12.50	6.16	0.49	2.51	6.00	23.00
V	2	24.00	5.66	0.24	4.00	20.00	28.00
VI	2	9.00	5.66	0.63	4.00	5.00	13.00
VII	2	41.50	27.58	0.66	19.50	22.00	61.00
VIII	2	26.50	3.54	0.13	2.50	24.00	29.00
IX	8	41.25	31.96	0.77	11.30	11.00	98.00
X	5	82.40	91.91	1.12	41.10	3.00	236.00
XI	2	42.00	24.04	0.57	17.00	25.00	59.00
XII	4	53.00	30.68	0.58	15.34	31.00	97.00
XIII	6	67.67	35.46	0.52	14.48	32.00	123.00
XIV	3	11.67	12.50	1.07	7.22	3.00	26.00
XV	5	14.20	10.62	0.75	4.75	8.00	33.00
Total	63	34.40	37.82	1.10	4.76	2.00	236.00

Cuadro 5. Abundancia numérica en la REBISO, Chiapas, México.

ESPECIE/LOCALIDADES	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
<i>Amphilophus macracanthus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	1	0	0
<i>Astyanax aeneus</i>	7	48	137	45	27	15	35	0	19	99	46	82	249	0	33
<i>Atherinella alvarezii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	1	0
<i>Brycon guatemalensis</i>	0	8	2	6	0	0	15	0	9	36	0	1	26	0	2
<i>Cathorops kailolae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	26	0
<i>Cichlasoma salvini</i>	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Dorosoma anale</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	23	0	0
<i>Dorosoma petenense</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	31	56	59	1	12
<i>Heterandria bimaculata</i>	0	0	54	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hyporhamphus mexicanus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
<i>Ictalurus meridionalis</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	11	2	0	0	0	0	0
<i>Oreochromis aureus</i>	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oreochromis niloticus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	7	0	0	0
<i>Parachromis managuensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	6	0	1
<i>Paraneetroplus bifasciata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	1	2	0	0
<i>Paraneetroplus hartwegi</i>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Paraneetroplus melanurus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
<i>Paraneetroplus regani</i>	0	3	0	0	0	0	5	0	0	1	0	1	0	0	0
<i>Paraneetroplus zonatus</i>	0	0	0	1	1	0	12	0	0	3	0	8	0	0	0
<i>Petenia splendida</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	25	14	3	2
<i>Poecilia mexicana</i>	0	0	25	15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Poecilia shenops</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	18	27	2	0	0	0	0
<i>Poeciliopsis fasciata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	58	0	0	0	0	0

<i>Poeciliopsis pleurospilus</i>	0	0	0	0	4	2	2	1	32	161	2	0	1	0	0
<i>Potamarius nelsoni</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
<i>Profundulus labialis</i>	0	0	8	1	6	0	0	0	1	14	0	0	0	0	0
<i>Rhamdia guatemalensis</i>	0	0	0	5	0	0	11	0	2	0	1	2	3	0	0
<i>Strongylura hubbsi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Theraps pearsei</i>	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0
<i>Thorichthus helleri</i>	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	1	15	2	0	0
<i>Xiphophorus helleri</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

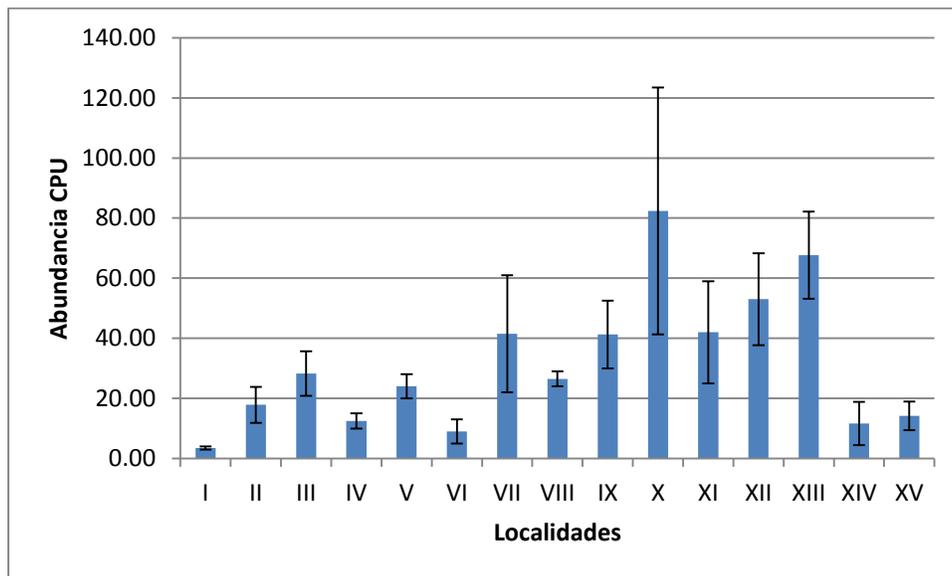


Fig. 6. Variación espacial de abundancia media, en las localidades de la REBISO, (barras  $\pm$  1 Error estándar).

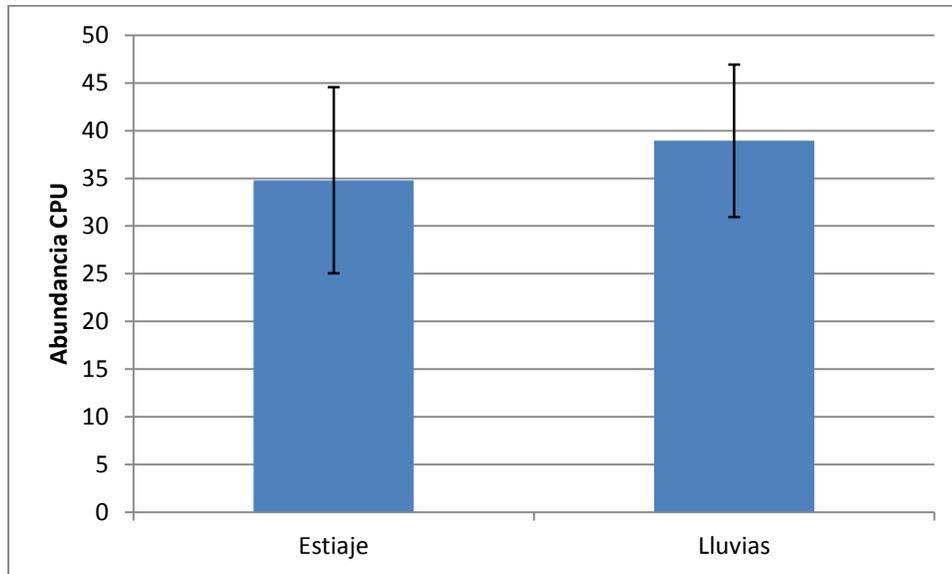


Fig. 7. Variación temporal de la abundancia CPUE, en las localidades de la REBISO, (barras  $\pm$  1 Error estándar).

### 8.6. Diversidad

La Diversidad ( $H'$ ) se presentó con valores de 0 a 1.72, la localidad XIII presentó el promedio más alto (1.25), mientras que la localidad I obtuvo el menor promedio (0.00) (cuadro 6), las variaciones entre localidades fueron significativas ( $F= 2.50$ ,  $p= 0.0093$ )(figura 8), mientras que temporalmente no se encontró diferencia significativa ( $F=0.64$ ,  $p= 0.4276$ )(figura 9).

Cuadro 6. Resumen estadístico de la diversidad  $H'$ , espacial en la REBISO.

Localidad	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación %	Error Estándar	Mínimo	Máximo
I	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II	6	0.52	0.47	0.90	0.19	0.00	1.18
III	8	0.56	0.36	0.65	0.13	0.00	0.97
IV	6	0.72	0.59	0.83	0.24	0.00	1.28

V	2	1.04	0.08	0.08	0.06	0.98	1.09
VI	2	0.47	0.05	0.11	0.04	0.43	0.50
VII	2	1.07	0.35	0.33	0.25	0.82	1.32
VIII	2	0.08	0.11	1.41	0.08	0.00	0.15
IX	8	0.99	0.35	0.36	0.13	0.33	1.42
X	5	0.99	0.26	0.27	0.12	0.64	1.32
XI	2	0.73	0.33	0.45	0.23	0.50	0.96
XII	4	1.07	0.62	0.58	0.31	0.14	1.46
XIII	6	1.25	0.43	0.34	0.18	0.49	1.72
XIV	3	0.29	0.50	1.73	0.29	0.00	0.87
XV	5	0.83	0.52	0.62	0.23	0.00	1.31
Total	63	0.77	0.50	0.65	0.06	0.00	1.72

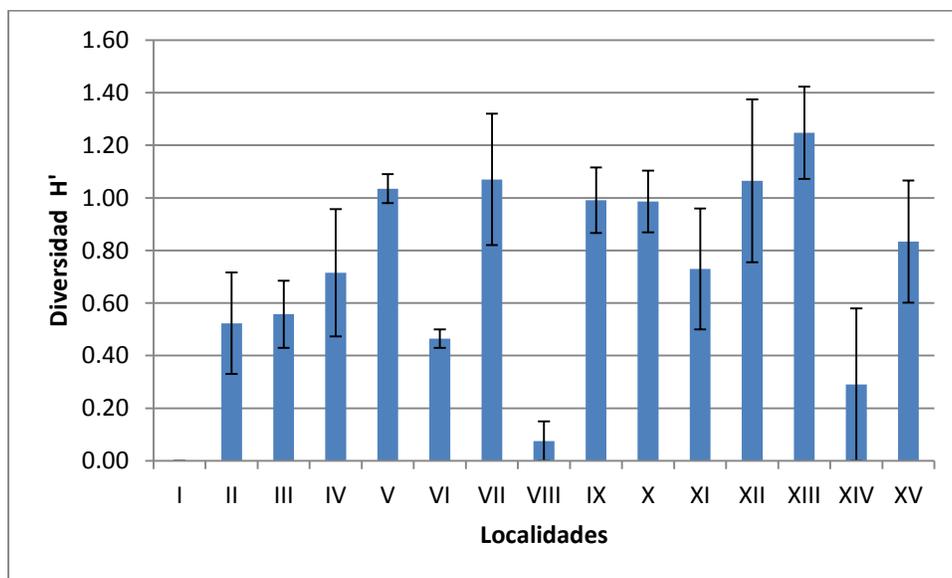


Fig. 8. Variación espacial de la diversidad  $H'$ , en las localidades de la REBISO, (barras  $\pm 1$  Error estándar).

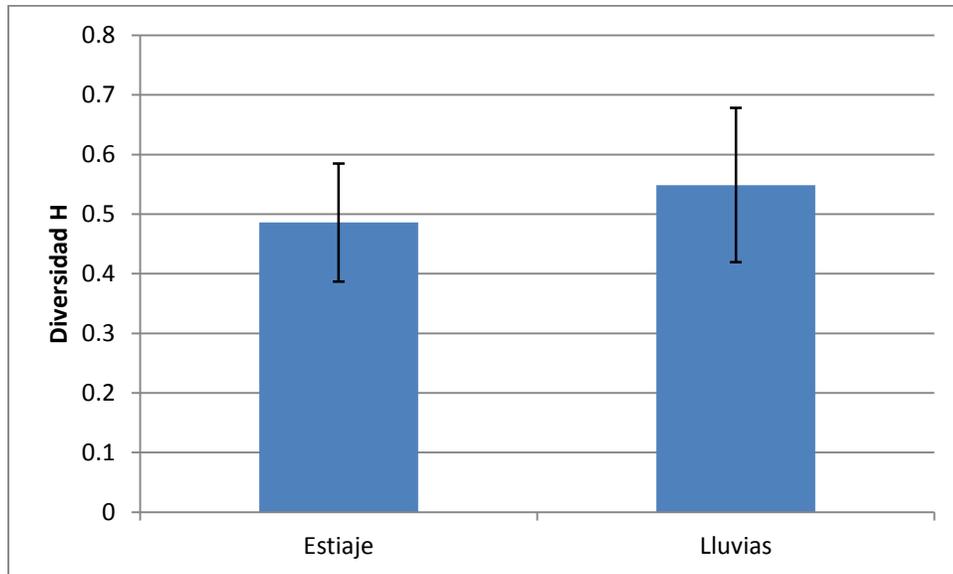


Fig. 9. Variación temporal de la diversidad H', en las localidades de la REBISO, (barras  $\pm 1$  Error estándar).

### 8.7. Variación ambiental

La mayoría de los valores ambientales medidos fueron muy bajos, para el caso del amonio la localidad con el promedio más alto, fue la VIII (0.25 mg/l), mientras que las localidades I, III, V, VI, VII, X, XI, XII - XV, presentaron el menor promedio (0.0 mg/l), las diferencias entre las localidades fueron significativas ( $H=31.00$ ,  $p=0.0055$ ). Temporalmente los periodos de estiaje y lluvias no fueron significativos en la variación que presentaron ( $H=0.193$ ,  $p=0.660$ ) (Fig. 10).

Los valores de Nitrito no fueron detectados para todas las localidades y en ambas temporadas (0.00 mg/l), por lo que no se presentó variación espacial ni temporal.

El Nitrato registró el promedio más alto en la localidad II (0.475 mg/l), mientras que las localidades V- VIII, XI, XII y XV, presentaron el menor promedio (0.0 mg/l), las diferencias entre las localidades no fueron significativas ( $H=12.44$ ,  $p= 0.57$ ). Pero Temporalmente fue significativamente más alto en lluvias ( $H= 8.025$ ,  $p= 0.0046$ ) (Fig. 10).

Las diferencias espacial ( $H=15.71$ ,  $p= 0.331$ ) y temporal ( $F= 0.21$ ,  $p= 0.6487$ ) del pH no fueron significativas, sin embargo la localidad con el promedio más alto fue la XV (8.53), mientras que la localidad VIII, presentó el menor promedio (6.9) (Fig.10).

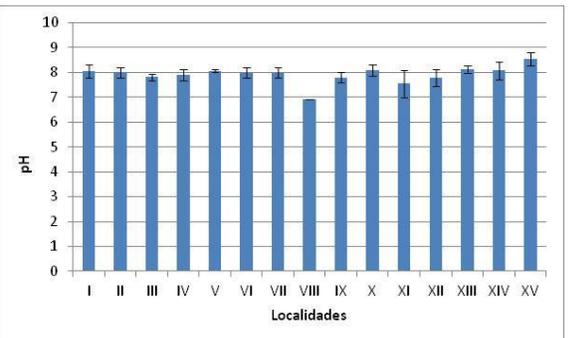
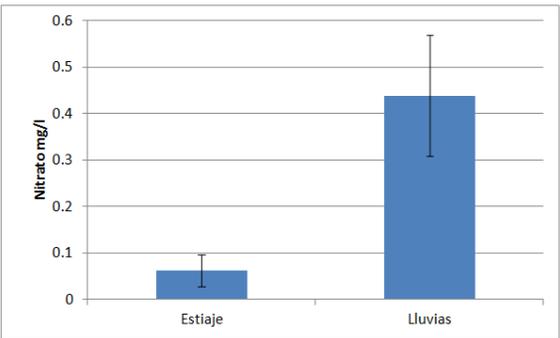
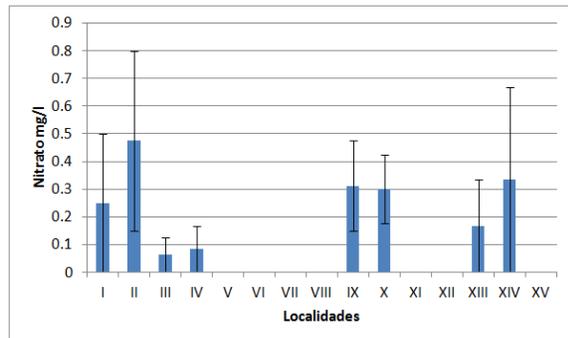
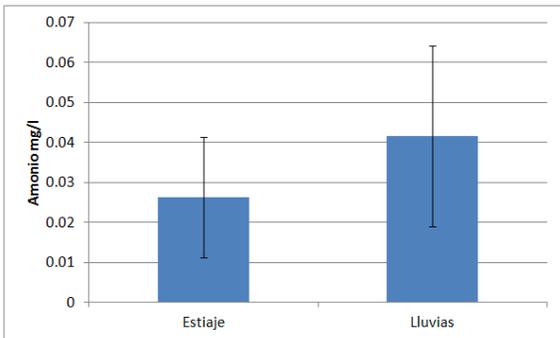
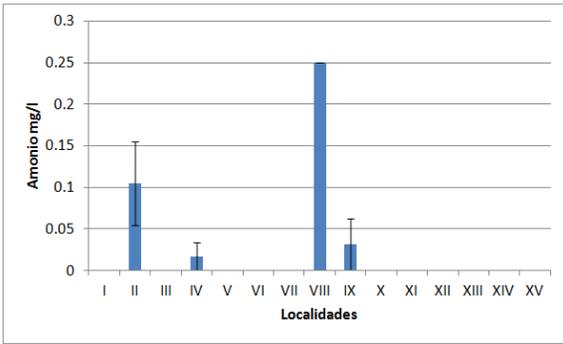
El fosfato registró el promedio más alto en la localidad VIII (15 mg/l) y el valor más bajo en las localidades I, IV y V (7.5 mg/l), las diferencias entre las localidades no fueron significativas ( $F=1.76$ ,  $p= 0.0741$ ). Temporalmente los periodos de estiaje y lluvias no fueron significativos en la variación que presentaron ( $F= 0.89$ ,  $p= 0.3509$ ) (Fig. 10).

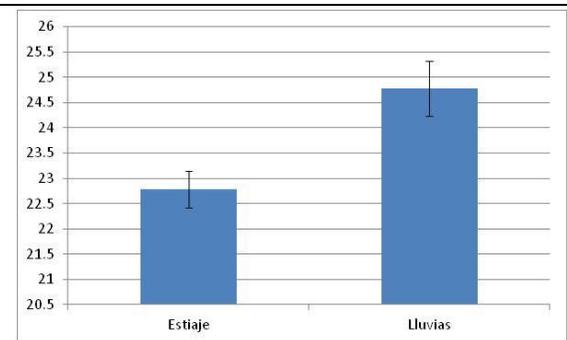
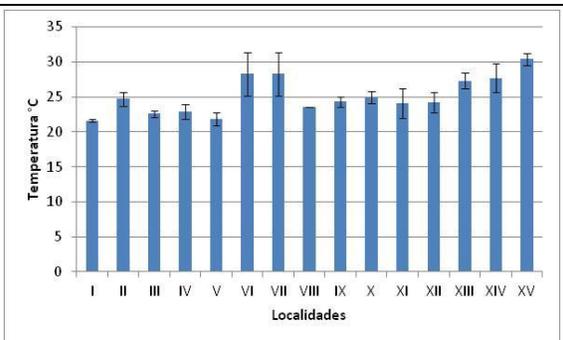
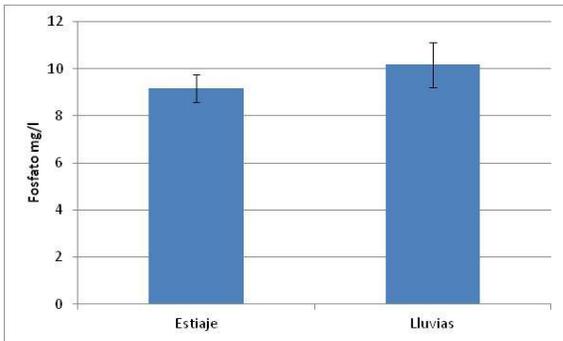
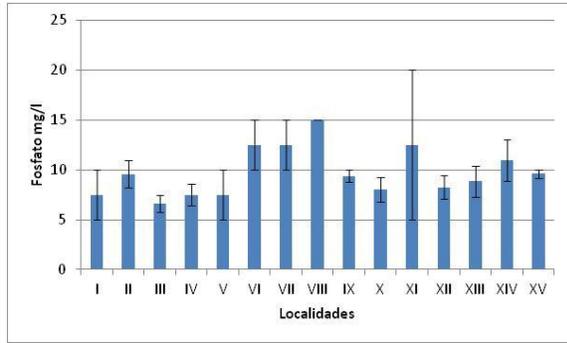
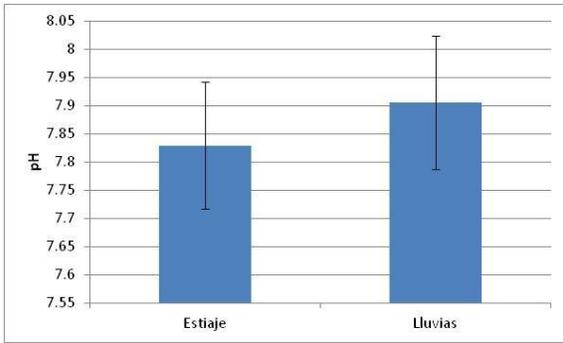
La localidad con el promedio más alto en temperatura fue la XV (30.4 °C), mientras que la localidad I presentó el menor promedio (21.6 °C), las diferencias entre las localidades fueron significativas ( $F=4.77$ ,  $p= 0.000$ ). Temporalmente los periodos de estiaje y lluvias fueron significativos en la variación que presentaron ( $F= 10.15$ ,  $p= 0.0028$ ) (Fig. 10).

La localidad con el promedio más alto en oxígeno fue la II (9.67 mg/l), mientras que la localidad VIII presentó el menor promedio (2.63 mg/l), las diferencias entre las localidades fueron significativas ( $H=29.35$ ,  $p= 0.009$ ). Temporalmente los periodos de estiaje y lluvias no fueron significativos en la variación que presentaron ( $F= 1.25$ ,  $p= 0.20$ ) (Fig. 10).

La localidad que registró el promedio más alto en conductividad fue la IX (498.1  $\mu\text{s/cm}$ ), mientras que las de menor valor promedio fueron la VI y VII (92.55  $\mu\text{s/cm}$ ), las diferencias espacial y temporalmente no fueron significativas ( $H=38.68$ ,  $p= 0.19$ ,  $F= 1.77$ ,  $p= 0.19$  respectivamente) (Fig. 10).

La localidad que registró el promedio más alto en salinidad fue la IX (0.225), mientras que las de menor valor promedio fueron la VI y VII (0.05), las diferencias espaciales fueron significativas ( $H=33.31$ ,  $p= 0.002$ ), temporalmente no fueron significativas ( $F= 0.4$ ,  $p= 0.5$ ) (Fig. 10).





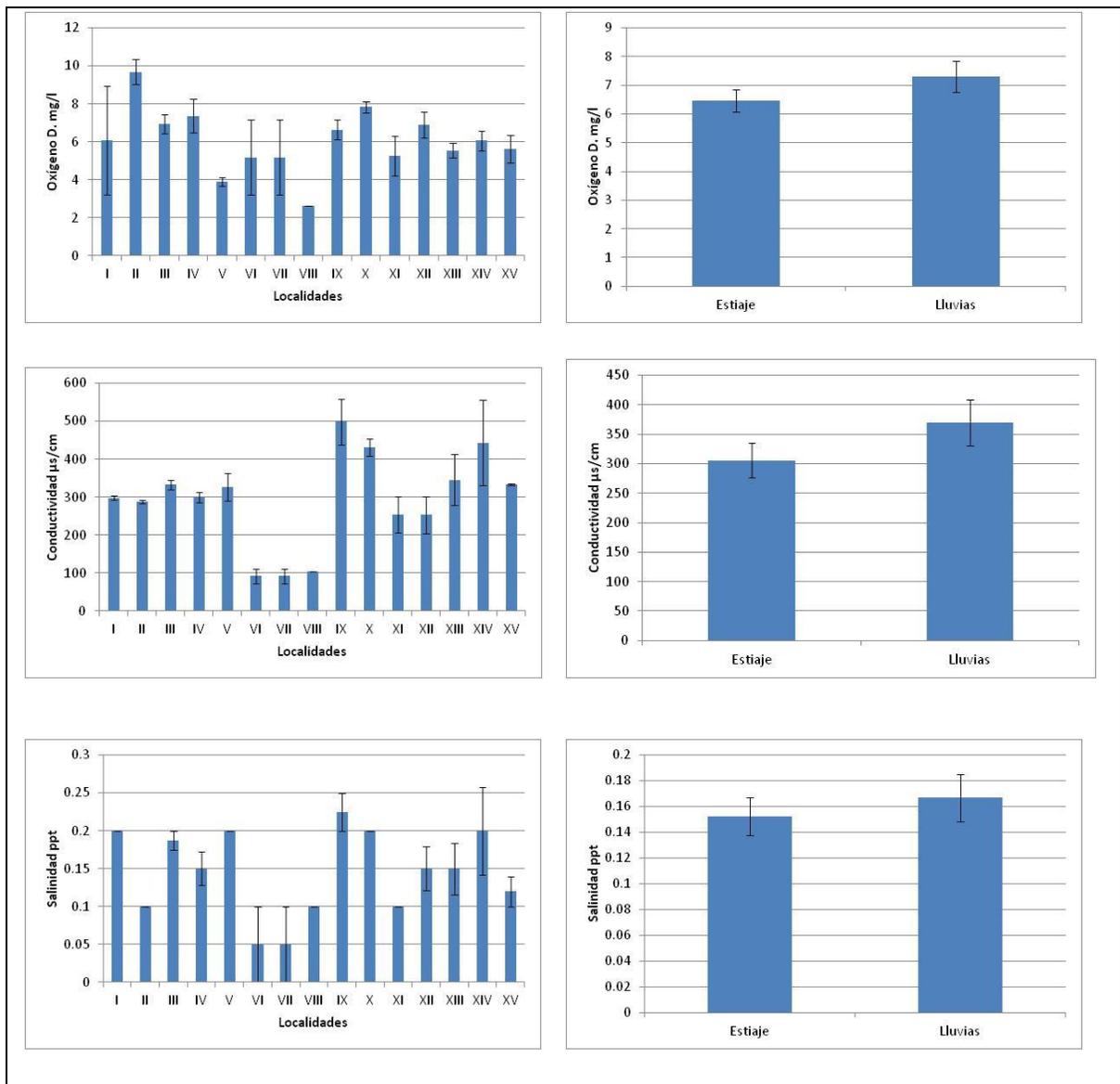


Fig. 10. Variación espacio temporal de los parámetros ambientales, medidos en la REBISO. mg/l= miligramos por litro, µs/cm= micro siemens por centímetro.

### 8.8. Regionalización

De acuerdo al análisis de similitud realizado, se encontraron tres grupos principales identificados con base en la composición de especies (figura 11). El primer grupo conformado por áreas que representan a la sub región alto Grijalva:

río Chiquito, presa La Angostura, Reserva Canelar y río Bombaná. El segundo apartado lo representa solamente el río Totopac. El tercer grupo lo conforman el Parque Nacional Cañón del Sumidero, la presa Malpaso, la REBISO y el río Grijalva sección Copainalá; áreas pertenecientes a la sub región Medio Grijalva. Estas agrupaciones representan las sub regiones hidrológicas del Grijalva y ecorregiones ictiofaunísticas de la misma, de particular interés se presenta la separación del río Totopac fuera de los dos grupos, pero localizado en la sub región medio Grijalva.

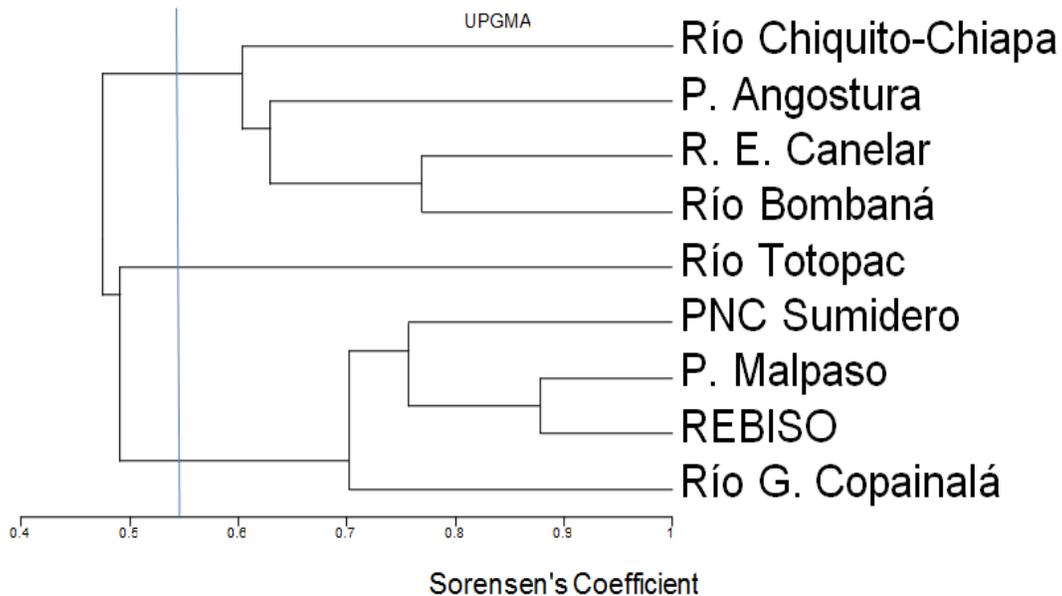


Figura 11. Dendrograma de similitud (Sorensen's) por el método UPGMA, de las áreas de la cuenca del Grijalva.

### 8.9. Calidad del hábitat

De acuerdo al oxígeno disuelto se propone una clasificación de la calidad de hábitat; alta (A) mayor a 5 ppm, media (M) menor a 5 ppm y mayor que 3 ppm y baja (B) 0-3 ppm. Considerando el área de estudio como reserva de la biosfera se esperaba que presentara una alta calidad, sin embargo se registraron 13 localidades con alta (I-IV, VI, VII, IV-XV), una localidad con media (V) y una con baja (VIII). Las localidades con calidad media y baja representan un poco volumen de agua y mucha cercanía a asentamientos humanos (Cuadro 7).

Cuadro 7. Clasificación de localidades de acuerdo al oxígeno disuelto, A= alto, M= medio, B= bajo.

Localidad	Calidad	Oxígeno D mg/l	Ph	Temperatura ° C	Conductividad µS/cm	Amonio mg/l	Nitrito mg/l	Nitrato mg/l	Fosfato mg/l
I	A	6.08	8.05	21.60	297.55	0.00	0.00	0.25	7.50
II	A	9.67	8.00	24.69	287.35	0.11	0.00	0.48	9.58
III	A	6.92	7.81	22.60	332.49	0.00	0.00	0.06	6.63
IV	A	7.36	7.90	22.83	299.88	0.02	0.00	0.08	7.50
V	M	3.90	8.06	21.85	326.50	0.00	0.00	0.00	7.50
VI	A	5.19	8.00	28.30	92.55	0.00	0.00	0.00	12.50
VII	A	5.19	8.00	28.30	92.55	0.00	0.00	0.00	12.50
VIII	B	2.63	6.90	23.50	104.00	0.25	0.00	0.00	15.00
IX	A	6.64	7.79	24.30	498.11	0.03	0.00	0.31	9.38
X	A	7.83	8.09	24.94	430.70	0.00	0.00	0.30	8.00
XI	A	5.27	7.55	24.10	254.15	0.00	0.00	0.00	12.50
XII	A	6.90	7.78	24.20	252.93	0.00	0.00	0.00	8.25
XIII	A	5.56	8.12	27.30	345.35	0.00	0.00	0.17	8.83
XIV	A	6.07	8.07	27.67	442.77	0.00	0.00	0.33	11.00
XV	A	5.63	8.54	30.40	333.52	0.00	0.00	0.00	9.60

mg/l= miligramos por litro, µS/cm= micro siemens por centímetro

### **8.10. Selección de atributos (métricas)**

El IBI está diseñado y adaptado a partir de tres atributos básicos de las comunidades de peces:

- Composición y riqueza y de especies
- Estructura trófica
- Condición y abundancia de los peces.

### **8.11. Composición y riqueza de especies**

**Número de especies.** Se propone el número de especies acumuladas de cada lugar por las condiciones características de cada área.

**Número de especies sensitivas (intolerantes).** Se sugiere utilizar a los cíclidos en especial a las especies nativas, debido a que son de mayor importancia para la pesca y sensibles a sitios degradados con bajo nivel de oxígeno.

**Número de especies exóticas.** Se sugiere la utilización de estas especies y su abundancia, ya que en el área de estudio se han reportado cuatro especies, indicando que lugares ausentes de estas se consideran de mejor calidad (cuadro 8).

**Índice de diversidad.** Se sugiere el índice de Shanon-Wiener, ya que es más sensible a las especies raras (numéricamente) es uno de los más utilizados otorgando la facilidad de hacer comparaciones en estos tipos de ambientes.

## 8.12. Composición trófica

**Porción de omnívoros.** La cantidad de omnívoros presentes en esta área de estudio es considerablemente alta (11 especies) con un poco más del 26%. Karr (1981) considera que un sitio declina en calidad a medida que la proporción de omnívoros incrementa (cuadro 8).

**Porción de detritívoros.** Solamente dos especies de detritívoros se presentan en la REBISO, sin embargo ambas se encuentran entre las primeras cinco más abundantes numéricamente.

**Porción de consumidores de invertebrados (invertívoros).** Los peces pertenecientes a este grupo considerados como zoobentívoros (cuadro 8) representaron el tercer grupo más numeroso con nueve especies (21.4 %), destaca la presencia de *Ictalurus meridionalis*, una de las especies que sostienen la pesquería del embalse de malpaso.

**Porción de carnívoros tope.** Al menos cinco especies se encontraron en esta categoría (cuadro 8) representando el 11.9 % del total de las especies, una proporción buena en comparación a que proporciones mayores al 5% representan ecosistemas saludables (Velázquez-Velázquez, *et al.*, 2004).

## 8.13. Condición y abundancia de los peces

**Número de individuos.** Con base en que lanzando 10 veces la atarraya se ha demostrado que alcanza la asíntota en la curva de acumulación de especie,

se propone la utilización de esta como captura por unidad de esfuerzo (CPUE).

**Índice de valor de importancia relativa (IVIr).** Debido a las ventajas que representa este índice como indicador de dominancia se sugiere utilizarlo, ya que contempla la abundancia relativa, biomasa y frecuencia.

**Porción de peces con anomalías.** A pesar que este parámetro no se monitorea se sugiere utilizar la prevalencia de parásitos principalmente del grupo de los helmintos, que comúnmente hospederan a ciclidos de esta región.

Cuadro 8. Propuesta de clasificación de los peces de la REBISO, para el desarrollo de un IBI. Clasificación ecótica: DP= dulceacuícola primaria, DS= Dulceacuícola secundaria, Pe= periférica. Por su posición en la columna de agua: C= columna de agua, F= fondo, S= superficie. Grupo trófico: ZP= zooplantívoros , OV= omnívoros, ZB= zoobentívoros, DV= detritívoros, HV= herbívoros, PV= piscívoros. Origen: N= nativa, E= exótica. Tolerancia: S= sensitivas, M= medianamente sensitivas, T= tolerantes. Reproducción: O= ovíparos, V= vivíparos.

FAMILIA	ESPECIE	CLASIFICACIÓN ECOTICA	POSICIÓN	GRUPO TRÓFICO	ORIGEN	TOLERANCIA	REPRODUCCIÓN
Clupeidae	<i>Dorosoma anale</i>	Pe	C	ZP	N	M	O
	<i>Dorosoma petenense</i>	Pe	C	ZP	N	M	O
Characidae	<i>Astyanax aeneus</i>	DP	C	OV	N	T	O
	<i>Brycon guatemalensis</i>	DP	C	OV	N	T	O
Ictaluridae	<i>Ictalurus</i>	DP	F	ZB	N	S	O

*meridionalis*

Ariidae	<i>Cathorops kailolae</i>	Pe	F	ZB	N	S	O
	<i>Potamarius nelsoni</i>	Pe	F	ZB	N	S	O
Heptapteri dae	<i>Rhamdia laluchensis</i>	DP	F	ZB	N	S	O
	<i>Rhamdia laticauda</i>	DP	F	ZB	N	S	O
	<i>Rhamdia guatemalensis</i>	DP	F	ZB	N	S	O
Atherinopsi dae	<i>Atherinella alvarezii</i>	Pe	C	ZB	N	M	O
Belonidae	<i>Strongylura hubbsi</i>	Pe	C	PV	N	S	O
Hemiramp hidae	<i>Hyporhamphus mexicanus</i>	Pe	F	ZB	N	S	O
Profunduli dae	<i>Profundulus labialis</i>	DS	C	ZP	N	M	O
	<i>Profundulus punctatus</i>	DS	C	ZP	N	M	O
Poeciliidae	<i>Heterandria bimaculata</i>	DS	S	ZP	N	M	V
	<i>Poecilia mexicana</i>	DS	S	ZP	N	M	V
	<i>Poecilia sphenops</i>	DS	S	ZP	N	M	V
	<i>Poeciliopsis fasciata</i>	DS	S	DV	N	T	V
	<i>Poeciliopsis hnilickai</i>	DS	S	ZP	N	M	V
	<i>Poeciliopsis pleurospilus</i>	DS	S	DV	N	T	V
	<i>Priapella intermedia</i>	DS	C	ZP	N	T	V
	<i>Xiphophorus clemenciae</i>	DS	C	ZP	N	T	V
	<i>Xiphophorus hellerii</i>	DS	C	OV	N	S	V
Synbranchi dae	<i>Ophisternon aenigmaticum</i>	DP	F	OV	N	M	O
	<i>Eugerres mexicanus</i>	Pe	C	OV	N	M	O
Gerreidae	<i>Aplodinotus</i>						
Sciaenidae	<i>grunniens</i>	Pe	C	HV	N	M	O
Cichlidae	<i>Amphilophus macracanthus</i>	DS	F	ZB	N	T	O
	<i>Cichlasoma salvini</i>	DS	F	PV	N	M	O
	<i>Cichlasoma trimaculatum</i>	DS	C	PV	N	T	O
	<i>Oreochromis aureus</i>	DS	C	OV	E	T	O
	<i>Oreochromis niloticus</i>	DS	C	OV	E	T	O
	<i>Parachromis managuensis</i>	DS	C	PV	E	M	O

<i>Paraneetroplus bifasciatus</i>	DS	C	OV	N	M	O
<i>Paraneetroplus hartwegi</i>	DS	C	HV	N	M	O
<i>Paraneetroplus melanurus</i>	DS	C	HV	N	M	O
<i>Paraneetroplus regani</i>	DS	C	OV	N	S	O
<i>Paraneetroplus zonatus</i>	DS	C	HV	N	M	O
<i>Petenia splendida</i>	DS	C	PV	N	S	O
<i>Theraps pearsei</i>	DS	F	HV	N	S	O
<i>Thorichthys helleri</i>	DS	C	OV	N	S	O
<i>Tilapia zillii</i>	DS	C	OV	E	T	O

## 9. DISCUSIÓN

La riqueza Ictiofaunística registrada en la REBISO (42 especies) representa el 15.7 % de las 267 especies reportadas por Velázquez-Velázquez *et al.* (2013) para el estado de Chiapas. Las familias mejor representadas fueron las Cichilidae y Poeciliidae este resultado coincide con otros estudios en la región (e.g Rodiles-Hernández *et al.*, 2005). Sin embargo los resultados de este estudio reafirman los resultados para la región del sur de México y Centro América en donde se ha documentado que los ensambles ícticos de peces dulceacuícolas son primordialmente dominados por estas dos familias (Matamoros *et al.*, 2012; Matamoros *et al.*, 2014)

Destaca la presencia de *X. clemenciae*, considerada en Peligro de Extinción de acuerdo la NOM-059-SEMARNAT-2010 y Amenazada de acuerdo a la AFS, la cual se adiciona al grupo de especies junto a *Priapella intermedia* y *Paraneetroplus regani*, que se consideraban endémicas a la cuenca del Coatzacoalcos. En este trabajo se reporta su registro para la REBISO, en la

cuenca del Grijalva; su presencia en esta cuenca podría servir de base para reconsiderar su estatus y asegurar la supervivencia de esta especie.

La regionalización propuesta por Lozano-Vilano y Contreras-Balderas (1987) para Chiapas en subprovincias ictiogeográficas, incluyeron a la zona de la REBISO y la presa Nezahualcóyotl dentro de la Subprovincia I (Sierra Atravesada o Tehuantepeca), considerándola con fauna poco distintiva, lo cual no concuerda con los resultados obtenidos en este estudio y hace evidente la falta de estudios en esta zona. La complejidad en la composición de especies de la región con componentes compartidos de la cuenca del Pacífico y del Coatzacoalcos, refuerza la hipótesis de una conexión reciente entre las tres cuencas (CONANP/SEMARNAT, 2000). En este trabajo al igual que González-Díaz *et al.* (2008) se apoya la teoría de que esta región pudo haber conectado a las dos vertientes (Atlántico y Pacífico) considerando los cambios que pudieron ocurrir en el plioceno, producto de la intensa actividad tectónica y volcánica (Johnson, 1989; Maldonado-Koerdell, 1964, González-Díaz *et al.* (2008)).

En la estructura del ensamblaje de peces *Astianax aeneus* fue la especie que presentó el IVI más alto (30.25 %) ya que fue la más numerosa (46.91 %), la más frecuente (14.79 %) y la de mayor biomasa (29.06 %), entre las características que destacan a esta especie se encuentra que tolera una amplia variedad de hábitats como ríos, arroyos, lagos y lagunas costeras, además es omnívoro, con alimentos muy diversos algas, semillas, hojas, insectos acuáticos y terrestres y peces pequeños de cualquier especie (Miller *et al.*, 2005).

De acuerdo a la variación espacial la riqueza, abundancia y diversidad, presentaron diferencias significativas, debido a que se incluyeron en el muestreo localidades en la parte alta de la reserva cuya riqueza promedio fue baja, por lo que se atribuyen a los factores regionales y locales que determinan la estructura del ensamblaje de acuerdo a lo que menciona Minns (1989). Temporalmente no presentaron variaciones significativas, sin embargo los valores más altos se registraron en temporada de lluvias, debido al aumento de nivel de agua en los ríos de la REBISO.

De acuerdo a los parámetros ambientales medidos en la REBISO, espacialmente presentaron diferencias significativas el amonio y el oxígeno disuelto, estos principalmente porque se contempló la localidad VIII, que corresponde a una laguna de pequeñas dimensiones, con gran cantidad de materia orgánica, que requiere del oxígeno disuelto del agua para degradar dicha materia. Temporalmente el nitrato y temperatura presentaron diferencias significativas, con valores más altos del primer parámetro en lluvias, al igual que el fosfato, considerando que la escorrentía ocasionada por la lluvia, trae consigo residuos de fertilizantes y otras sustancias empleadas en la agricultura que contienen fosfatos (Smith *et al.*, 1999) se eleva la concentración de ese parámetro en el agua.

La subregión hidrológica Medio Grijalva o Grijalva Tuxtla Gutiérrez, se localiza al suroeste de la región hidrológica número 30 Grijalva-Usumacinta, esta cuenca es considerada como una de las zonas ecológicas con más alta diversidad biológica (SEMARNAT, 2010), sin embargo sobre la cuenca del Grijalva se encuentran

diversas presas hidroeléctricas que han afectado a la diversidad de peces, principalmente en la distribución de algunas especies que tenían que hábitos migratorios, lo que concuerda con Lyons *et al.* (1998) quienes mencionan que existen factores que disminuyen las áreas de distribución de especies dulceacuícolas, tales como la fragmentación, el uso desmedido del agua, la destrucción del hábitat y la introducción de especies exóticas.

En el análisis de similitud efectuado se presentan tres grupos el primero conformado por el río Chiquito, presa La Angostura, Reserva Canelar y río Bombaná. El segundo apartado lo representa solamente el río Totopac. El tercer grupo lo conforman el Parque Nacional Cañón del Sumidero, la presa Malpaso, la REBISO y el río Grijalva sección Copainalá; áreas pertenecientes a la sub región Medio Grijalva. De particular interés resalta el río Bombaná incluido en el primer grupo a pesar que este río se encuentra separado por la central hidroeléctrica Chicoasén del resto, comparte especies que se encuentran en la reserva El Canelar, lo que concuerda con Domínguez-Domínguez *et al.* (2007), quien menciona que muchas especies de peces se han visto forzadas a vivir en poblaciones pequeñas y aisladas, en los pocos sitios donde se conservan condiciones favorables para su sobrevivencia, sin embargo dichas condiciones las hace más susceptibles a ser afectadas por la pérdida de variabilidad genética (Domínguez-Domínguez *et al.* 2007) y eventos ambientales adversos (Soto-Galera *et al.* 1998, Orbe *et al.* 2002).

La cuantificación de la integridad biótica se logra sumando varios atributos medibles de una comunidad biológica, que estiman su estructura, composición y

funcionamiento (Miller *et al.* 1988, Weigel *et al.* 2002). Estos atributos son analizados en un conjunto de sitios organizados en un gradiente de mayor a menor impacto humano, creando un índice de atributos biológicos que reflejan la condición ambiental para cada sitio. Por lo que es muy importante contar con un estudio de línea base de información que nos permita conocer en qué condiciones se encuentra el área que será evaluada, ya que en esta cuenca se presentan comunidades de peces de estructura compleja que son afectadas por numerosas actividades antropogénicas, que sus efectos pueden ser evaluados mediante el diseño del Índice de Integridad Biótica (Mathuriau *et al.*, 2011). De particular interés la REBISO posee una gran diversidad biológica, por lo que es importante conocer el estado de salud de sus ecosistemas y la funcionalidad que tienen, para los peces desempeña un papel esencial al convertirse en un área de protección crianza y reproducción de muchas especies, que se ven amenazadas por la pesca desarrollada principalmente por sociedades cooperativas de más de 200 miembros, en el embalse de Malpaso.

## **10. CONCLUSIONES**

La riqueza de la REBISO está representada por 42 especies, comprendidas en 14 familias; de las cuales siete especies de peces están bajo alguna categoría de riesgo según la NOM-059-ECOL-2010, la Lista Roja de la IUCN y la American Fisheries Society (AFS), y cuatro especies son exóticas. Las familias Cichlidae y Poeciliidae son las mejores representadas. Con base en su afinidad ecológica

siete son dulceacuícolas primarios, 26 dulceacuícola secundario y nueve al conjunto periférico (vicario).

*Astianax aeneus* es la especie dominante con base en términos de valor de importancia relativa (IVIr); mientras que *Potamarius nelsoni* y *Xiphophorus helleri*, presentaron los valores más bajos del IVIr.

La riqueza, abundancia y diversidad, presentaron diferencias espaciales por la diversidad topográfica que existe en la REBISO, mismos que determinan la estructura del ensamblaje de peces. Temporalmente estos parámetros no tuvieron diferencias significativas sin embargo los valores más altos se registraron en temporada de lluvias.

De acuerdo al oxígeno disuelto se propone una clasificación de la calidad de hábitat; alta, media y baja, encontrándose 13 altas, una media y una baja.

Considerando los tres atributos básicos de las comunidades de peces: riqueza y composición de especies, estructura trófica, y condición y abundancia de los peces, se propone una guía base a partir de los resultados del análisis del ensamblaje de estos que incluyen una clasificación de acuerdo a su origen, posición típica en la columna de agua, tolerancia a la degradación ambiental, hábitos alimenticios, modo de reproducción así como una serie de atributos, que se sugieren deberán ser evaluados para analizar la salud general de estos ecosistemas.

## 11. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Allen, R.G y D.R. Robertson. 1998. Peces del Pacífico Oriental tropical. 2ª. ed. CONABIO/ AGRUPACIÓN SIERRA MADRE/ CEMEX. México. 327 pp.
- Álvarez, D. J. 1970. Peces mexicanos, Comisión Nacional Consultiva de Pesca. México. CONAPESCA...México D.F. 166 pp
- Angermeier, L.P., R.A. Smogor y J.R. Stauffer. 2000. Regional frameworks and candidate metrics for assessing biotic integrity in Mid-Atlantic Highland Streams. *Trans. Am. Fish. Soc.* 129: 962-981.
- Brower, J.E. y J.H. Zar. 1977. Field and Laboratory Methods for General Ecology. Wm. C. Brown, Dubuque, 194p.
- Castro-Aguirre, J. L., H. S. Espinoza-Pérez, y J. J. Schmitter-Soto. 1999. *ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México*. Editorial Limusa / Instituto Politécnico Nacional, México. D.F. 711 pp.
- CONABIO.2008. [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp\\_085.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_085.html)
- CONANP/SEMARNAT. 2000. Programa de Manejo de la Reserva de La Biosfera Selva El Ocote. México. 220 pp.
- Contreras-Balderas, S., R.J. Edwards, M.L. Lozano-Vilano y Ma. E. García-Ramirez. 2002. Fish biodiversity changes in the Lower Rio Grande/Rio Bravo, 1953-1996. *Rev. Fish Biol. Fish.* 12:219-240.
- Cuarón, O. A. D. 1991. *Conservación de los primates y sus hábitats en el sur de México*. Tesis de maestría. Sistema de estudios de postgrado. Universidad Nacional Heredia, Cota Rica. 113 pp.

- Daniels, A.R., K. Riva-Murray, D.B. Halliwell, L. D. Vana-Miller y M. D. Bilger. 2002. An Index of Biological Integrity for Northern Mid-Atlantic Slope Drainages. *Trans. Am. Fish. Soc.* 131: 1044-1060.
- De la Lanza-Espino G., S. Hernández Pulido y J. L. Carbajal-Pérez. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y la contaminación (Bioindicadores). Plaza y Valdez S.A. de C.V. México D.F. 639 pp.
- Deegan, L.A., J. Finn, S.G. Ayvazian, C.A. Ryder-Kieffer y J. Buonaccosi. 1997. Development and validation of an estuarine biotic integrity index. *Estuaries* 20: 601-617.
- Domínguez-Domínguez, O., L. Boto, F. Alda, G.P. Pérez-Ponce de León & I. Doadrio. 2007. Human impacts on drainages of the Mesa Central, Mexico, and its genetic effects on an endangered fish, *Zoogoneticus quitzeoensis*. *Conservat. Biol.* 21: 168-180.
- Elliott, M.A., K.A. Whitfield, I.C. Potter, S.J.M., Blaber, D.P. Cyrus, F.G. Nordlie y T.D. Harrison. 2007. The guild approach to categorizing estuarine fish assemblages: a global review. *Fish Fish.* 8:241-268.
- Eschmeyer, W.N. y Fricke, R. (eds.). 2011. Catalog of Fishes electronic version (30 September 2011).
- Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter y V.H. Niem. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Vol. II y III.
- Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2007. FishBase. World Wide Web electronic publication. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org), version (10/2007).

- González D. A., R. M. Quiñones, M. J. Velásquez y R. Rodiles-Hernández. 2008. Fishes of La Venta River in Chiapas, Mexico. *Zootaxa* 1685: 47-54  
[www.mapress.com/zootaxa/](http://www.mapress.com/zootaxa/)  
[http://research.calacademy.org/research/lchthyology/catalog/fishcatmain.as  
p](http://research.calacademy.org/research/lchthyology/catalog/fishcatmain.asp)
- IUCN 2012. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.1.  
<http://www.iucnredlist.org>. Downloaded on 19 June 2012.
- Johnson J.D. 1989. A biogeographic analysis of the herpetofauna of northwestern Nuclear Central America. Milwaukee Public Museum. Contributions in Biology and Geology. 76. 1-66.
- Karr, R.J. 1981. Assessment of Biotic Integrity using fish communities. *Fisheries* 6(6):21-27.
- Karr, R.J. 1987. Biological Monitoring and Environmental Assessment: a Conceptual Framework. *Environmental Management* 11(2): 249-256.
- Karr, R.J., P.R. Yant, K.D. Fausch y I.J. Schlosser. 1987. Spatial and temporal variability of index of biotic integrity in three midwestern streams. *Trans. Am. Fish. Soc.* 116: 1-11.
- Lozano, V. M. y Contreras, B. S. 1987. *Lista Zoogeográfica y ecológica de la Ictiofauna continental de Chiapas, México*. The Southwestern Naturalist 32(2): 223-236.
- Lyons, J., G. González-Hernández, E. Soto-Galera & M. Guzmán-Arroyo. 1998. Decline of freshwater fishes and fisheries in selected drainages of best-central México. *Fisheries* 23: 10-18.

- Lyons, J., R.R. Piette y K.W. Niermeyer. 2001. Development, Validation, and application of a fish-based Index of Biotic Integrity for Wisconsin's large Warmwater Rivers. *Trans. Am. Fish. Soc.* 130: 1077-1094.
- Lyons, J., S. Navarro-Pérez, P. Cochran, E. Santana y M. Guzmán-Arroyo. 1995. Index of biotic integrity based on fish assemblages for the conservation of streams and rivers in west central Mexico. *Cons. Biol.* 9(3): 569-584.
- Magurran, A.E. 1989. Diversidad ecológica y su medición. Ediciones Vedra, Barcelona, España. 200 pp.
- Maldonado-Koerdell M. 1964. Geohistory and paleogeography of middle America. In: wauchope, R.y West R.C. (Eds). Handbook of middle American Indians, Vol. 1. Natural Enviroment and Early Cultures. University Texas press. Austin, pp. 3-12.
- Matamoros W.A., C D. McMahan, Prosanta Chakrabarty, James S. Albert and Jacob F. Schaefer. 2014. Derivation of the freshwater fish fauna of Central America. *Cladistics*. DOI: 10.1111/cla. 12081.
- Matamoros, W. A., B. Kreiser and J. Schaefer. 2012. A delineation of Nuclear Middle America biogeographical provinces based on river basin faunistic similarities. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 22: 351-365.
- Mathuriau, C., N. Mercado-Silva, J. Lyons & L.M. Martínez-Rivera. 2011. Fish and Macroinvertebrates as Freshwater Ecosystem Bioindicators in Mexico: Current State and Perspectives. *HESP* 7: 251-261.
- Mercado-Silva, N., J. Lyons, G. Salgado y M. Medina. 2002. Validation of fish-based index biotic integrity for streams and rivers of central Mexico. *Rev. Fish Biol. Fish.* 123:179-191.

- Mercado-Silva, N., J. Lyons, y S. Contreras-Balderas. 2006. Mexican Fish-Based Indices of Biotic Integrity, their use in the conservation of freshwater resources. *In* Lozano-Vilano y A. Contreras-Balderas (eds). Studies of North American desert fishes in honor of E.P. (Phil) Pister, conservationist. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. 208 pp.
- Miller, L.D., M.P. Leonard, M.R. Hughes, R.J. Karr, B.P. Moyle, H.L. Schrader, A.B. Thompson, A.R. Daniels, D.K. Fausch, A.G. Fitzhugh, R.J. Gammon, B.D. Halliwell, L.P. Angermeier & J.D. Orth. 1988. Regional applications of an index of biotic integrity for use in water resource management. *Fisheries* 13: 12-20.
- Miller, R. R. 1966. Geographical Distribution of Central America Freshwater Fishes. *Copeia*. 4:777-802.
- Miller, R. R. 2005. Freshwater Fishes of México. University of Chicago. United States of America. 490 Pp.
- Minns, K.C. 1989. Factors affecting species richness in Ontario Lakes. *Trans. Am. Fish. Soc.* 118: 533-545.
- Moyle, B. P. y R. A. Leidy. 1992. Loss of biodiversity in aquatic ecosystems: evidence from fish faunas. In: Fiedler y Jain (eds.). Conservation biology. The theory and practice of Nature Conservation Preservation and Management. Chapman & Hall, Londres. Pp. 127-169.
- Myers GS. 1938. Fresh-water fishes and West Indian zoogeography. *Smiths. Rept.* (1937) 339-364
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the world. 3rd ed. New York, John Wiley y Sons. 600 pp.

- Orbe, M.A.A., J. Acevedo G. & J. Lyons. 2002. Lake Patzcuaro fishery management plan. *Rev. Fish Biol. Fish.* 12: 207-217.
- P. A. Herdenson y Seaby M. H. 2002. Species and Diversity and Richness 3.03. Pisces Conservation Ltd. IRC. House, Pennington, Lymington, SO 41 8 GN, UK
- Pérez M. R., R. Pineda L. y M. Medina N. 2007. Integridad biótica de ambientes acuáticos In: Sanchez O. M. Herzig, E. Peters, R. Márquez y L. Zambrano. (eds.), *Perspectivas sobre conservación de cosistemas acuáticos en México*. S y G editores, S.A de C.V. México D.F. p. 71-103.
- Rodiles-Hernández, R., A. A. González-Díaz y C. Chan-Sala. 2005. Lista de peces continentales de Chiapas, México. *Hidrobiológica* 15 (2 Especial): 245-253
- Sanchez O. 2007. Ecosistemas acuáticos: diversidad, procesos, problemática y conservación. In: Sanchez O. M. Herzig, E. Peters, R. Márquez y L. Zambrano. (eds.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. S y G editores, S.A de C.V. México D.F. p. 11-36.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de las subregiones hidrológicas Alto Grijalva, Medio Grijalva y Bajo Grijalva de la Región Hidrológica No. 30 Grijalva-Usumacinta. *Diario Oficial de la Federación*, 29 de abril de 2010.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies

- en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, 30 de diciembre, segunda sección:1-77.
- Smith, V.H., Tilman, G. D. y Nekola, J.C. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution* 100: 179-196.
- Sokal, R.R. y F. Rohlf. 1998. *Biometry: The principles and practice of statistic in biological research*. Freeman and Company, New York, USA. 887 p.
- Soto-Galera, E., E. Díaz-Pardo, E. López-López & J. Lyons. 1998. Fish as indicators of environmental quality in the Río Lerma Basin, México. *Aquat. Ecosys. Health Manag.* 1: 267-276.
- Velasco, C. R. 1976. *Los Peces de Agua dulce del Estado de Chiapas*. Ediciones del Gobierno del Estado de Chiapas. Edit. Progreso. S.A., México. 143 pp.
- Velázquez V. E. 2008. *Riqueza Taxonómica y Variación Espacio-temporal del Ensamblaje de peces, en el Sistema Estuarino-Lagunar Carretas-Pereyra en la Costa de Chiapas, México: hacia la evaluación de su integridad biótica*. Tesis de Doctorado, IPN. 113 p.
- Velázquez Velazquez E. y M.E. Vega Cendejas. 2004. Los peces como indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. *CONABIO. Biodiversitas* 57:12-15
- Velázquez-Velázquez, E., S. Contreras-Balderas, S. E. Domínguez-Cisneros y A. E. Gómez-González. 2013. Riqueza y diversidad de peces continentales. En: *La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)/Gobierno del Estado de Chiapas, México. Pp. 275-282

Weigel, B.M., L.J. Henne & L.M. Martínez-Rivera. 2002. Macroinvertebrate-based index of biotic integrity for protection of streams in west-central Mexico. J-NABS 21: 686-700.

Wootton, R.J. 1990. Ecology of the teleost fishes. Chapman y Hall. 404 pp.