



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

Variaciones temporales de la comunidad de peces en un humedal costero de Yucatán, mediante imágenes subacuáticas y técnicas tradicionales

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
(BIOLOGÍA MARINA)

PRESENTA:

DAVID ARTURO ESPINOSA MENDOZA

TUTOR PRINCIPAL:

DR. XAVIER CHIAPPA CARRARA

FACULTAD DE CIENCIAS; ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES - MÉRIDA

COMITÉ TUTOR:

DR. DANIEL ARCEO CARRANZA

FACULTAD DE CIENCIAS, UMDI, SISAL

DR. ERIK MOLINO MINERO RE

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATEMÁTICAS APLICADAS Y EN SISTEMAS

DRA. NIDIYARE HEVIA MONTIEL

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATEMÁTICAS APLICADAS Y EN SISTEMAS

DRA. MARIA EUGENIA VEGA CENDEJAS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS – MÉRIDA

SISAL, YUCATÁN, MAYO, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Variaciones temporales de la comunidad de peces en un humedal costero de Yucatán, mediante imágenes subacuáticas y técnicas tradicionales

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
(BIOLOGÍA MARINA)

PRESENTA:
DAVID ARTURO ESPINOSA MENDOZA

TUTOR PRINCIPAL:
DR. XAVIER CHIAPPA CARRARA
FACULTAD DE CIENCIAS; ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES - MÉRIDA

COMITÉ TUTOR:
DR. DANIEL ARCEO CARRANZA
FACULTAD DE CIENCIAS, UMDI, SISAL
DR. ERIK MOLINO MINERO RE
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATEMÁTICAS APLICADAS Y EN SISTEMAS
DRA. NIDIYARE HEVIA MONTIEL
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATEMÁTICAS APLICADAS Y EN SISTEMAS
DRA. MARIA EUGENIA VEGA CENDEJAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS – MÉRIDA

SISAL, YUCATÁN, 2019

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Programa de Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología (PCMyL).

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada.

A mi director de tesis Dr. Xavier Chiappa Carrara por la confianza, apoyo, buenos consejos y momentos agradables.

Al comité Tutor y Jurado Dr. Daniel Arceo Carranza, Dr. Erik Molino Minero Re, Dra. Nidiyare Hevia Montiel y Dra. María Eugenia Vega Cendejas por sus observaciones y aportaciones para este trabajo.

A la M. en C. Maribel Badillo Alemán por su apoyo en campo, laboratorio y por brindarme su amistad.

Al M. en C. Alfredo Gallardo Torres por el apoyo en la identificación taxonómica de los organismos.

A la Dra. Claudia Durruty por prestar las instalaciones que tiene a su cargo para realizar los experimentos.

A Don Zurdo, Don Marcial y Enrique Mex por su invaluable ayuda en campo.

A mi compañera de vida Elizabeth, por apoyarme, estar siempre a mi lado y por la gran ayuda en la elaboración de este trabajo.

A mis padres y hermano pilares fundamentales en mi vida, sin su apoyo difícilmente hubiese podido conseguir esta meta profesional.

A mis amigos del extinto Laboratorio de Ecología de Zonas Costeras y del Laboratorio de Biología de la Conservación César, Ale, Pili, Fernando y Pedro.

A mis amigos Sisaleños José, Yaxiri, Natalia, Xani, Luisa, Oscar, Gissela, Adriana, Mariana, Marcela, Miriam, Fer, Tonalí y Carlos. Con los que compartí momentos agradables en esta etapa de mi vida.

A mis amigos de siempre Sole, César, Arantza, Zaira, Oscar y Alicia

Dedicatorias

En memoria de Sergio Alatríste

Abuelo, maestro, consejero y compañero de aventuras. Gracias por enseñarme a disfrutar la vida a través del buceo.

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. MARCO TEORICO	5
2.1. Humedales.....	5
2.2. Petenes.....	6
3. ANTECEDENTES	8
3.1. Ictiofauna en petenes	8
3.2. Variabilidad diurna nocturna	8
3.3. Video subacuático	10
4. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	12
5. OBJETIVOS.....	12
5.1. General	12
5.2. Particulares.....	12
6. MATERIALES Y MÉTODO.....	13
6.1. Área de estudio.....	13
6.2. Muestreo biológico.....	15
6.3. Técnica de video subacuático	17
6.3.1. Calibración	17
6.4. Análisis de Datos	18
6.4.1. Revisión y análisis de videos	18
6.4.2. Condiciones hidrológicas	20
6.4.3. Comparación de los métodos de muestreo	20
6.4.4. Influencia ambiental sobre las asociaciones ícticas.....	22

7. RESULTADOS	24
7.1. Calibración del sistema.....	24
7.2. Condiciones hidrológicas.....	25
7.3. Comparación de los métodos de muestreo.....	31
7.3.1. Composición de especies.....	31
7.3.2. Estructura de la comunidad.....	36
7.3.3. Escalamiento multidimensional no métrico.....	41
7.4. Influencia ambiental sobre las asociaciones ícticas.....	53
8. DISCUSIÓN	56
9. CONCLUSIONES	65
10. TRABAJOS CITADOS	66
ANEXOS	75
ANEXO I: Procesamiento de video con MATLAB.....	75
Método.....	75
Conclusiones.....	77
ANEXO II. Valores de p resultantes de la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias significativas en los factores temporal y nictemeral de las variables ambientales. Diferencias significativas $p < 0.05$	78
ANEXO III: Representación gráfica del comportamiento nictémero de la abundancia numérica relativa (N, %) de peces por temporada y método.....	79
ANEXO IV. Valores de p resultantes del análisis de varianza por permutaciones (999 permutaciones) para evaluar diferencias significativas en los factores espacial y temporal de la Diversidad (H'), equidad (J') y Riqueza de peces. Diferencias significativas $p < 0.05$	85
ANEXO V. Resultados del análisis SIMPER.....	85
ANEXO VI: Resumen de resultados del análisis RDA por temporadas.....	92

ANEXO VII: Fichas taxonómicas de las especies que habitan en el petén los Makes, Yucatán	93
ANEXO VIII: Productos derivados de este trabajo	105
Participación en congresos	105

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA DE UN PETÉN.....	7
FIGURA 2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA BAJO JURISDICCIÓN ESTATAL DEL ESTADO DE YUCATÁN, RESERVA ESTATAL EL PALMAR. MODIFICADO DE CHABLÉ SANTOS.	13
FIGURA 3. PETÉN LOS MAKES EN LA RESERVA ESTATAL EL PALMAR, YUCATÁN.	15
FIGURA 4. MÉTODO TRADICIONAL A) COLOCACIÓN DE TRAMPAS PARA LA COLECTA DE PECES B) ORGANISMOS ANESTESIADOS CON ACEITE DE CLAVO C) OBTENCIÓN DE LONGITUD Y PESO DE LOS PECES D) REGISTRO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.....	16
FIGURA 5. SISTEMA PARA LA TOMA DE VIDEO. EL OBJETIVO DE LA CONFIGURACIÓN DE LA BASE PRESENTADA AQUÍ ES REDUCIR EL TAMAÑO Y EL PESO DE TAL MANERA QUE PUEDA GUARDARSE, TRANSPORTARSE Y ARMARSE FÁCILMENTE EN CAMPO.....	17
FIGURA 6. CUADRO DE VIDEO TOMADO EN EL PETÉN LOS MAKES CON EJEMPLOS DE PRESENCIA DE <i>BELONESOX BELIZANUS</i> , <i>ASTYANAX ALTIOR</i> Y <i>MAYAHEROS UROPTHALMUS</i>	19
FIGURA 7. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESAMIENTO DE VIDEO.....	19
FIGURA 8. CURVA DE ACUMULACIÓN DE ESPECIES DE PECES DETECTADAS UTILIZANDO VIDEO CÁMARAS.	24
FIGURA 9. VARIACIÓN TEMPORAL DE LAS VARIABLES AMBIENTALES EN EL PETÉN LOS MAKES. TEMPERATURA, OXÍGENO DISUELTO, pH Y PROFUNDIDAD.	26
FIGURA 10. VARIACIÓN NICTÉMERA DE LAS VARIABLES AMBIENTALES EN EL PETÉN LOS MAKES DURANTE LA TEMPORADA DE LLUVIAS. TEMPERATURA, OXÍGENO DISUELTO, pH Y PROFUNDIDAD.	27
FIGURA 11. VARIACIÓN NICTÉMERA DE LAS VARIABLES AMBIENTALES EN EL PETÉN LOS MAKES DURANTE LA TEMPORADA DE NORTES. TEMPERATURA, OXÍGENO DISUELTO, pH Y PROFUNDIDAD.	29

FIGURA 12. VARIACIÓN NICTÉMERA DE LAS VARIABLES AMBIENTALES EN EL PETÉN LOS MAKES DURANTE LA TEMPORADA DE SECAS. TEMPERATURA, OXÍGENO DISUELTOS, PH Y PROFUNDIDAD.	30
FIGURA 13. ABUNDANCIA NUMÉRICA RELATIVA (N. %) DE LAS ESPECIES OBTENIDAS UTILIZANDO TRAMPAS ÍCTICAS. EL NOMBRE DE LAS ESPECIES CORRESPONDE A LA PRIMERA LETRA DEL GÉNERO Y LAS TRES PRIMERAS DE LA ESPECIE.	32
FIGURA 14. ABUNDANCIA NUMÉRICA RELATIVA (N. %) DE LAS ESPECIES OBTENIDAS UTILIZANDO VIDEO CÁMARAS. EL NOMBRE DE LAS ESPECIES CORRESPONDE A LA PRIMERA LETRA DEL GÉNERO Y LAS TRES PRIMERAS DE LA ESPECIE.	32
FIGURA 15. VARIACIÓN TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA NUMÉRICA DE LAS ESPECIES DE PECES MÁS ABUNDANTES UTILIZANDO VIDEO Y TRAMPAS.	34
FIGURA 16. VARIACIÓN NICTÉMERA DE LA ABUNDANCIA NUMÉRICA DE LAS ESPECIES DE PECES MÁS ABUNDANTES UTILIZANDO VIDEO Y TRAMPAS.	36
FIGURA 17. VARIACIÓN TEMPORAL DE LA DIVERSIDAD (H'), EQUIDAD (J') Y RIQUEZA EN EL PETÉN LOS MAKES UTILIZANDO TRAMPAS (IZQUIERDA) Y CÁMARAS (DERECHA).	37
FIGURA 18. VARIACIÓN NICTÉMERA DE LA DIVERSIDAD (H'), EQUIDAD (J') Y RIQUEZA EN EL PETÉN LOS MAKES DURANTE LA TEMPORADA DE LLUVIAS UTILIZANDO TRAMPAS (IZQUIERDA) Y CÁMARAS (DERECHA).	38
FIGURA 19. VARIACIÓN NICTÉMERA DE LA DIVERSIDAD (H'), EQUIDAD (J') Y RIQUEZA EN EL PETÉN LOS MAKES DURANTE LA TEMPORADA DE NORTES UTILIZANDO TRAMPAS (IZQUIERDA) Y CÁMARAS (DERECHA).	39
FIGURA 20. VARIACIÓN NICTÉMERA DE LA DIVERSIDAD (H'), EQUIDAD (J') Y RIQUEZA EN EL PETÉN LOS MAKES DURANTE LA TEMPORADA DE SECAS UTILIZANDO TRAMPAS (IZQUIERDA) Y CÁMARAS (DERECHA).	40
FIGURA 21. GRÁFICO NMDS DE LA ABUNDANCIA DE PECES ENTRE MÉTODOS DE MUESTREO EN EL PETÉN LOS MAKES. STRESS 0.173	41
FIGURA 22. GRÁFICO NMDS DE LA ABUNDANCIA DE PECES ENTRE TEMPORADAS Y HORARIOS UTILIZANDO MÉTODOS TRADICIONALES DE MUESTREO EN EL PETÉN LOS MAKES. STRESS 0.196	43
FIGURA 23. GRÁFICO NMDS DE LA ABUNDANCIA DE PECES ENTRE TEMPORADA Y HORARIO UTILIZANDO LA TÉCNICA DE VIDEO EN EL PETÉN LOS MAKES. STRESS 0.086.	48
FIGURA 24. GRÁFICO OBTENIDO CON EL ANÁLISIS RDA DE LA ABUNDANCIA DE PECES Y VARIABLES AMBIENTALES REGISTRADAS EN LA TEMPORADA DE LLUVIAS. LAS FLECHAS ROJAS IDENTIFICA LAS VARIABLES CUANTITATIVAS. LAS ESPECIES ESTÁN REPRESENTADAS POR FLECHAS AZULES.	53

FIGURA 25. GRÁFICO OBTENIDO CON EL ANÁLISIS RDA DE LA ABUNDANCIA DE PECES Y VARIABLES AMBIENTALES REGISTRADAS EN LA TEMPORADA DE NORTES. LAS FLECHAS ROJAS IDENTIFICA LAS VARIABLES CUANTITATIVAS. LAS ESPECIES ESTÁN REPRESENTADAS POR FLECHAS AZULES.	54
FIGURA 26. GRÁFICO OBTENIDO CON EL ANÁLISIS RDA DE LA ABUNDANCIA DE PECES Y VARIABLES AMBIENTALES REGISTRADAS EN LA TEMPORADA DE SECAS. LAS FLECHAS ROJAS IDENTIFICA LAS VARIABLES CUANTITATIVAS. LAS ESPECIES ESTÁN REPRESENTADAS POR FLECHAS AZULES.	55
FIGURA 27. EXPERIMENTO PARA DETECTAR PECES EN UN AMBIENTE CONTROLADO A) FONDO BLANCO B) FONDO CON CAMUFLAJE.....	76
FIGURA 28. A) IMAGEN ORIGINAL. B) MÁSCARA DE PRIMER PLANO CALCULADA POR EL DETECTOR CON RUIDO. C) ELIMINACIÓN DEL RUIDO EN EL PRIMER PLANO. D) DETECCIÓN DE MOVIMIENTO ENCERRADO EN UN RECUADRO VERDE.....	77
FIGURA 29. COMPORTAMIENTO NICTÉMERO DE LA ABUNDANCIA DE PECES EN TEMPORADA DE LLUVIAS UTILIZANDO VIDEO CÁMARAS.	79
FIGURA 30. COMPORTAMIENTO NICTÉMERO DE LA ABUNDANCIA DE PECES EN TEMPORADA DE LLUVIAS UTILIZANDO TRAMPAS.	80
FIGURA 31. COMPORTAMIENTO NICTÉMERO DE LA ABUNDANCIA DE PECES EN TEMPORADA DE NORTES UTILIZANDO VIDEO CÁMARAS.	81
FIGURA 32. COMPORTAMIENTO NICTÉMERO DE LA ABUNDANCIA DE PECES EN TEMPORADA DE NORTES UTILIZANDO TRAMPAS.	82
FIGURA 33. COMPORTAMIENTO NICTÉMERO DE LA ABUNDANCIA DE PECES EN TEMPORADA DE SECAS UTILIZANDO VIDEO CÁMARAS.	83
FIGURA 34. COMPORTAMIENTO NICTÉMERO DE LA ABUNDANCIA DE PECES EN TEMPORADA DE SECAS UTILIZANDO TRAMPAS.	84

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. PRECISIÓN DE LA TÉCNICA DE VIDEO UTILIZANDO DIFERENTES TIEMPOS. TR – TIEMPO REAL, PC10S – PAUSA CADA 10 SEGUNDOS PC20S PAUSA CADA 20 SEGUNDOS PC30S PAUSA CADA 30 SEGUNDOS.	25
TABLA 2. ORDEN, FAMILIA, GÉNERO Y ESPECIE DE LOS PECES REGISTRADOS EN EL PETÉN LOS MAKES DURANTE EL ESTUDIO. ✓ = PRESENCIA. X = AUSENCIA.....	31

TABLA 3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SIMPER, DE CADA MÉTODO, OBTENIDOS A TRAVÉS DE VIDEO CÁMARAS Y TRAMPAS, SE MUESTRAN LAS ESPECIES QUE CONTRIBUYEN AL MENOS DEL 90 % DE LAS DIFERENCIAS ENTRE ESTOS GRUPOS.	42
TABLA 4. CONTRIBUCIÓN MEDIA A LA DISIMILITUD ENTRE MÉTODOS DE MUESTREO	42
TABLA 5. RESULTADOS COMPARATIVOS DEL ANÁLISIS ANOSIM, ENTRE TEMPORADAS Y HORARIOS USANDO TRAMPAS.	44
TABLA 6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SIMPER, DE CADA TEMPORADA, OBTENIDOS A TRAVÉS DE TRAMPAS SE MUESTRAN LAS ESPECIES QUE CONTRIBUYEN AL MENOS DEL 90 % DE LAS DIFERENCIAS ENTRE ESTOS GRUPOS.	44
TABLA 7. CONTRIBUCIÓN MEDIA A LA DISIMILITUD ENTRE TEMPORADAS UTILIZANDO TRAMPAS.	45
TABLA 8. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SIMPER, DE CADA HORARIO, OBTENIDOS A TRAVÉS DE TRAMPAS SE MUESTRAN LAS ESPECIES QUE CONTRIBUYEN AL MENOS DEL 90 % DE LAS DIFERENCIAS ENTRE ESTOS GRUPOS.	46
TABLA 9. CONTRIBUCIÓN MEDIA A LA DISIMILITUD ENTRE HORARIOS UTILIZANDO TRAMPAS.	47
TABLA 10. RESULTADOS COMPARATIVOS DEL ANÁLISIS ANOSIM, ENTRE TEMPORADAS Y HORARIOS USANDO TRAMPAS.	49
TABLA 11. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SIMPER, DE CADA TEMPORADA, OBTENIDOS A TRAVÉS DE VIDEO CÁMARAS SE MUESTRAN LAS ESPECIES QUE CONTRIBUYEN AL MENOS DEL 90 % DE LAS DIFERENCIAS ENTRE ESTOS GRUPOS.	49
TABLA 12. CONTRIBUCIÓN MEDIA A LA DISIMILITUD ENTRE TEMPORADAS UTILIZANDO VIDEO CÁMARAS.	50
TABLA 13. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SIMPER, DE CADA HORARIO, OBTENIDOS A TRAVÉS DE VIDEO CÁMARAS SE MUESTRAN LAS ESPECIES QUE CONTRIBUYEN AL MENOS DEL 90 % DE LAS DIFERENCIAS ENTRE ESTOS GRUPOS.	51
TABLA 14. CONTRIBUCIÓN MEDIA A LA DISIMILITUD ENTRE HORARIOS UTILIZANDO VIDEO CÁMARAS.	52

RESUMEN

Se estudiaron las variaciones nictémeras y estacionales de la comunidad de peces en un petén de la costa norte de Yucatán, México. Se realizaron observaciones cada dos meses durante un año a través del uso de cámaras de video subacuáticas y técnicas tradicionales de muestreo, con el objetivo de proponer cómo deben usarse las video cámaras para este tipo de estudios. Se describieron las variaciones hidrológicas, se compararon los métodos de muestreo, los cambios en la abundancia y diversidad de la ictiofauna y se discutieron sus asociaciones con los ciclos día-noche y las épocas climáticas características de la región. Los parámetros hidrológicos se registraron *in situ* para obtener su relación con la estructura de la comunidad. Los peces fueron recolectados con trampas ictiológicas de forma rectangular de 25 cm de ancho x 25 cm de alto y 45 cm de largo con malla de 3 mm, y con trampas ictiológicas con 6 aberturas de 100 cm de ancho x 30 cm de alto con un tamaño de malla de 3 mm, desplegadas por 15 minutos cada seis horas. La adquisición de los videos se llevó a cabo colocando cuatro cámaras GoPro® Hero 4 Black Edition HD, montadas sobre una base construida con tubos de PVC de 19 mm de diámetro con un diseño trapezoidal. Los videos fueron grabados durante sesenta minutos, cada seis horas. Los primeros 10 minutos se revisaron a velocidad normal y los siguientes 50 minutos se observaron mezclando velocidad normal y alta velocidad (x 1.5 o x 2). Los resultados muestran diferencias significativas en la matriz ambiental característica de cada época climática, pero no así entre las horas de día y de noche. En total se determinaron 12 especies pertenecientes a 4 familias. Se encontraron diferencias en la composición de las especies de peces entre métodos de muestreo. Con el uso de cámaras de video, se registraron 10 especies, las familias mejor representadas fueron Poeciliidae (4 especies) y Cichlidae (4 especies). Usando las trampas se registraron 8 especies. La mayor abundancia de individuos se registró en la época climática de “nortes”. Durante el ciclo nictémico se observaron diferencias entre el día y noche.

ABSTRACT

Nictemeral and seasonal variations of the fish community of a petén in the northern coast of Yucatán, México, were studied. Observations were made every two months for one year using underwater video cameras and traditional sampling techniques, with the aim of advising how video cameras should be used for this type of studies. Hydrological variations were described, sampling methods were compared, changes in the abundance and diversity of the fish fauna were compared, and their relationship with the day-night cycles and the climatic seasons characteristic of the region, were discussed. Hydrological parameters were recorded in situ to obtain their relationship with the community structure. Fish were collected with ichthyological traps of 25 cm wide x 25 cm high, and 45 cm long with 3 mm mesh size, and with ichthyological traps 100 cm wide x 30 cm high with a 3mm mesh size, with 6 openings, deployed for 15 min every six hours. The acquisition of the videos was carried out by placing four GoPro® Hero 4 Black Edition HD cameras, mounted on a base constructed with 19 mm diameter PVC tubes with a trapezoidal design. Videos were recorded for one hour, every six hours. The first 10 minutes were reviewed at normal speed and the next 50 minutes were observed mixing normal speed and high speed (x 1.5 or x 2 speed). Results show significant differences in the environmental matrix characteristic of each climate season, but not between day and night. A total of 12 species belonging to 4 families, were determined. Differences were found in the composition of fish species between sampling methods. With the use of video cameras, 10 species were recorded, the best represented families were Poeciliidae (4 species) and Cichlidae (4 species). Using the traps, 8 species were obtained. The greatest abundance was recorded in the northerly winds season. During the nycthemeral cycle, differences between day and night were observed.

1. INTRODUCCIÓN

La dinámica poblacional y comunitaria de los organismos está determinada por distintas características ambientales que varían en distintas escalas espacio-temporales, como respuesta a cambios de los factores físicos y químicos de su entorno, recursos básicos y la presencia de otras especies, como competidores y depredadores. Estos factores cambian cíclicamente, suave o abruptamente, lo que afecta la manera en la cual ocurren los cambios en la abundancia, distribución y reproducción de los organismos a lo largo del tiempo (Hewitt *et al.*, 2001).

Las poblaciones de peces muestran fluctuaciones a lo largo del año y en ciclos de 24 horas mismas que y están implícitas en sus historias de vida. La periodicidad diaria de la salida y puesta del sol, por ejemplo, afecta el comportamiento y la actividad de los peces. En este sentido, se pueden reconocer patrones a lo largo del día relacionados con la capacidad de los peces para detectar presas, evadir a los depredadores, agregarse o reproducirse, que tienden a variar en el ciclo diario de luz-oscuridad y existen especies con hábitos típicos diurnos, nocturnos y crepusculares (Moyle y Cech, 2000).

La obtención de datos sobre la presencia y abundancia de las especies ícticas durante los períodos nocturnos sigue dependiendo del uso de artes de pesca comerciales (Chiappa-Carrara *et al.*, 2016) u otros dispositivos tales como redes de arrastre de plancton o trampas de luz (Kough *et al.*, 2017). Asimismo, las capturas realizadas con este tipo de técnicas se usan para obtener información sobre la alimentación o el estado reproductor de las especies (Reubens *et al.*, 2014; Koenig *et al.*, 2016). Sin embargo, el uso de nuevas tecnologías de muestreo combinado con los métodos tradicionales es cada vez más común para estudiar la ecología de los peces (Reubens *et al.*, 2014). Por ejemplo, el uso de dispositivos de sonar multihaz de alta resolución (como el DIDSON y Aris) funcionan como cámaras acústicas que producen imágenes de vídeo de calidad para detectar peces en aguas oscuras o turbias (McCauley *et al.*, 2014). Con el advenimiento de hidrófonos se han estudiado los sonidos emitidos por los propios peces, mismos que pueden proporcionar pistas sobre los patrones nocturnos de actividad durante la noche o en aguas por debajo de la zona fótica (Koenig *et al.*, 2016).

Los sistemas de cámaras ópticas que se han utilizado para estudiar los peces en la oscuridad pueden alterar el comportamiento de los peces al iluminar el campo visual (Whitmarsh *et al.*, 2016). En fechas recientes, se ha sugerido que el uso de

cámaras capaces de grabar imágenes con luz roja, más allá del espectro visual de los peces, no impacta el comportamiento de estos organismos en ambientes oscuros (Whitmarsh *et al.*, 2016).

En este trabajo se estudiaron las variaciones nictémeras de la comunidad de peces que habita en un petén de la costa norte de Yucatán, comparando las observaciones obtenidas mediante el uso de cámaras de video subacuáticas y las técnicas tradicionales de muestreo basadas en el uso de artes de pesca.

2. MARCO TEORICO

2.1. Humedales

Existen diversas definiciones sobre los humedales en México, la definición oficial de humedal está en el artículo 3º, inciso XXX de la Ley de Aguas Nacionales (SARH, 1992): “zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénagas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas en donde el suelo es predominantemente hídrico y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos por la descarga natural de acuíferos”.

Cowardin *et al.* (1979) señalan que los humedales deben reunir tres características: 1) El suelo, al menos periódicamente, alberga hidrófitas; 2) Los suelos son hídricos no drenados, y 3) el sustrato está cubierto con agua somera o saturado por un intervalo anual, durante la estación de crecimiento de las plantas.

Los humedales proporcionan una gran variedad de servicios, lo cual los hace de gran importancia desde el punto de vista ecológico y socioeconómico (Batllori Sampedro, 2012):

Ecológicamente proveen hábitat, alimento y protección a una gran variedad de especies de animales como peces, aves, mamíferos, reptiles e invertebrados como camarones, cangrejos y moluscos en peligro o de importancia comercial. Los humedales funcionan además como “filtros” al remover el exceso de sedimentos, nutrientes y contaminantes que provienen de la cuenca asociada (extensión de tierra que drena dentro de un cuerpo de agua en particular como un río, lago, o humedal). De esta manera, los humedales proporcionan agua más limpia a sus habitantes, y a plantas y animales de ambientes adyacentes.

A nivel socio-económico los humedales son valorados por el uso directo e indirecto de sus recursos. Los bosques inundados por ejemplo, proporcionan leña, materiales de construcción y madera para la producción de carbón. También han sido utilizados por el ser humano como una fuente de alimento y plantas medicinales. Un uso indirecto, pero altamente reconocido de los humedales, es el papel que éstos ecosistemas juegan como criaderos para especies de peces de

importancia comercial. Además, poseen gran valor debido a que funcionan como protección contra tormentas, estabilizan la zona costera, controlan inundaciones y mejoran la calidad del agua.

México cuenta con 5.1 millones de hectáreas de humedales que se encuentran bajo algún esquema de protección y/o conservación incluyendo los sitios reconocidos por la Convención Internacional de Ramsar.

En la península de Yucatán, los humedales están fuertemente conectados con el sistema de lagunas costeras que dependen del aporte de las aguas subterráneas que desembocan en el mar para alimentar praderas de pastos marinos y formaciones coralinas. Aproximadamente 1,250,000 ha corresponden a humedales costeros con vegetación hidrófila, dentro de la que se agrupa a manglares, popales, tulares, petenes y vegetación de galería, entre otras (Berlanga, *et al.*, 2008). En Yucatán se presentan al menos cinco tipos de humedales: lacustres [aguadas, cenotes abiertos], subterráneos [cuevas, cavernas], palustre [asociado a pantanos, marismas y ciénagas], estuarino [marismas de marea y manglares] y marino [lagunas costeras, costas, pastos marinos y algas, arrecifes de coral] (López-Portillo *et al.*, 2010).

2.2. Petenes

El término petén proviene del vocablo maya “*pet*” que significa isla. Los petenes pueden definirse como islas naturales de vegetación arbórea (manglar y selva) inmersas en una matriz de vegetación inundable de ciénagas someras y pantanosas (Durán García, 1987). Generalmente los petenes se establecen en torno a afloramientos de agua dulce o salobre del manto freático, a través de los denominados cenotes o manantiales. Hoy día se sabe que el flujo de agua de los manantiales juega un papel fundamental en el funcionamiento de estas islas, por su continuo aporte de agua y nutrientes (Torres Trejo, 1993). El aspecto más conspicuo en relación con la presencia de los petenes es el cambio en la altura, composición y estructura de la vegetación (Figura 1), lo cual está asociado con la afluencia de agua proveniente del manto freático y con la elevación del terreno (Durán García, 1987).

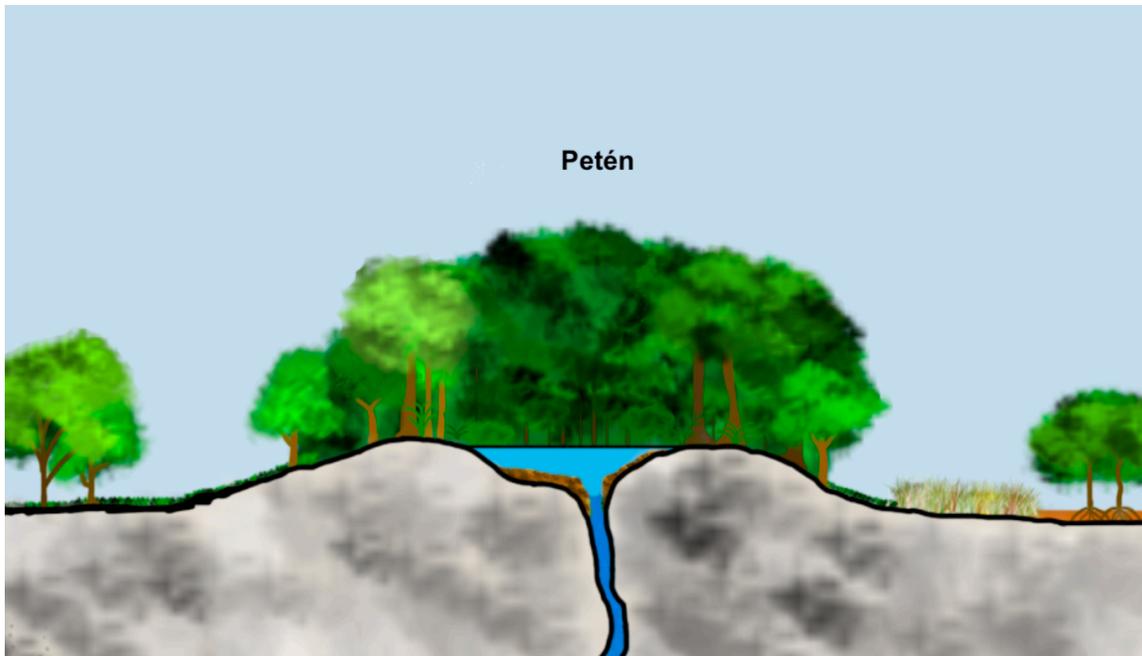


Figura 1. Esquema de un petén.

Es posible encontrar petenes circulares, ovoides, en forma de gota y amorfos, su tamaño varía y puede ser menor de una hectárea o mayor de 30 hectáreas (Torres Trejo, 1993; Villalobos-Zapata y Mendoza Vega, 2010). Los suelos en los petenes son orgánicos, profundos y se caracterizan por ser jóvenes y estar fuertemente saturados de agua, presentan una capa superficial muy rica en materia orgánica, producto de la descomposición de hojas, raíces y ramas, que descansa sobre una capa de marga formada a partir de caliza (Gleason, 1972).

Los petenes se distribuyen en todo el borde de la península de Yucatán, pero son particularmente abundantes en la porción centro-oriental de Quintana Roo y en el noroeste del estado de Campeche. Además, existen sistemas similares a estos en los Everglades de Florida denominados *hammocks*, y en la Ciénaga de Zapata, Cuba donde se les conoce como *mogotes* (Olmsted *et al.*, 1980).

En la Península de Yucatán el dosel de los petenes mide entre 15 y 18 m, algunos árboles pueden alcanzar hasta 20 m de altura. En su interior predominan las especies vegetales características de selvas y el estrato arbóreo está representado por especies como: tabche' (*Rhizophora mangle*), mangle negro (*Avicennia germinans*), tsakolkom (*Laguncularia racemosa*), chicle (*Manilkara zapota*), kopo' (*Ficus spp*), caoba (*Swietenia macrophylla*), makulis (*Tabebuia rosea*), palma real

(*Roystonea regia*), huano (*Sabal yapa*), chechem (*Metopium brownei*) y chakah (*Bursera simaruba*) (Durán García, 1987).

3. ANTECEDENTES

3.1. Ictiofauna en petenes

Los estudios realizados en petenes se han enfocado con más frecuencia hacia la vegetación y algunos elementos de la fauna, como las aves (Mas y Correa Sandoval, 2000) mientras que el componente acuático no se ha estudiado a detalle, a pesar de que los peces constituyen la macrofauna acuática más abundante y que además funcionan como reguladores energéticos a lo largo de la cadena trófica y como recicladores de nutrientes entre los diversos componentes del ecosistema (Ramos-Miranda *et al.*, 2009).

Algunos trabajos de referencia sobre la ictiofauna corresponden a ecosistemas adyacentes tal como lo reportado por Villalobos-Zapata (2004) que mencionó 68 especies de peces en la reserva de Los Petenes, pero sólo siete especies fueron de agua dulce. Asimismo Torres-Castro *et al.* (2009) comparan los petenes de Hampolol y el Remate, en términos de su calidad ambiental y fauna de peces reportando 23 especies de peces marinos y de agua dulce. Córdova-Tapia *et al.* (2016) reportaron 14 especies de peces en 11 petenes ubicados en la Reserva de la Biosfera de Sian ka'an.

Por otra parte Chumba-Segura y Barrientos Medina (2010) estimaron que en la Península de Yucatán habitan 23 especies nativas de peces de agua dulce, divididas en 14 géneros y 6 familias. Siendo las más representativas las familias Cichlidae y Poeciliidae, con 11 y 6 especies respectivamente.

3.2. Variabilidad diurna nocturna

Debido a que el ciclo nictémero de luz-oscuridad es una de las señales temporales más regulares en la Tierra (es la señal diaria más predecible), todos los vertebrados poseen mecanismos de cronometraje circadianos que determinan cambios fisiológicos y conductuales. Los ciclos diarios de actividad-descanso, locomoción y alimentación están regulados por la manera en que la información sensorial del ambiente influye en dichos mecanismos (Menaker, 1969). Por esta

razón, la composición de las comunidades de peces en un mismo sitio puede ser completamente distinta en el día y en la noche puesto que hay especies con hábitos típicamente diurnos, nocturnos y crepusculares (Moyle y Cech, 2000)

Históricamente, buena parte del conocimiento sobre los hábitos nocturnos de peces proviene de observaciones empíricas, como aquellas que realizan los pescadores. Por ejemplo, el poeta grecorromano Opiano de Anazarbo, que vivió en el segundo siglo d. C., describe que los pescadores llegaron a la conclusión de que el pez loro [*Sparisoma cretense* (Linnaeus 1758)] duerme por la noche debido a que nunca era capturado en las redes de pesca durante las horas de oscuridad (Mair, 1928).

La mayor parte de los estudios en los que se ha analizado la variabilidad de las comunidades de peces en ciclos de 24 horas se ha realizado en ecosistemas fríos, templados o profundos, principalmente relacionados con la descripción de la actividad trófica de las especies (Helfman, 1993). En los sistemas lagunares-estuarinos, particularmente en aquellos de zonas tropicales, los trabajos publicados son escasos aún considerando que juegan un papel clave en el ciclo de vida de muchas especies de peces, crustáceos, moluscos y otros grupos de organismos sirviendo como áreas de crianza, alimentación, y protección ante las condiciones adversas del medio ambiente (Castro-Aguirre *et al.*, 1999).

Respecto a los trabajos que consideran la variabilidad diurna-nocturna en comunidades de peces las referencias corresponden a Yáñez-Arancibia y Day (1982) que estudiaron las variaciones nictémeras (incluidas también variaciones estacionales) en la laguna de Términos, aunque en este estudio se consideraron muestreos nictémeros regulares (cada dos horas), desafortunadamente los muestreos estacionales fueron poco regulares en cuanto a su periodicidad, considerándose los meses de julio, octubre y diciembre de 1980, y abril, junio y julio de 1981. Otro trabajo que destaca en este sentido es el de Livingston (1976) en Florida, con muestreos nictémeros más o menos regulares (alrededor de cada cuatro horas), pero con una periodicidad estacional totalmente irregular, ya que sólo se muestreó durante diciembre de 1972, junio de 1973 y enero de 1974. Ross *et al.* (1987) en zonas costeras del Golfo de México, realizaron recolectas nictémeras regulares (cada cuatro horas), pero con una estacionalidad poco regular, durante julio, julio, octubre de 1978 y abril, mayo, junio de 1979. Stoner (1991) realizó muestreos nictémeros en Puerto Rico, recolectando peces en ocho períodos (una

hora antes, durante y una hora después del amanecer y anochecer, y a mediodía y a media noche), pero sólo en dos meses, febrero y julio de 1987. Castillo-Rivera *et al.* (2005) en la laguna de Pueblo Viejo en el estado de Veracruz, y Arceo-Carranza *et al.* (2010) para la laguna de Celestún en Yucatán, realizaron muestreos bimensuales durante un año, haciendo colectas nictemerales durante periodos diurnos, crepusculares y nocturnos.

3.3. Video subacuático

Históricamente, los estudios de campo de los peces de agua dulce han dependido principalmente de técnicas de muestreo basadas en métodos de captura, muchos de estos métodos implican la extracción de los organismos del medio con el fin de obtener resultados significativos y útiles. Algunos métodos de captura son destructivos, aunque pueden tener aplicaciones no destructivas; por ejemplo el etiquetado y liberación de los organismos (Kingsford y Battershill, 1998). El uso de métodos de captura tales como redes de arrastre y trampas está prohibido en Áreas Naturales Protegidas (Lipej *et al.*, 2003) y por lo tanto los métodos de observación como el uso de video subacuático son necesarios para los estudios sobre las asociaciones de peces.

Las cámaras de video son una herramienta importante para recolectar datos en ubicaciones remotas donde el buceo u otros medios de obtención de datos basados en la observación serían peligrosos o inviables.

Para la investigación pesquera, la videografía comenzó poco después de la introducción de la primera grabadora de video en 1951 (Bellis, 2004). Poco después, los científicos comenzaron a usar cámaras de video subacuáticas (aunque de gran tamaño) para estudiar el comportamiento de los peces, los organismos bentónicos y el plancton (Richard, 1968).

Las primeras unidades de cámara subacuática montadas en el fondo marino diseñadas por Kumpf y Lowenstein (1962) y Myrberg *et al.* (1969) se usaron para documentar la diversidad, abundancia y comportamiento de las especies (Steinberg *et al.*, 1965; Myrberg, *et al.*, 1969). Estos sistemas de cámara fueron considerados relativamente pequeños para su tiempo (midiendo 1 m de altura y 0.5 m de diámetro) y requerían una fuente de alimentación terrestre. Estas primeras unidades de video

submarinas no eran prácticas para uso generalizado en aplicaciones científicas pesqueras debido a su gran tamaño y alto costo.

Posteriormente durante la década de 1990 y principios de 2000, las cámaras de video digitales se usaban comúnmente en pesquerías e investigación acuática para evaluar el hábitat (Heithaus *et al.*, 2002), estimando el tamaño del pez (Costa *et al.*, 2006), caracterizando la estructura de ensamblaje comunitario (Cooke y Schreer, 2000), validando modelos de forrajeo, documentando el comportamiento de peces silvestres y peces cultivados (Heithaus *et al.*, 2002; Michael *et al.*, 2002; Hughes *et al.*, 2003). La tecnología de las cámaras también permitió que las investigaciones se llevaran a cabo en una variedad de condiciones que antes eran impensables, como bajo el hielo (Mueller *et al.*, 2006) o en ambientes de aguas profundas (De Leo *et al.*, 2010). A pesar de estos avances, las cámaras digitales aún tenían restricciones como una vida de batería corta, necesidad de carcasas personalizadas y tamaño engorroso, además de ser difíciles de usar en entornos de alta energía como por ejemplo oleaje y flujos de ríos.

Actualmente, los avances con la tecnología de imágenes y los innovadores sistemas mecánicos para el montaje de cámaras han dado lugar a las cámaras de acción (CA). Debido a su uso previsto en deportes recreativos activos, la mayoría de las cámaras de acción son "a prueba de golpes", diseñadas para resistir caídas desde alturas de bajo nivel o sacudidas constantes. Del mismo modo, muchas CA tienen baterías de iones de litio integradas y tarjetas de memoria de alta capacidad, que les permiten funcionar de forma autónoma (aunque a corto plazo). Como una ventaja adicional para la investigación acuática, muchas CA están equipadas con sistemas de alojamiento a prueba de agua capaces de soportar una presión considerable, haciendo que las CA sean aún más pequeñas y livianas.

Las cámaras de acción se han utilizado para evaluar cómo los peces y otros organismos interactúan con artes de pesca comerciales y recreativas. Otra aplicación común es en estudios que evalúan la abundancia de peces y la estructura de la comunidad en el mar (Harasti *et al.*, 2014) y ecosistemas de agua dulce (Weyl *et al.*, 2013).

4. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Una preocupación principal en la evaluación de las poblaciones de peces es lograr obtener datos de abundancia con precisión, al tiempo de reducir los efectos de manipulación adversos asociados con la toma de muestras. Existen muchos métodos tradicionales de muestreo para la evaluación de las poblaciones de peces que incluyen un variado conjunto de artes de pesca. Recientemente, las técnicas de captura de imágenes bajo el agua se han utilizado con éxito para estudiar las asociaciones de peces en el medio marino (Cappo *et al.*, 2007). En los sistemas arrecifales se realizan consuetudinariamente video transectos para obtener información sobre la biodiversidad y abundancias poblacionales. Estas técnicas de observación también permiten estudiar el comportamiento en condiciones naturales y se ha explorado poco la posibilidad de analizar los patrones de las asociaciones de peces entre los hábitats, así como los procesos de alimentación que pueden estar impulsando esos patrones. Este trabajo es de los primeros en utilizar estas metodologías no invasivas para obtener información sobre la composición específica y la abundancia de los peces que habitan en un petén de la costa norte de Yucatán.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Evaluar las diferencias en la estructura de la comunidad de peces dulceacuícolas en el humedal costero de Sisal, Yucatán, en ciclos de día/noche y estacionales y comparar los resultados obtenidos con métodos basados en la obtención de imágenes subacuáticas con las técnicas tradicionales de obtención de datos.

5.2. Particulares

- Determinar si existen diferencias en la estructura de la comunidad de los peces presentes en el petén Los Makes de Sisal, en escalas temporales diurnas y estacionales.
- En las imágenes, reconocer patrones para identificar las especies de peces y estimar el número de individuos de cada especie.
- Evaluar la precisión del análisis de imágenes subacuáticas para estimar la riqueza de especies y la abundancia relativa de peces en comparación con los métodos de captura tradicionales (artes de pesca).

6. MATERIALES Y MÉTODO

6.1. Área de estudio

La Reserva Estatal El Palmar (REP) se ubica en el Estado de Yucatán, México. Se encuentra al oriente de la ciudad de Mérida, colinda al norte con aguas del Golfo de México, al oeste con la Reserva de la Biosfera Ría Celestún y al este con terrenos del puerto de Sisal, municipio de Hunucmá (Figura 2). Tiene una extensión de 50,177.39 hectáreas, abarca una franja marina de 3 km de ancho y 45 km de línea de costa, la zona inundable es alimentada por lluvias, escurrimientos superficiales, descargas de agua y mareas. Sus coordenadas geográficas abarcan desde los 90°00'00" hasta los 90° 22' 30" W y desde 20° 55' 00" a 21° 11' 00" N (SEDUMA, 2006).

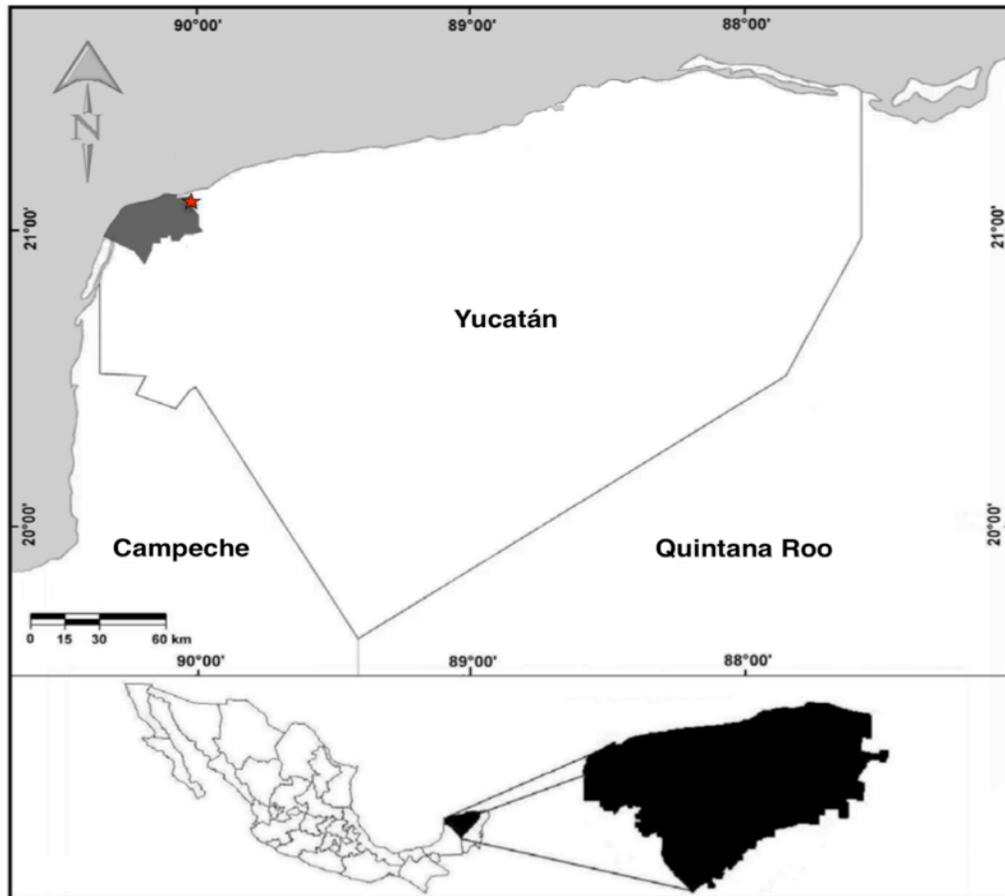


Figura 2. Ubicación geográfica del Área Natural Protegida bajo jurisdicción estatal del Estado de Yucatán, Reserva Estatal El Palmar. Modificado de Chablé Santos.

La REP es considerada una de las Áreas Naturales Protegidas mejor conservadas en el estado y mantiene ambientes característicos de la Península en adecuado estado de conservación, como resultado de su relativo aislamiento, ya que el acceso por tierra a través de la selva, desde los poblados más cercanos es prácticamente imposible, pues sólo existe una brecha que une a pequeños ranchos temporalmente ocupados. El camino que más se acerca a la reserva está separado de la costa por más de 13 km de selvas, manglares y pantanos incomunicados, condiciones poco apropiadas para el desarrollo de actividades agropecuarias. Las únicas actividades de importancia en el área son la pesca ribereña y la cacería cinegética de patos durante tres o cuatro meses del año. En ambos casos, éstas actividades se encuentran restringidas a la zona de costa y humedales costeros (Gobierno del estado de Yucatán, 2006). Se decretó como zona de conservación ecológica el 23 de enero de 1990 bajo la categoría de zona sujeta a conservación. Mediante el acuerdo modificadorio núm. 83, en el año 2003 fue declarada como humedal de importancia internacional Ramsar y el 14 de junio de 2006 se decretó como área natural protegida bajo categoría de Reserva Estatal (Echeverría García y Piña Herrera, 2003).

La zona se caracteriza por presentar tres temporadas climáticas: secas, lluvias y nortes (Sánchez-Santillán *et al.*, 2012). La temporada de secas es de marzo a mayo, presenta precipitaciones mínimas (0 a 30 mm) y las más altas temperaturas (36 a 38°C); la temporada de lluvias se presenta de junio a octubre, siendo septiembre el mes con mayor precipitación (125 mm promedio). La temporada de nortes, es durante los meses de noviembre a febrero, se caracteriza por gran influencia de vientos polares, acompañados por bajas presiones atmosféricas, bajas temperaturas y lluvias; la temperatura promedio es de 23°C y la precipitación de 40 mm.

Existen cuerpos de agua con vegetación, formados por la selva baja inundable, petenes y manglares que forman extensas cuencas palustres con entrada de agua salada mínima e inundación temporal; y cuerpos de agua sin vegetación, presentes por lo general en depresiones someras cercanas a la costa asociadas con esteros o áreas con una capacidad de drenaje muy baja (ciénaga baja y aguadas) y en depresiones profundas asociadas con el cinturón de cenotes, la inundación de estos cuerpos es perenne (SEDUMA, 2006).

Petén Los Makes

El trabajo de campo se realizó en el petén Los Makes, ubicado a 1.17 km al sur de Sisal ($21^{\circ} 9' 9.2''$ N, $90^{\circ} 1' 53.99''$ W). Presenta un ojo de agua permanente, el área del manantial principal se estima en 34 m^2 y la profundidad media es de 73 cm (Figura 3).



Figura 3. Petén los Makes en la Reserva Estatal el Palmar, Yucatán.

6.2. Muestreo biológico

En el petén los Makes se realizaron muestreos bimensuales a partir de mayo de 2017 hasta abril de 2018 para cubrir la variación estacional (secas, lluvias y nortes). Las recolectas se hicieron durante el amanecer (5:00 – 6:00), mediodía (12:00 – 13:00), atardecer (18:00 – 19:00) y noche (23:00 – 00:00).

La colecta de la ictiofauna se hizo utilizando trampas ictiológicas de forma rectangular de 25 cm de ancho x 25 cm de alto y 45 cm de largo con luz de malla de 3 mm y trampas ictiológicas hexagonales con 6 aberturas de 100 cm de ancho x 30 cm de alto con luz de malla de 3 mm, las cuales se colocaron por lapsos de 15 minutos, de acuerdo con el permiso de pesca de fomento autorizado por la SAGARPA (DGOPA.05112.230508). Simultáneamente a la captura de peces se registró la temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$, ± 0.5), la salinidad (UPS, ± 0.5), el pH (± 0.1), la concentración de oxígeno disuelto (mg/L, ± 0.5) y sólidos disueltos totales (TDS

mg/L, ± 0.5) con un multiparámetros Yellow Springs instrument (YSI) modelo 558, así como la profundidad (cm) con una palanca de madera graduada (Figura 4).

Los peces capturados en el primer muestreo fueron fijados con formol al 10% en frascos de plástico debidamente etiquetados para su identificación en laboratorio. Durante los muestreos posteriores los organismos capturados fueron anestesiados con una solución de aceite de clavo para tomar la longitud total (LT, mm ± 1), estándar (LE, mm ± 1), peso total (P, g ± 1) de cada individuo y fueron fotografiados en fresco para formar una base de datos de imágenes digitales.

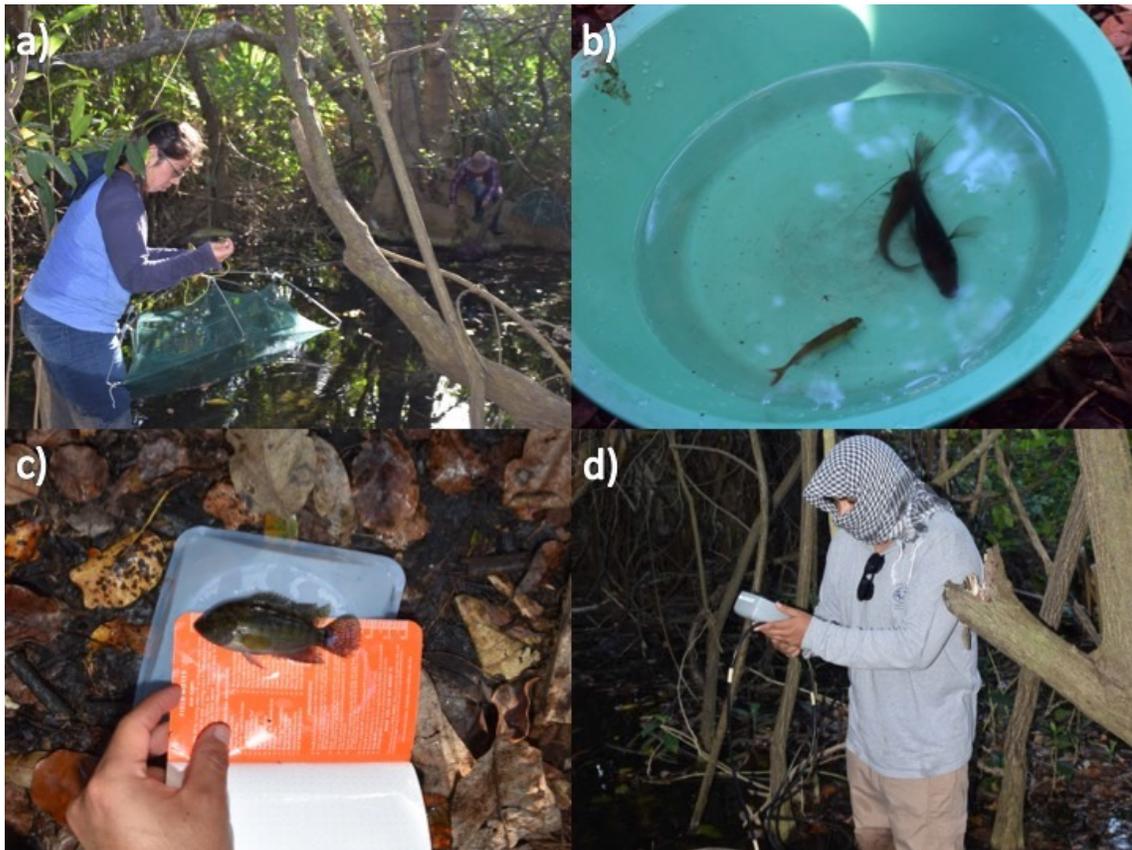


Figura 4. Método tradicional a) Colocación de trampas para la colecta de peces b) Organismos anestesiados con aceite de clavo c) obtención de longitud y peso de los peces d) Registro de los parámetros fisicoquímicos.

6.3. Técnica de video subacuático

La adquisición de los videos se llevó a cabo colocando cuatro cámaras GoPro® Hero 4 Black Edition HD, montadas en una base construida con tubos de PVC de 19 mm de diámetro con un diseño trapezoidal con perforaciones a lo largo de toda la estructura para evitar su flotabilidad (Figura 5). Para los muestreos nocturnos se utilizaron luces led sumergibles de la marca Knog Qudos de 400 lúmenes con un filtro rojo. El uso de cebo fue excluido de este estudio debido a la efectividad previamente establecida del video sin cebar para detectar ensambles de peces de agua dulce (Ebner y Morgan, 2013; King *et al.*, 2018).



Figura 5. Sistema para la toma de video. El objetivo de la configuración de la base presentada aquí es reducir el tamaño y el peso de tal manera que pueda guardarse, transportarse y armarse fácilmente en campo.

Las cuatro cámaras maximizaron la probabilidad de obtener imágenes de video sin obstrucción en al menos una cámara. Estas cámaras se eligieron en función del costo, calidad de imagen relativamente alta en condiciones de poca luz y tamaño pequeño. El video de alta definición se recopiló durante una hora por muestreo en un formato progresivo de 1080×1080 a 30 fotogramas por segundo.

6.3.1. Calibración

Se realizaron dos experimentos, el primero para determinar la duración óptima de despliegue de las cámaras y el segundo para conocer la precisión del método.

La duración óptima del despliegue del sistema de video se determinó de dos maneras. En primer lugar, se tomó aleatoriamente un video por muestreo y se construyeron curvas de acumulación de especies. La duración óptima del despliegue equivale al tiempo en el cual no se acumuló ninguna especie adicional.

Para el segundo análisis, se realizó un experimento en un ambiente controlado. Se colocaron un total de 70 peces de cuatro especies diferentes en un tanque de 350 litros y se grabó a los organismos durante 60 minutos. Posteriormente con la ayuda de 10 personas con conocimientos en ictiología, observaron individualmente el video durante 10 minutos en tiempo real, después haciendo observaciones en intervalos de 10, 20 y 30 segundos. En cada una de las pruebas contabilizaron e identificaron a las especies observadas.

Para calcular la precisión se utilizó la desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

6.4. Análisis de Datos

6.4.1. Revisión y análisis de videos

La revisión de videos se hizo en una computadora portátil Mac (www.apple.com) usando el programa QuickTime Player, para la observación se descartaron los 5 minutos iniciales debido a que al momento de colocar las cámaras el sedimento fue removido y los peces se alejaban del objetivo de la cámara. Posterior a esto se revisaron 10 minutos del video haciendo pausas cada 20 segundos, en cada intervalo se identificó a los peces por especie y se contabilizaron (Figura 6). El tiempo restante de video se visualizó en tiempo real y en avance rápido (x 1.5 ó x 2 veces la velocidad real) para saber si se registraban especies nuevas. Una sola persona observó los videos, excepto cuando las identificaciones fueron difíciles, en cuyo caso se buscó un consenso.

Además se realizaron pruebas computacionales para la automatización en el procesamiento de los videos subacuáticos con MATLAB (ANEXO I), utilizando técnicas adecuadas de procesamiento y análisis de imágenes como mejora de contraste, eliminación de ruido y detección del fondo (Figura 7).



Figura 6. Cuadro de video tomado en el petén los Makes con ejemplos de presencia de *Belonesox belizanus*, *Astyanax altior* y *Mayaberos urophthalmus*.

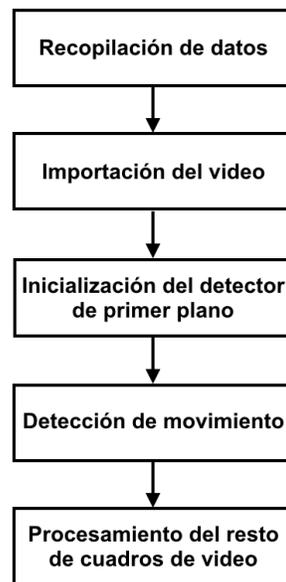


Figura 7. Diagrama de flujo del procesamiento de video.

6.4.2. Condiciones hidrológicas

El comportamiento de las variables ambientales se analizó agrupando los datos por temporada y horario, para ello se aplicaron pruebas estadísticas de normalidad (W de Shapiro-Wilk) y comparaciones paramétricas (ANOVA) o no paramétricas (Kruskal-Wallis) según fuera el caso. Estos procedimientos se realizaron con ayuda del programa R Studio.

6.4.3. Comparación de los métodos de muestreo

Se hizo una comparación directa entre las detecciones de especies obtenidas a través del método de muestreo tradicional de peces versus la técnica de video subacuático. Para evitar un sesgo entre los dos métodos en campo se tomó un período de al menos 5 minutos entre muestreos consecutivos para permitir que los peces se recuperaran de cualquier perturbación causada por el método de muestreo anterior.

Teniendo en cuenta esto, se realizaron comparaciones de diversos parámetros comunitarios como riqueza, diversidad y equidad.

6.4.3.1. COMPOSICIÓN DE ESPECIES

Los peces fueron identificados hasta especie de acuerdo con las claves taxonómicas de Jordan y Evermann (1896-1900), Bohlke y Chaplin (1968), Shipp (1974), Schmitter- Soto (1998) y Castro-Aguirre *et al.* (1999).

La abundancia se determinó con base en el conteo de los individuos de la muestra representativa por cada método (trampas y cámaras). La abundancia se refirió al total de organismos detectados por método, estas abundancias se manejaron como valores relativos.

6.4.3.2. ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD

Riqueza Para el cálculo de la riqueza específica como componente de la diversidad, se empleó el índice de Margalef (1969), el cual transforma el número de especies por muestra a una proporción de las especies añadidas por expansión de la muestra, y se calculó con la siguiente expresión:

$$D = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Donde:

S = número de especies.

N= número de individuos.

Diversidad Se consideró el número y la proporción de individuos por especie en cada uno de los muestreos. Para su estimación se utilizó la expresión matemática propuesta por Shannon y Weaver (1983).

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Donde:

H' = diversidad de especies.

S = número de especies

p_i = número total de individuos de cada especie en una muestra.

Equidad de Pielou (1966), mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada.

$$J' = \frac{H'}{H_{max}}$$

6.4.3.3. ESCALAMIENTO MULTIDIMENSIONAL NO MÉTRICO

Se estimó el índice de disimilitud de Bray-Curtis con el fin de observar la variación en la composición de especies utilizando como factores el método de captura de las especies, las temporadas y horarios.

El índice de Bray-Curtis se calculó con la matriz de abundancias transformadas por su raíz cuarta, lo que disminuye la influencia de las especies abundantes. Con la matriz de Bray-Curtis se generó un gráfico de Escalamiento Multidimensional no métrico (nMDS) en el que se representó la mejor relación entre las muestras de la matriz de disimilitud. Después de esto se realizaron pruebas para los casos donde se evidenció significancia estadística.

Para establecer diferencias significativas entre las muestras se efectuó el Análisis de Similitud no paramétrico (ANOSIM) de una vía, el cual se basa en un procedimiento de permutación no paramétrico, aplicado a un rango de la matriz de similitud en la ordenación de muestras. Considera un criterio general de asignación al azar en la generación de niveles de significancia (Prueba de Monte Carlo). Este análisis produce niveles de disimilitud (R) que oscilan entre -1 y 1. Sin embargo en análisis de comunidades biológicas rara vez se encuentra un R menor a 0. Si el valor de R es cercano a 0 no existen diferencias entre los grupos. Mientras si el valor de R es cercano a 1 existen diferencias en la composición comunitaria de los grupos. ANOSIM solamente indica diferencias en la composición de especies sin referencia a que especies causan dichas diferencias.

Por último, se utilizó el porcentaje de similitud (SIMPER), que realiza un análisis de similitud de porcentajes, para obtener la contribución de las especies a la similitud encontrada al interior del grupo y la disimilitud entre los grupos. Este método se basa en el análisis de matrices de similitud y disimilitud de Bray-Curtis. Esta técnica permitió ver la contribución de las especies a la disimilitud promedio entre los métodos de captura, temporadas y horarios.

Para realizar el nMDS, ANOSIM y SIMPER se utilizó el software PRIMER v6 (Anderson *et al.*, 2008).

6.4.4. Influencia ambiental sobre las asociaciones ícticas

Para describir el comportamiento observado entre las abundancias de las especies y las variables ambientales se utilizó el análisis de redundancia canónica (RDA).

Previo al análisis RDA se realizó un análisis de correspondencia sin tendencia (DCA), para determinar la amplitud del gradiente. El RDA fue seleccionado entre otros modelos de análisis de gradientes porque asume una respuesta lineal de las

especies a la variación en el ambiente; éste es el método recomendado cuando el gradiente ecológico representado en los datos es “corto” (Legendre y Legendre, 1998). Este método de ordenación ayuda a revelar cómo las especies responden simultáneamente a múltiples factores ambientales y está diseñado para entender de manera simplificada los gradientes ambientales. Para realizar el DCA y el RDA se utilizó el software CANOCO 4.5 (ter Break y Smilauer, 2002).

7. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se encuentran estructurados comenzando con la calibración del sistema seguido por la descripción de las variables ambientales y por último la comparación de las observaciones derivadas de los dos métodos de muestreo.

7.1. Calibración del sistema

La duración óptima del despliegue del sistema de video se determinó a través de las curvas de acumulación, las cuales muestran que la mayoría (90 %) de las especies observadas en video se detectaron en los 10 minutos del despliegue (Figura 8).

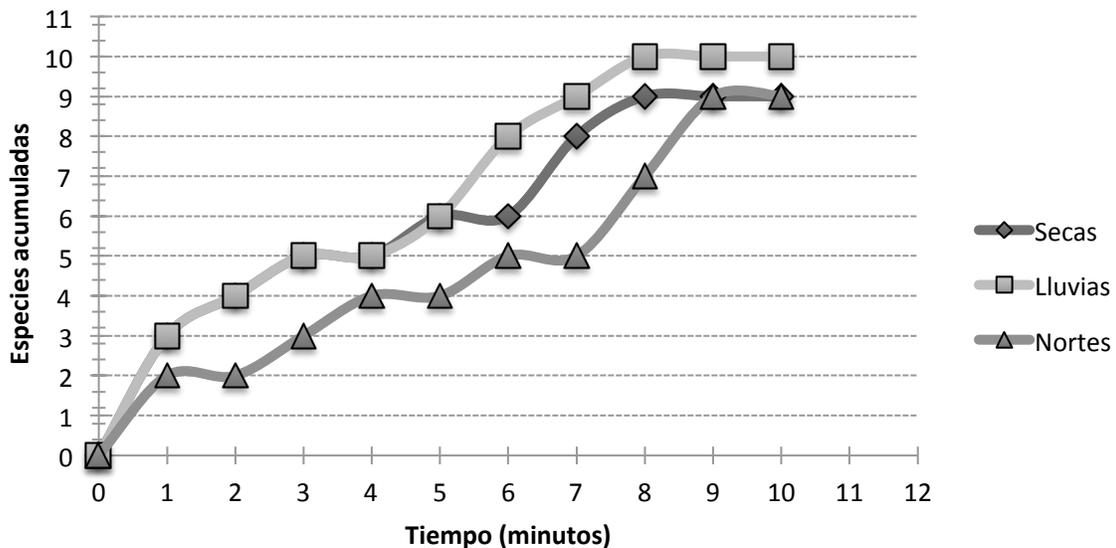


Figura 8. Curva de acumulación de especies de peces detectadas utilizando video cámaras.

Durante el análisis de la precisión del método los diez observadores registraron entre 132 y 317 individuos (ind) observando el video en tiempo real, de 91 a 114 ind haciendo intervalos cada 10 segundos, de 64 a 72 ind con intervalos cada 20 segundos y de 39 a 85 registros en intervalos cada 30 segundos (Tabla 1). Con las pausas cada 20 segundos se obtuvieron los conteos más precisos con una DS de 2.87.

Tabla 1. Precisión de la técnica de video utilizando diferentes tiempos. TR – tiempo real, PC10s – pausa cada 10 segundos PC20s pausa cada 20 segundos, PC30s pausa cada 30 segundos, DS – Desviación Estándar.

Observador	TR	PC10s	PC20s	PC30s
M1	198	103	70	85
M2	317	107	64	52
M3	215	91	68	55
M4	138	94	64	51
M5	132	106	66	48
M6	301	113	72	73
M7	283	106	65	45
M8	187	96	68	39
M9	139	105	71	65
M10	263	114	66	53
DS/Precisión	70.19	7.67	2.87	13.87

7.2. Condiciones hidrológicas

Temporalmente la temperatura mostró un aumento gradual de la temporada de nortes (24.04 °C) a la de lluvias (26.09 °C). Las concentraciones de oxígeno disuelto se incrementaron durante la época de nortes, mientras que disminuyeron en la temporada de secas. Los valores mínimos se presentaron en secas (0.83 mg / L) y el máximo en lluvias (8.45 mg / L). El pH del agua mostró mayor variación durante la época de lluvias, con valores que oscilaron entre 6.1 y 7.2; sin embargo, durante la temporada de nortes se registró el valor más alto (7.3). Finalmente la profundidad mostró menor variación durante la temporada de secas con valores que oscilaron entre 55 y 75 cm. Por otra parte, en la temporada de nortes se presentó la mayor variación con valores de 45 a 85 cm de profundidad. El valor mínimo de profundidad se registró en nortes con 48 cm y el máximo en lluvias con 87 cm (Figura 9).

Los resultados de la prueba de normalidad W de Shapiro-Wilk, para las variables ambientales agrupadas por temporada muestran que solo la temperatura presentó una distribución normal ($p > 0.05$) mientras que los valores de oxígeno disuelto, pH y profundidad no se distribuyen normalmente. Con base en estos resultados se decidió analizar los datos con técnicas no paramétricas agrupando los datos para hacer las comparaciones entre temporadas.

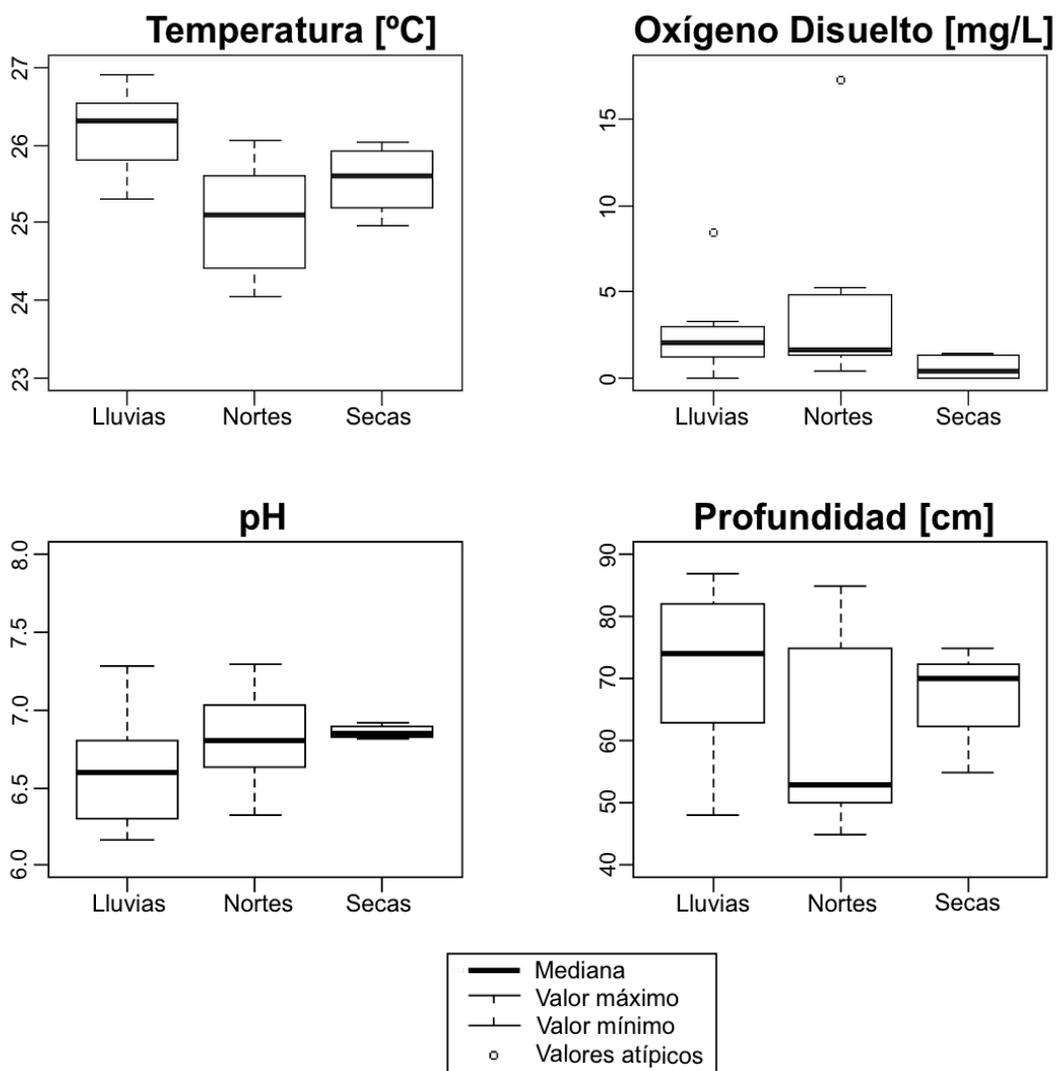


Figura 9. Variación temporal de las variables ambientales en el petén los Makes. Temperatura, Oxígeno disuelto, pH y Profundidad.

Lluvias Durante los ciclos nictemerales, la temperatura mostró un aumento gradual del amanecer (24.9 °C) al atardecer (26.9 °C). El oxígeno disuelto registró el valor máximo durante la tarde con 8.45 mg/L, mientras que al amanecer fue el valor mínimo con 0.88 mg/L. El valor promedio del pH mostró un aumento gradual del amanecer (6.16) al atardecer (7.28) y durante la noche comenzó a disminuir. Finalmente durante los ciclos nictémeros la profundidad máxima se registró durante el mediodía con 87 cm, mientras que durante la noche se registró la profundidad mínima en el petén con 48 cm (Figura 10).

Los resultados de la prueba de normalidad W de Shapiro-Wilk, para las

variables ambientales para la temporada de lluvias muestran que solo la profundidad presentó una distribución normal ($p > 0.05$) mientras que en el caso de la temperatura, oxígeno y pH se rechaza la hipótesis de normalidad. La comparación entre los horarios mediante la prueba de diferencia máxima de Kruskal-Wallis no permitió encontrar diferencias significativas ($p < 0.05$) para ninguna variable (ANEXO II).

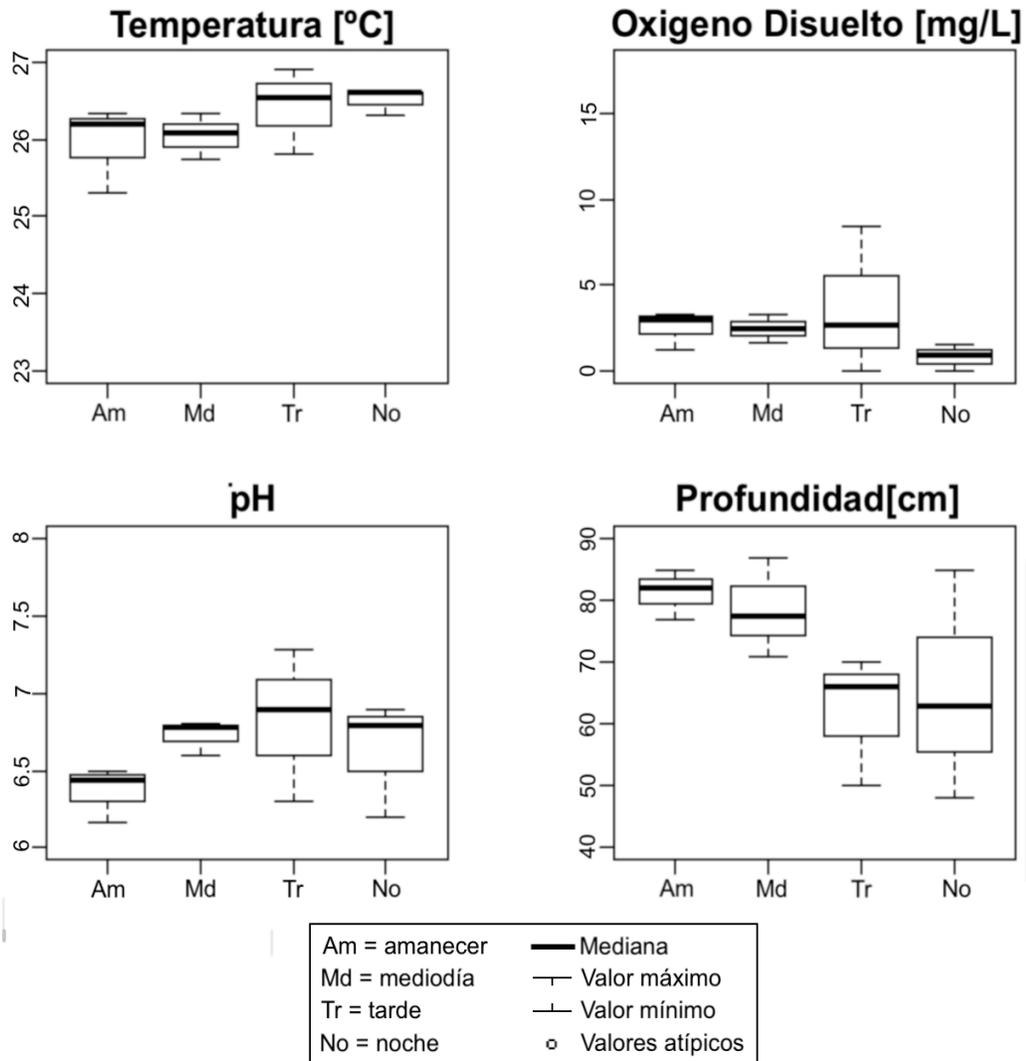


Figura 10. Variación nictémera de las variables ambientales en el petén los Makes durante la temporada de lluvias. Temperatura, Oxígeno disuelto, pH y Profundidad.

Nortes Durante los ciclos nictemerales, la temperatura mostró un aumento gradual del amanecer (24.04 °C) al atardecer (26.05 °C). El oxígeno disuelto registró

su valor máximo durante el mediodía con 17.3 mg/L, mientras que en la noche fue el valor mínimo con 0.38 mg/L. El valor promedio del pH mostró un aumento gradual del atardecer (6.32) al mediodía (7.3). Finalmente durante los ciclos nictémeros la profundidad máxima se registró durante el atardecer con 85 cm, mientras que durante el mediodía se registró la profundidad mínima en el petén con 45 cm (Figura 11).

Los resultados de la prueba de normalidad W de Shapiro-Wilk mostraron que la temperatura, oxígeno, pH y la profundidad rechazan la normalidad ($p > 0.05$). Haciendo la comparación entre los horarios mediante la prueba de diferencia máxima de Kruskal-Wallis no permitió encontrar diferencias significativas ($p < 0.05$) para ninguna variable (ANEXO II).

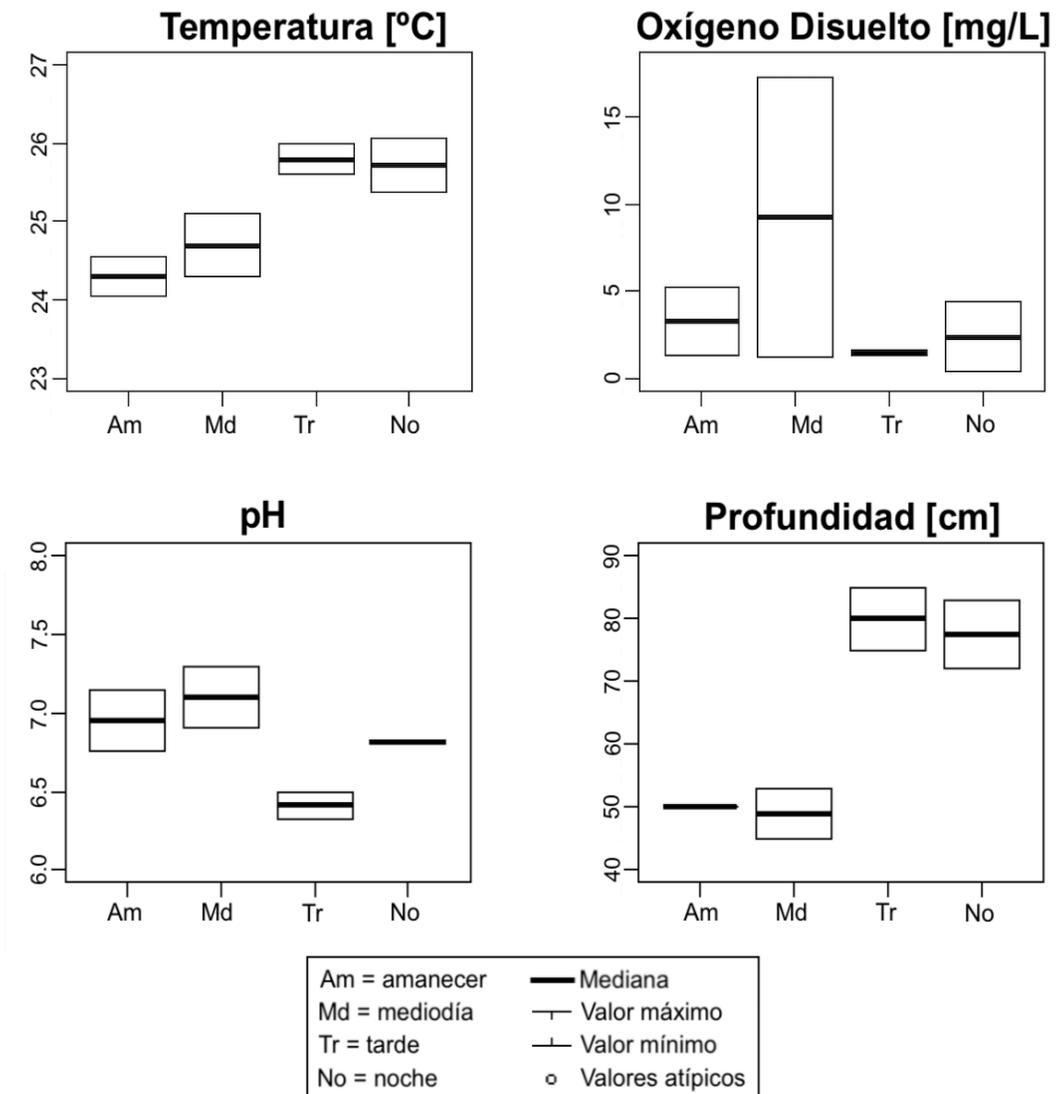


Figura 11. Variación nictémera de las variables ambientales en el petén los Makes durante la temporada de nortes. Temperatura, Oxígeno disuelto, pH y Profundidad.

Secas Durante los ciclos nictemerales, la temperatura mostró un aumento gradual del amanecer (24.9 °C) al atardecer (26.03 °C). El oxígeno disuelto registró el valor máximo al mediodía con 1.39 mg/L, mientras que al amanecer fue el valor mínimo con 1.24 mg/L. El pH mostró su valor máximo durante el mediodía y el mínimo al atardecer. Finalmente durante los ciclos nictémeros la profundidad máxima se registró durante la tarde con 75 cm, mientras que durante el amanecer se registró la profundidad mínima en el petén con 48 cm (Figura 12).

Los prueba de normalidad W de Shapiro-Wilk muestran que la temperatura,

oxígeno, pH y la profundidad rechazan la normalidad ($p > 0.05$). La prueba Kruskal Wallis no permitió encontrar diferencias significativas ($p < 0.05$) para las variables (ANEXO II).

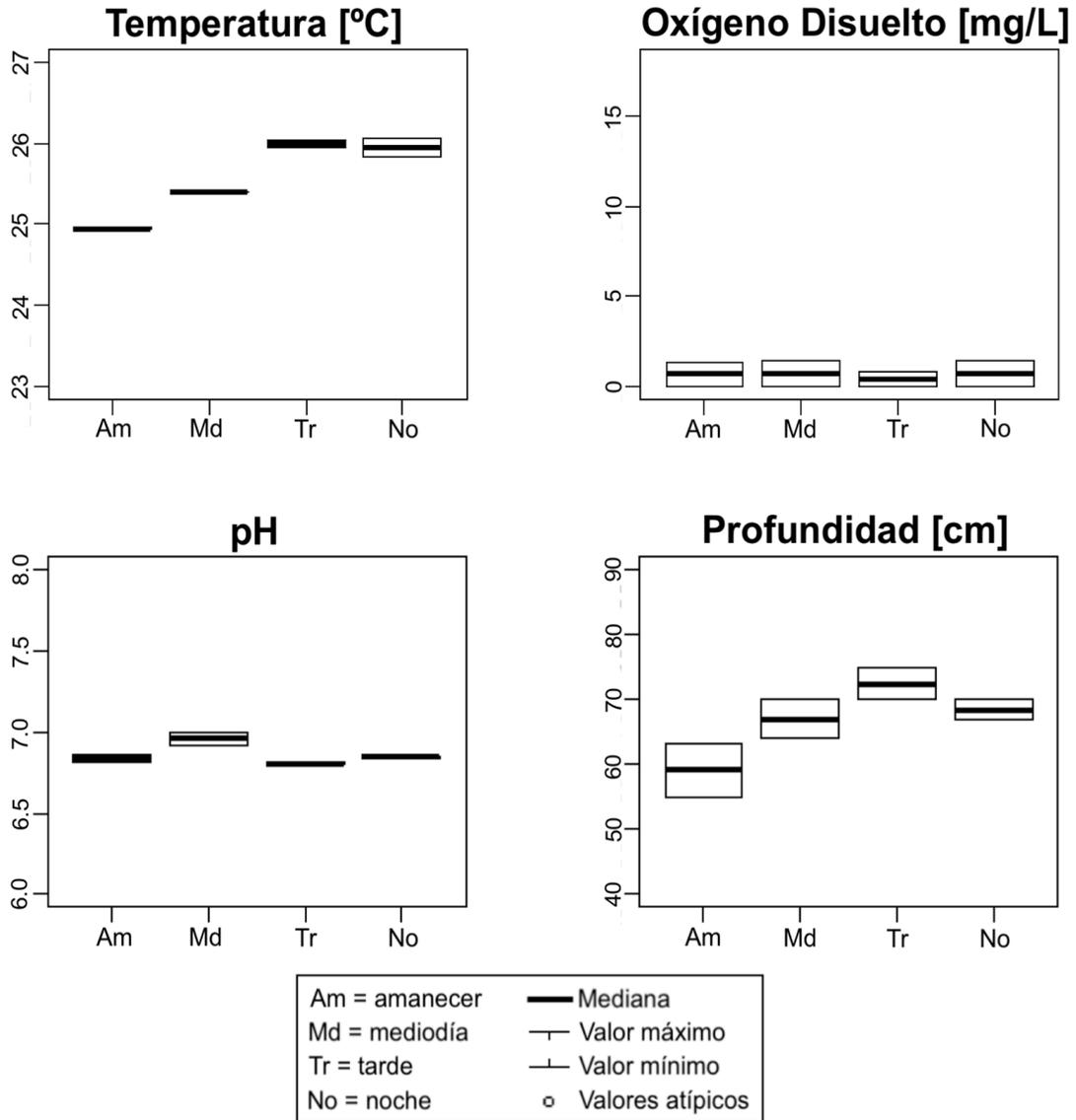


Figura 12. Variación nictémera de las variables ambientales en el petén los Makes durante la temporada de secas. Temperatura, Oxígeno disuelto, pH y Profundidad.

7.3. Comparación de los métodos de muestreo

7.3.1. Composición de especies

Durante los seis muestreos realizados se registraron 12 especies de peces, correspondientes a 4 órdenes, 5 familias y 11 géneros (Tabla 2). Las familias mejor representadas fueron Poeciliidae y Cichlidae (con 4 especies cada una). Por último las especies *Cynodonichthys tenuis* y *Kryptolebias marmoratus* no fueron capturadas por ningún método ya que estos organismos fueron encontrados en una pequeña charca, pero se encontraron solo cuatro individuos por lo tanto no se consideraron al momento de hacer la comparación de los métodos.

Tabla 2. Orden, familia, género y especie de los peces registrados en el petén los Makes durante el estudio. ✓ = presencia. X = ausencia.

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	CÓDIGO	TRAMPAS	CÁMARAS
Characiformes	Characidae	<i>Astyanax altior</i>	<i>Aalt</i>	✓	✓
Cyprinodontiformes		<i>Belonesox belizanus</i>	<i>Bbel</i>	X	✓
	Poeciliidae	<i>Heterandria bimaculata</i>	<i>Hbim</i>	✓	✓
		<i>Poecilia mexicana</i>	<i>Pmex</i>	✓	✓
		<i>Poecilia velifera</i>	<i>Pvel</i>	X	✓
	Rivulidae	<i>Cynodonichthys tenuis</i>	<i>Cten</i>	X	X
<i>Kryptolebias marmoratus</i>		<i>Kmar</i>	X	X	
Perciformes		<i>Mayaheros urophthalmus</i>	<i>Muro</i>	✓	✓
	Cichlidae	<i>Parachromis friedrichsthalii</i>	<i>Pfri</i>	✓	✓
		<i>Rocio octiofaciata</i>	<i>Roct</i>	✓	✓
		<i>Thorichthys meeki</i>	<i>Tmee</i>	✓	✓
Siluriformes	Heptapteridae	<i>Rhamdia guatemalensis</i>	<i>Rgua</i>	✓	✓

El análisis del número de individuos capturados con las trampas (Figura 13), permite decir que la comunidad de peces en este ambiente estuvo dominada por tres especies: *Parachromis friedrichsthalii* (38.86 %), *Astyanax altior* (20.37 %) y *Poecilia mexicana* (17.01 %).

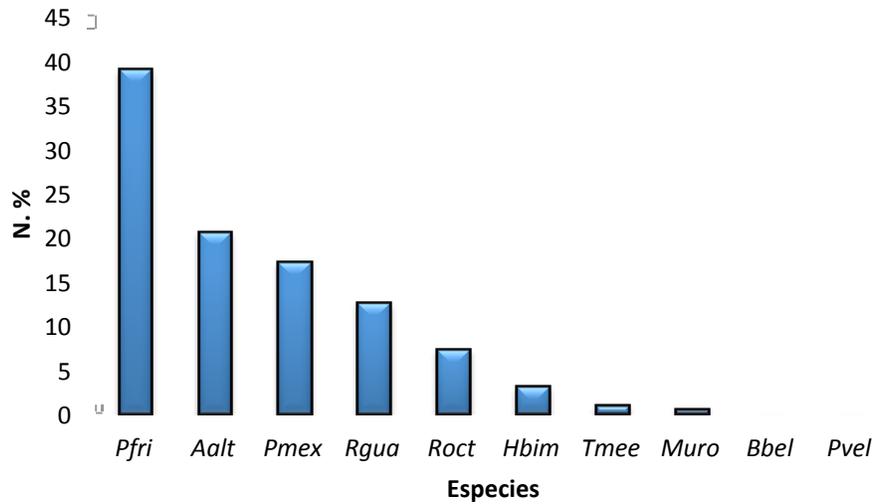


Figura 13. Abundancia numérica relativa (N. %) de las especies obtenidas utilizando trampas icticas. El nombre de las especies corresponde a la primera letra del género y las tres primeras de la especie.

En cambio, de acuerdo con el análisis del número de individuos observados en los videos (Figura 14), las especies más abundantes fueron *Astyanax altior* (62 %), *Rhamdia guatemalensis* (19.16 %) y *Poecilia mexicana* (11.08 %).

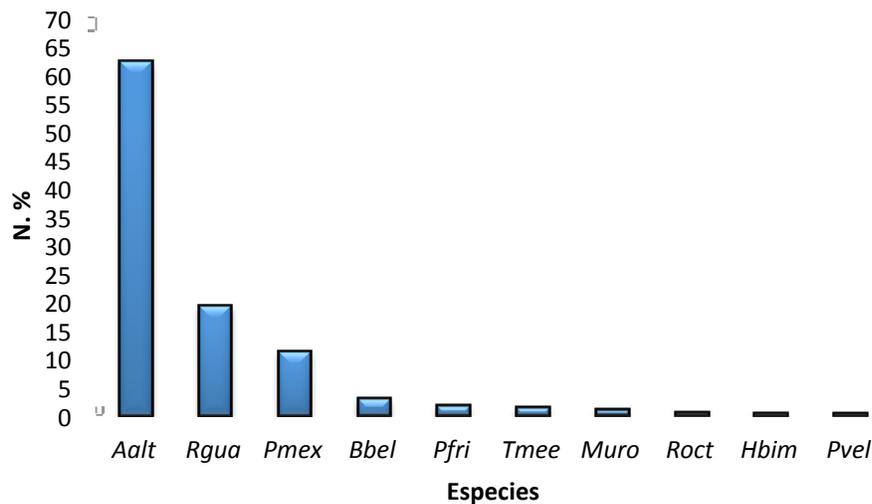


Figura 14. Abundancia numérica relativa (N. %) de las especies obtenidas utilizando video cámaras. El nombre de las especies corresponde a la primera letra del género y las tres primeras de la especie.

Variaciones estacionales en la abundancia de peces

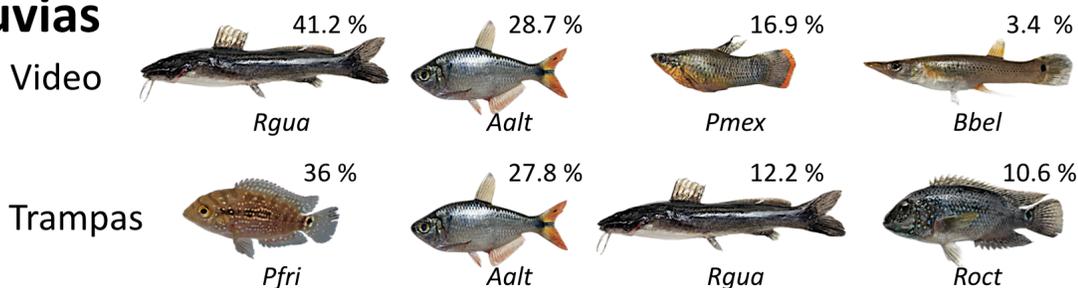
A lo largo del año, utilizando las video cámaras, el mayor número de organismos se presentó durante la temporada de lluvias seguido por la temporada seca, cuando no hubo presencia de *Heterandria bimaculata*. Las menores abundancias se registraron en la temporada de nortes, además durante esta época no se registró la presencia de *Rocio octofasciata*. Utilizando trampas el mayor número de organismos se presentó durante la temporada de nortes, en este periodo no se capturaron las especies *Belonesox belizanus* y *Poecilia velifera*. El menor número de organismos se presentó durante la temporada de lluvias y secas. En la temporada de secas no se capturaron las especies *B. belizanus*, *Mayaheros urophthalmus* y *P. velifera*; mientras que en lluvias no se capturaron las especies *B. belizanus*, *P. velifera* y *T. meeki* (Figura 15).

Lluvias. Utilizando la técnica de video, las especies más abundantes fueron *Rhamdia guatemalensis* (41.2 %), *Astyanax altior* (28.7 %), *P. mexicana* (16.9 %) y *B. belizanus* (3.4 %), las especies con menor abundancia fueron *H. bimaculata* (0.81 %), *P. velifera* (0.54 %) y *R. octofasciata* (0.54 %). Implementando el método tradicional las especies más abundantes fueron *Parachromis friedrichsthalii* (36 %), *A. altior* (27 %), *R. guatemalensis* (12.2 %) y *R. octofasciata* (10.6 %).

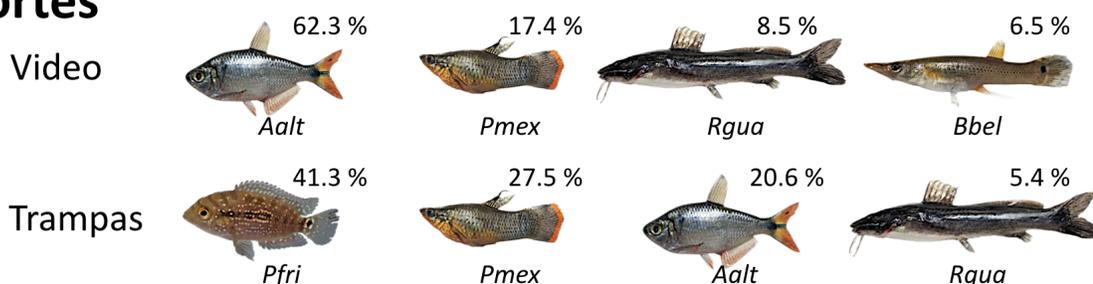
Nortes. Con el uso de video cámaras las especies mejor representadas fueron *A. altior* (62.3 %), *P. mexicana* (17.4 %), *R. guatemalensis* (8.5 %) y *B. belizanus* (3.4 %) mientras que las especies con menor abundancia fueron *H. bimaculata* (0.99 %), *P. velifera* (0.79 %) y *T. meeki* (0.79 %). Mientras que las especies más abundantes al usar el método tradicional fueron *P. friedrichsthalii* (41.3 %), *P. mexicana* (27.5 %), *A. altior* (20.6 %) y *R. guatemalensis* (5.4 %).

Secas. Implementando la técnica de video las especies más abundantes fueron *A. altior* (41.2 %), *R. guatemalensis* (32.1 %), *P. mexicana* (16.7 %) y *B. belizanus* (3.4 %), las especies menor representadas fueron *R. octofasciata* (1.18 %), *M. urophthalmus* (0.88 %) y *P. velifera* (0.14 %). Con el método tradicional las especies más abundantes fueron *P. friedrichsthalii* (37.5 %), *R. guatemalensis* (21.7 %), *A. altior* (13.8 %) y *P. mexicana* (13.8 %).

Lluvias



Nortes



Secas

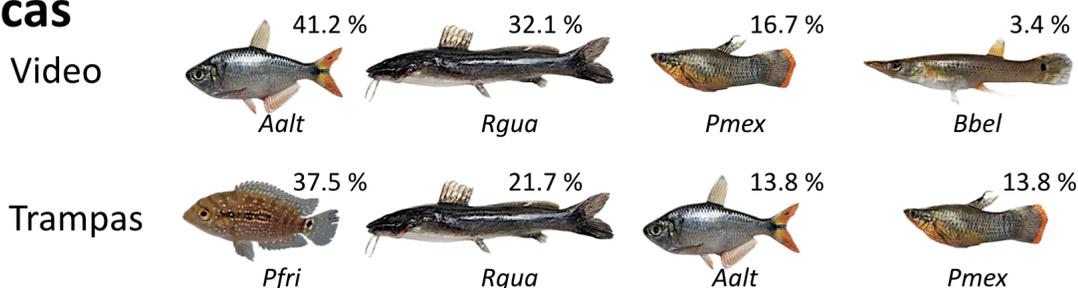


Figura 15. Variación temporal de la abundancia numérica de las especies de peces más abundantes utilizando video y trampas.

Variación nictémera en la abundancia de peces

La actividad de los peces mostró que la mayoría de las especies son de hábitos diurnos, disminuyendo su actividad durante la noche. Utilizando video durante el amanecer, mediodía y tarde se observaron a todas las especies, sin embargo durante la noche no se registró la presencia de *H. bimaculata*, *P. velifera*, *R. octofasciata* y *T. meeki*. Utilizando el método tradicional, durante el amanecer no se obtuvieron capturas de *B. belizanus*, *P. velifera* y *R. guatemalensis*; durante el mediodía *B. belizanus*, *M. urophthalmus*, *P. velifera* y *T. meeki*; en la tarde *B. belizanus*, *M. urophthalmus* y *P. velifera*; y durante la noche *A. altior*, *B. belizanus*, *H.*

bimaculata, *M. urophthalmus*, *P. mexicana* y *P. velifera* (Figura 16). En el ANEXO III se describe en mayor detalle el comportamiento nictemeral por temporada y método.

Amanecer. Implementando la técnica de video las especies más abundantes fueron *A. altior* (42.3 %), *R. guatemalensis* (19.7 %), *B. belizanus* (14.1 %) y *P. friedrichsthalii* (6.7 %). Con el método tradicional las especies más abundantes fueron *P. friedrichsthalii* (50.5 %), *P. mexicana* (26.7 %), *R. octofasciata* (10.7 %) y *A. altior* (6.2 %).

Mediodía. Con el uso de video cámaras las especies más abundantes correspondieron a *A. altior* (42.6 %), *B. belizanus* (11.6 %), *R. guatemalensis* (11.6 %) y *P. mexicana* (8.6 %). Mientras que las especies más abundantes al usar el método tradicional fueron *P. friedrichsthalii* (60.3 %), *R. octofasciata* (10.3 %), *H. bimaculata* (8.6 %) y *P. mexicana* (8.6 %).

Tarde. Utilizando la técnica de video las especies más abundantes fueron *A. altior* (37.7 %), *B. belizanus* (17.8 %), *P. friedrichsthalii* (10.5 %) y *T. meeki* (10.5%). Con el método tradicional las especies más abundantes fueron *A. altior* (39.8 %), *P. friedrichsthalii* (27.6 %), *P. mexicana* (14 %) y *R. guatemalensis* (9.7 %).

Noche. Cámaras *A. altior* (64.4 %) *R. guatemalensis* (17.7 %), *P. mexicana* (6.6 %) y *B. belizanus* (4.4 %). Implementando el método tradicional las especies más abundantes fueron *R. guatemalensis* (83.7 %), *P. friedrichsthalii* (10.8 %), *R. octofasciata* (2.7 %) y *T. meeki* (2.7 %).

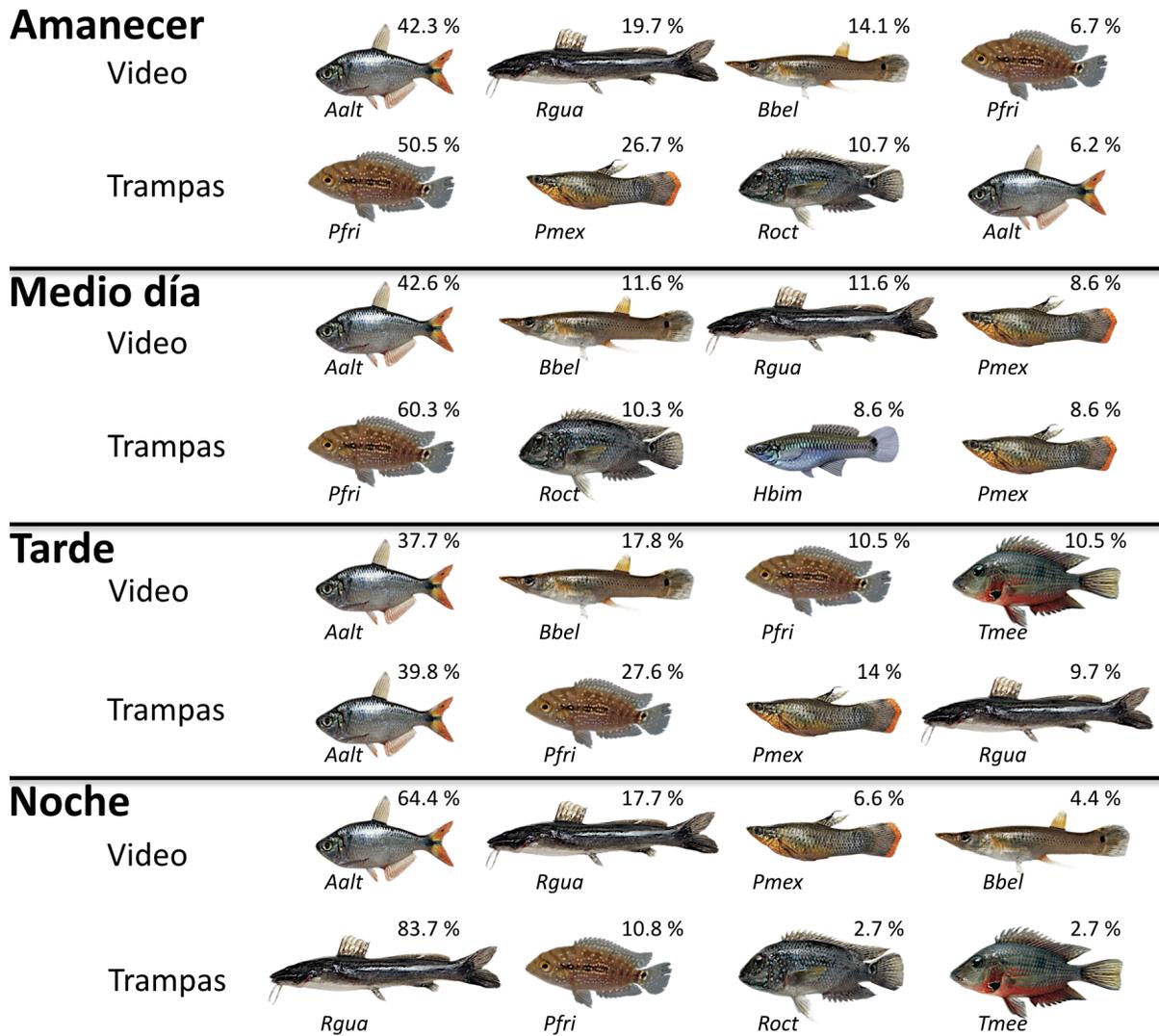


Figura 16. Variación nictémera de la abundancia numérica de las especies de peces más abundantes utilizando video y trampas.

7.3.2. Estructura de la comunidad

Utilizando el método tradicional (Figura 17), los valores estacionales de la **diversidad** (H') tuvieron el valor máximo en la temporada de secas (1.4 nits/ind) y el mínimo en la temporada de nortes (0.7 nits/ind). Por otra parte la **riqueza** (S) fue mayor en la temporada nortes (8) y menor temporada de secas y lluvias (7). Con respecto a la **equidad** (J'), el mayor valor se registró en la temporada de lluvias (0.71) y el menor en temporada de nortes (0.59). Utilizando la técnica de video H' registró su valor máximo durante la temporada de lluvias (1.37 nits/ind) y mínimo durante nortes (0.18 nits/ind). J' registró su mayor (0.98) y menor (0.26) valor en nortes. S fue mayor durante la temporada de lluvias (9) y menor durante nortes y

secas (7). El análisis estadístico no permitió encontrar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las temporadas climática (ANEXO IV).

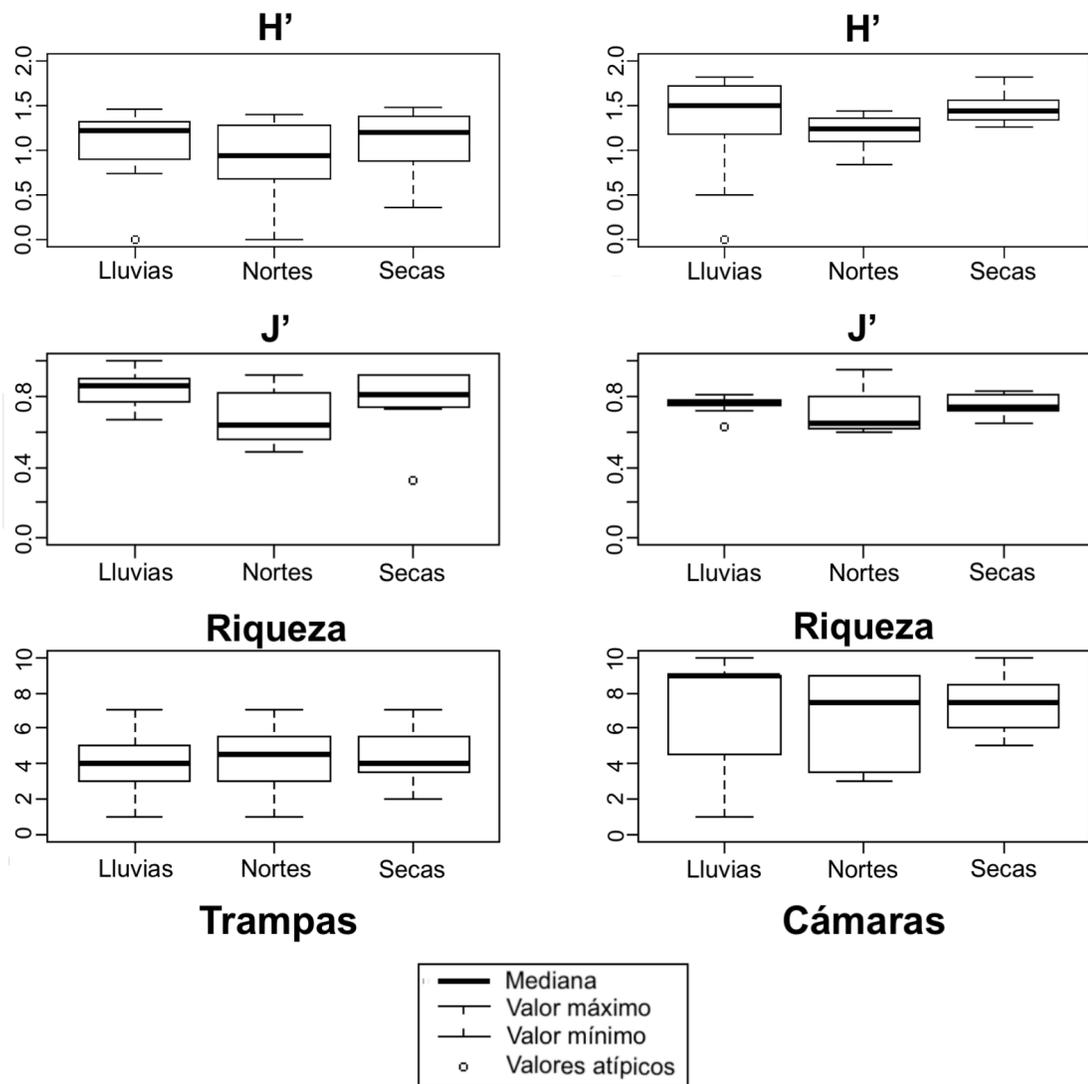


Figura 17. Variación temporal de la diversidad (H'), equidad (J') y riqueza en el petén los Makes utilizando trampas (izquierda) y cámaras (derecha).

Lluvias. Utilizando el método tradicional durante la temporada de lluvias a lo largo del ciclo nictémero (Figura 18), H' registró su valor máximo durante la tarde (1.37 nits/ind) y mínimo en la noche (0.41 nits/ind). J' registró su mayor valor en el amanecer (0.91), y el menor durante la tarde (0.59). El número de especies fue mayor durante la tarde (6) y menor en la noche (2). En cambio al utilizar la técnica de video H' registró su valor máximo durante el mediodía (1.25 nits/ind) y mínimo en la

noche (0.55 nits/ind). J' registró su mayor valor en la noche (0.71), y el menor durante el amanecer (0.35). El número de especies fue mayor durante la tarde (9) y menor en la noche (3). El análisis estadístico mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) en H' y S utilizando trampas entre los horarios en la temporada de lluvias (ANEXO IV).

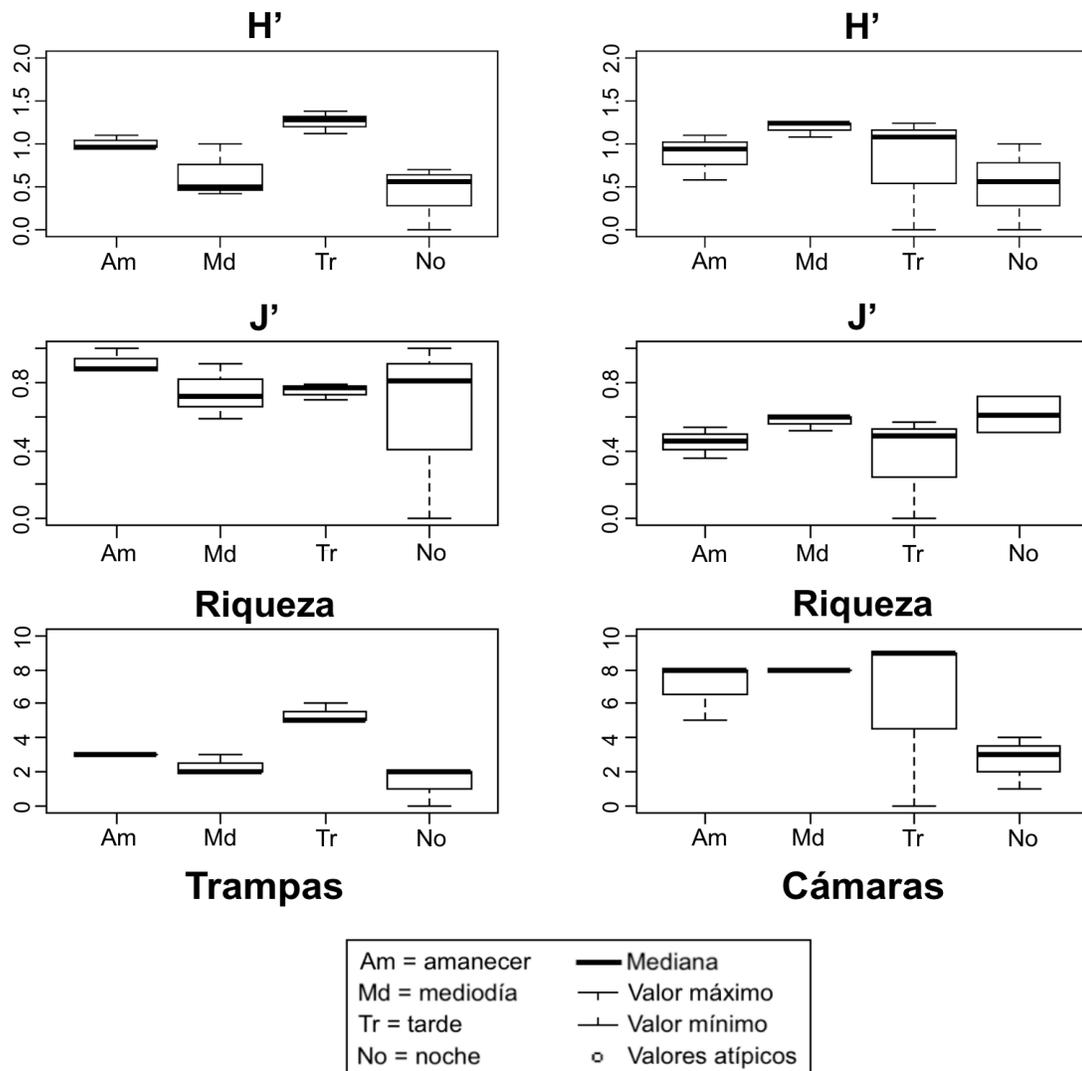


Figura 18. Variación nictémera de la Diversidad (H'), Equitad (J') y Riqueza en el petén los Makes durante la temporada de lluvias utilizando trampas (izquierda) y cámaras (derecha).

Nortes. Utilizando el método tradicional a lo largo del ciclo nictémero durante la época de nortes (Figura 19), H' registró su valor máximo durante la tarde (1.34 nits/ind) y mínimo en la noche (0.34 nits/ind). J' registró su mayor (0.97) y menor

(0.48) valor en noche. El número de especies fue mayor durante el amanecer (6) y menor en la noche (2). En cambio al utilizar la técnica de video H' registró su valor máximo durante el mediodía (0.94 nits/ind) y mínimo en la noche (0.43 nits/ind). J' registró su mayor valor en la tarde (0.65), y el menor durante el amanecer (0.37). El número de especies fue mayor durante el mediodía (8) y menor en la noche (2). El análisis estadístico no permitió encontrar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los horarios en la temporada de nortes (ANEXO IV).

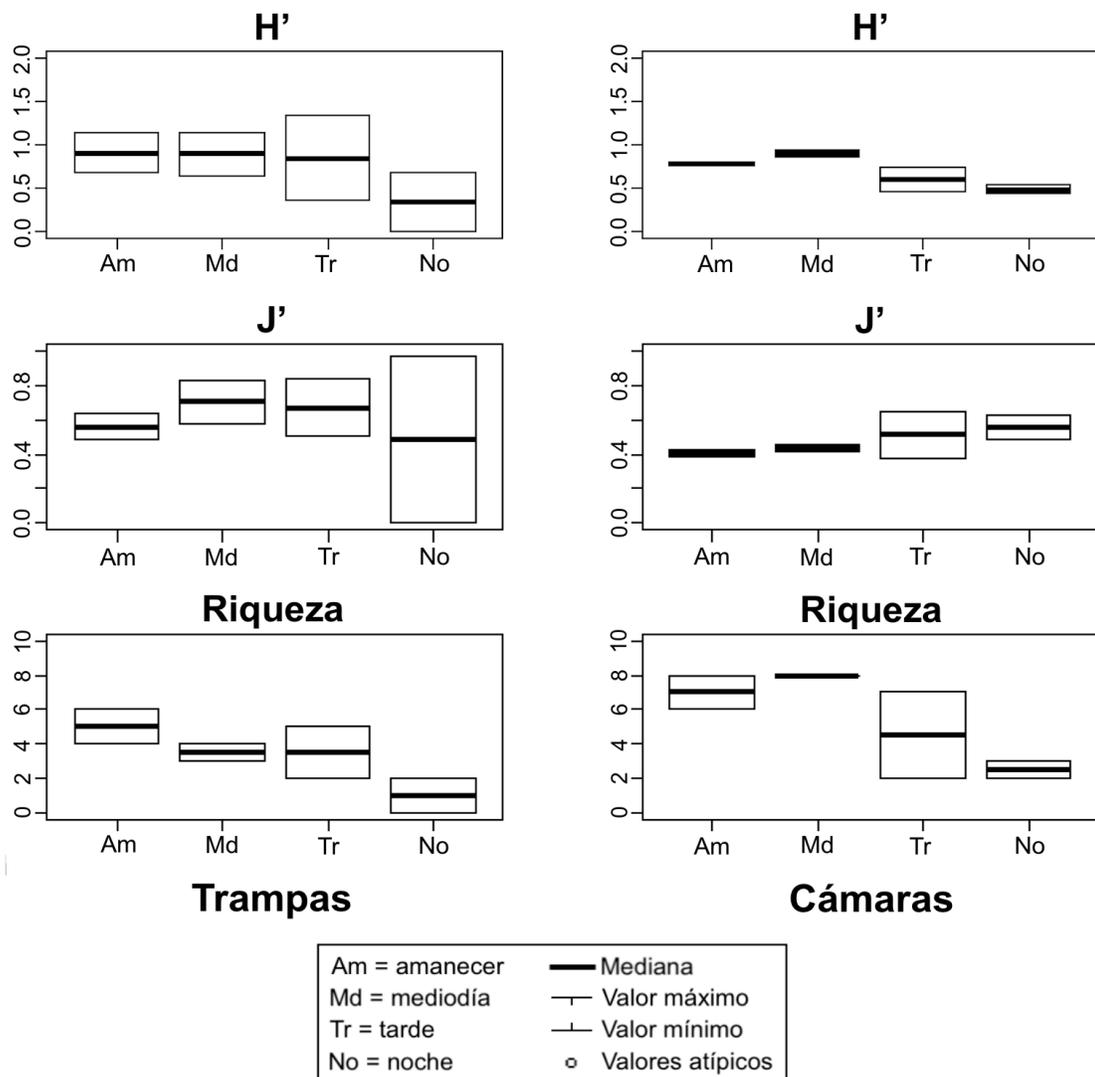


Figura 19. Variación nictémera de la Diversidad (H'), Equidad (J') y Riqueza en el petén los Makes durante la temporada de nortes utilizando trampas (izquierda) y cámaras (derecha).

Secas. Utilizando el método tradicional durante la temporada de secas a lo largo del

ciclo nictémero (Figura 20), H' registró su valor máximo durante la tarde (1.37 nits/ind) y mínimo en la noche (0.18 nits/ind). J' registró su mayor valor en el amanecer (0.98), y el menor durante la noche (0.26). El número de especies fue mayor durante la tarde (6) y menor en la noche (1). En cambio al utilizar la técnica de video H' registró su valor máximo durante la tarde (1.26 nits/ind) y mínimo en la noche (0.82 nits/ind). J' registró su mayor valor en la noche (0.62), y el menor durante el amanecer (0.43). El número de especies fue mayor durante la tarde (9) y menor en la noche (4). El análisis estadístico no permitió encontrar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los horarios en la temporada de secas (ANEXO IV).

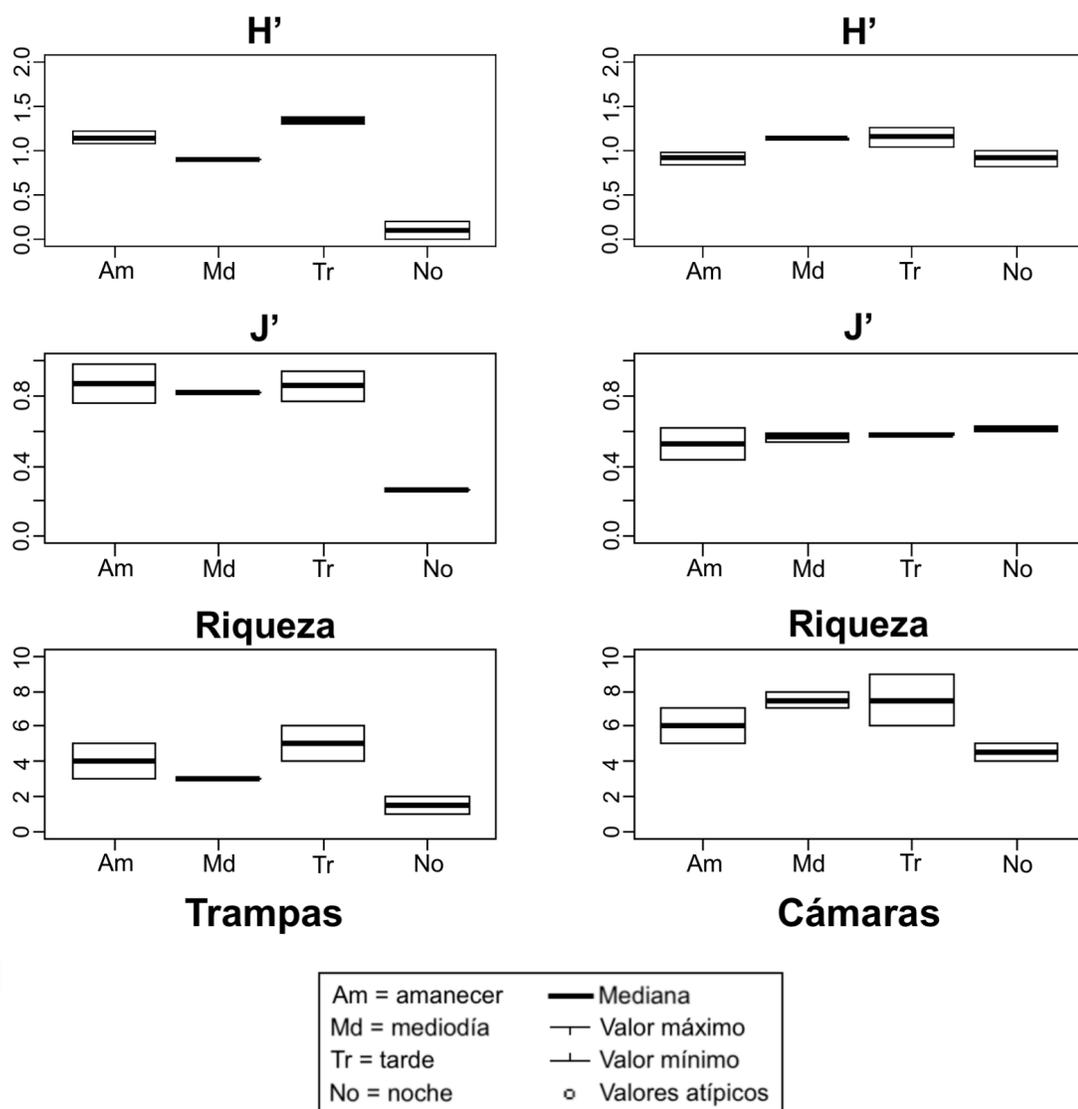


Figura 20. Variación nictémera de la Diversidad (H'), Equidad (J') y Riqueza en el petén los Makes durante la temporada de secas utilizando trampas (izquierda) y cámaras (derecha).

7.3.3. Escalamiento multidimensional no métrico

En el análisis nMDS (Figura 21) se observa que los resultados obtenidos con cada uno de los métodos pueden ser claramente diferenciados. Asimismo, destacan las diferencias extremas que se obtienen con el método tradicional, lo que resultó en un valor de Stress de 0.173.

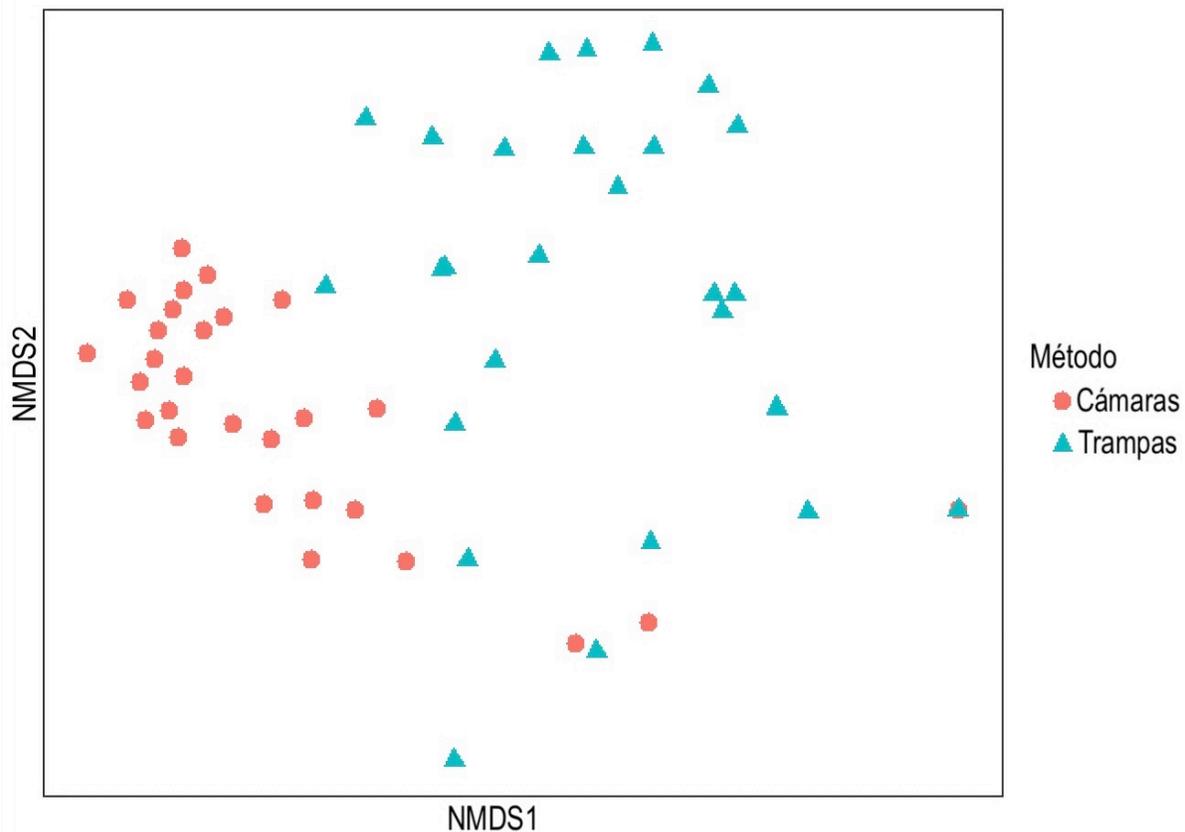


Figura 21. Gráfico nMDS de la abundancia de peces entre métodos de muestreo en el petén los Makes. Stress 0.173

El análisis de similitud (ANOSIM) mostró una disimilitud entre los métodos de muestreo ($R= 0.676$).

Los resultados obtenidos con el análisis SIMPER, por temporada utilizando trampas, se resume en la Tabla 3. Se observa que las cámaras presentan una similitud promedio de 61.63 %, caracterizada por la ocurrencia y abundancia de *A. altior*, *B. belizanus*, *P. mexicana*, *R. guatemalensis* y *P. friedrichsthalii*. Las trampas resultaron con 55.16 % de similitud, destacando las especies *B. belizanus*, *P. friedrichsthalii*, *R. guatemalensis*, *A. altior* y *R. octofasciata*. La temporada de nortes presentó una similitud de 52.77 %, destacando *B. belizanus*, *P. friedrichsthalii*, *R.*

guatemalensis y *P. mexicana*.

Tabla 3. Resultados del análisis SIMPER, de cada método, obtenidos a través de video cámaras y trampas, se muestran las especies que contribuyen al menos del 90 % de las diferencias entre estos grupos.

Método	Especies	Ab	S_i	S_i/SD	S_i %	Cum %
Cámaras Si= 61.63	<i>Aalt</i>	7.5	28.51	2.59	46.26	46.26
	<i>Bbel</i>	2.22	11.73	1.49	19.03	65.29
	<i>Pmex</i>	2.83	7.56	1.15	12.27	77.55
	<i>Rgua</i>	3.26	6.96	0.83	11.29	88.85
	<i>Pfri</i>	1	2.32	0.86	3.76	92.61
Trampas Si= 55.16	<i>Bbel</i>	2.45	31.78	2.63	57.61	57.61
	<i>Pfri</i>	1.92	9.46	0.84	17.14	74.76
	<i>Rgua</i>	0.99	4.45	0.59	8.07	82.82
	<i>Aalt</i>	1.21	3.82	0.55	6.93	89.75
	<i>Roct</i>	0.73	2.64	0.48	4.78	94.54

Se realizó un análisis para obtener el conjunto de especies que contribuyen a la discriminación entre el uso de video cámaras y trampas (59.67 %). Las especies que contribuyen a la disimilitud son: *A. altior*, *P. friedrichsthalii*, *R. guatemalensis* y *P. velifera* (Tabla 4).

Tabla 4. Contribución media a la disimilitud entre métodos de muestreo.

Especie	C vs T
<i>Aalt</i>	0.1456
<i>Bbel</i>	0.0546
<i>Hbim</i>	0.0359
<i>Muro</i>	0.0459
<i>Pvel</i>	0.0672
<i>Pfri</i>	0.0858
<i>Pmex</i>	0.0159
<i>Rgua</i>	0.0833
<i>Roct</i>	0.0462
<i>Tmee</i>	0.0452
Disimilitud	59.67

MÉTODO TRADICIONAL

En el análisis nMDS utilizando el método tradicional (Figura 22) se obtuvo el traslape en los datos de cada una de las temporadas. Sin embargo, para el ciclo nictémero se muestran agrupamientos con respecto al horario de la tarde y noche. El valor de Stress del análisis fue de 0.196.

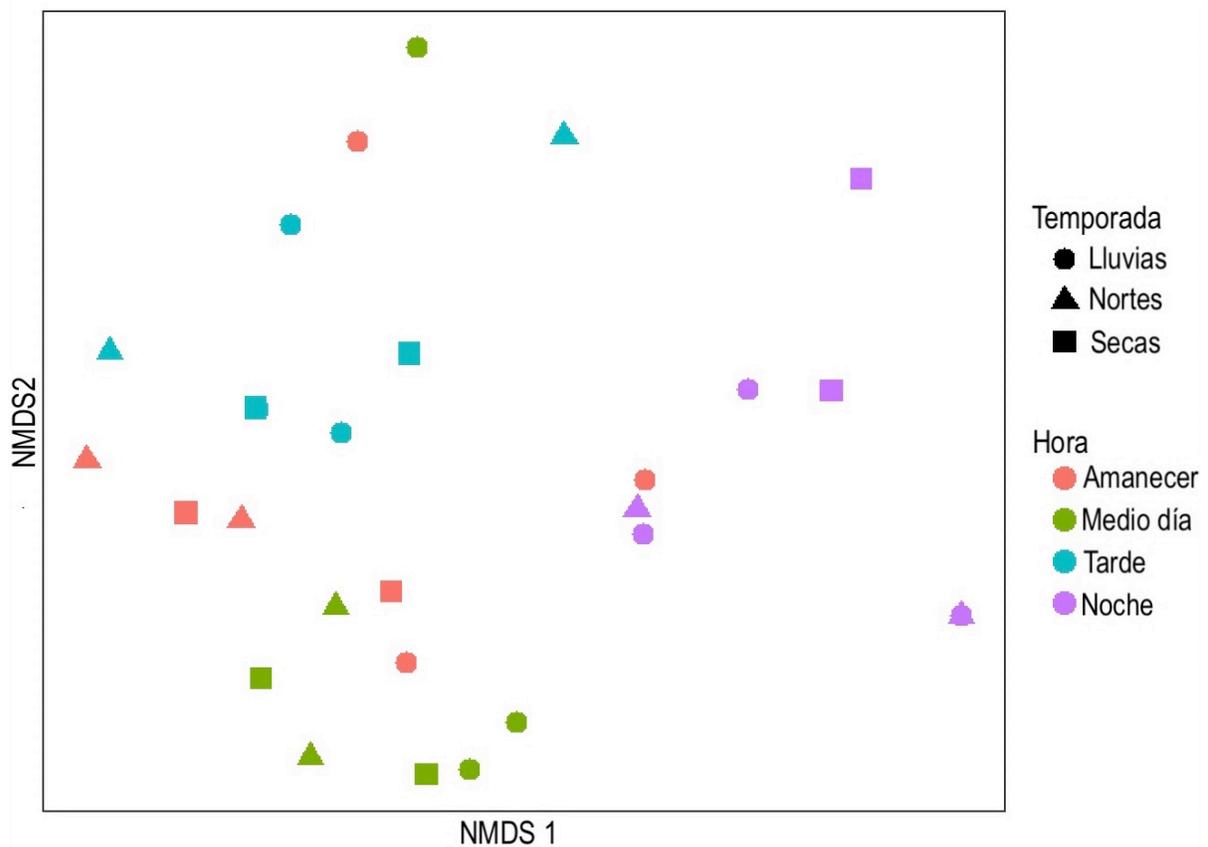


Figura 22. Gráfico nMDS de la abundancia de peces entre temporadas y horarios utilizando métodos tradicionales de muestreo en el petén los Makes. Stress 0.196

Para los resultados de ANOSIM (Tabla 5) por temporada utilizando el método tradicional, no se presentaron diferencias significativas. Para el ciclo nictémero el ANOSIM mostró que existen diferencias significativas entre la tarde y noche ($R=0.814$); mediodía y tarde ($R=0.696$) y mediodía y noche ($R=0.521$).

Tabla 5. Resultados comparativos del análisis ANOSIM, entre temporadas y horarios usando trampas. (Am= Amanecer; Md= Mediodía; Tr= Tarde; No= Noche). * Grupos con diferencia significativa $p < 0.05$.

Grupos	Estadístico R	Nivel de significancia (%)	Número \geq Observado
Secas vs. Lluvias	-0.008	41.6	415
Secas vs. Nortes	-0.214	97	969
Lluvias vs. Nortes	0.06	11.2	111
Am vs. Md	0.15	7.1	70
Am vs. Tr	0.306	1.5	14
Am vs. No	0.333	0.9	8
Md vs. Tr	0.696	0.3*	2
Md vs. No	0.521	0.3*	2
Tr vs. No	0.814	0.2*	1

Los resultados obtenidos con el análisis SIMPER, por temporada utilizando trampas, se resumen en la tabla 6. Se observa que la temporada de secas presenta una similitud promedio de 50.01 %, la cual se caracterizó por la ocurrencia y abundancia de *B. belizanus*, *R. guatemalensis*, *A. altior* y *R. octofasciata*. La temporada de lluvias, resultó con 57.16 % de similitud, destacando las especies *B. belizanus*, *P. friedrichsthalii*, *R. octofasciata*, *R. guatemalensis* y *A. altior*. La temporada de nortes presentó una similitud de 52.77 %, destacando *B. belizanus*, *P. friedrichsthalii*, *R. guatemalensis* y *P. mexicana*.

Tabla 6. Resultados del análisis SIMPER de cada temporada, obtenidos a través de trampas. Se muestran las especies que contribuyen al menos del 90 % de las diferencias entre estos grupos.

Temporada	Especies	Ab	S _i	S _i /SD	S _i %	Cum %
Secas Si= 50.01	<i>Bbel</i>	2.45	29.75	3.07	59.49	59.49
	<i>Pfri</i>	2.14	10.34	0.89	20.67	80.16
	<i>Rgua</i>	0.91	2.37	0.41	4.74	84.9
	<i>Aalt</i>	1.3	2.36	0.41	4.73	89.63
	<i>Roct</i>	0.99	2.36	0.41	4.73	94.36
Lluvias Si= 57.16	<i>Bbel</i>	2.45	36.52	3.14	63.88	63.88
	<i>Pfri</i>	1.35	6.67	0.63	11.68	75.56
	<i>Roct</i>	0.76	4.01	0.65	7.02	82.58
	<i>Rgua</i>	0.76	3.36	0.48	5.88	88.46
	<i>Aalt</i>	1.07	3.36	0.51	5.88	94.34
Nortes Si= 52.77	<i>Bbel</i>	2.45	27.39	2.71	51.91	51.91
	<i>Pfri</i>	2.42	11.07	0.98	20.97	72.88
	<i>Rgua</i>	1.24	5.08	0.75	9.62	82.5
	<i>Pmex</i>	1.61	4	0.62	7.59	90.09

Asimismo se realizó un análisis para obtener el conjunto de especies que contribuyen a la discriminación entre las temporadas. En la comparación entre secas y lluvias (47.87 %) sobresalen las especies *P. friedrichsthalii*, *R. guatemalensis*, *A. altior* y *R. octofasciata*. Entre secas y nortes (45.92 %) los valores más altos fueron para: *P. friedrichsthalii*, *A. altior*, *P. mexicana* y *R. guatemalensis*. Las especies que contribuyeron a la comparación entre lluvias y nortes (49.39 %) fueron *P. friedrichsthalii*, *A. altior* y *P. mexicana* (Tabla 7).

Tabla 7. Contribución media a la disimilitud entre temporadas utilizando trampas. (S= Secas; LI= Lluvias; N= Nortes).

Especies	S vs. LI	S vs. N	LI vs. N
<i>Aalt</i>	0.0758	0.0809	0.089
<i>Bbel</i>			
<i>Hbim</i>	0.05398	0.0254	0.054
<i>Muro</i>	0.00842	0.0126	0.0205
<i>Pvel</i>			
<i>Pfri</i>	0.09171	0.0892	0.103
<i>Pmex</i>	0.06385	0.0792	0.0796
<i>Rgua</i>	0.08492	0.0772	0.0712
<i>Roct</i>	0.07148	0.0626	0.0662
<i>Tmee</i>	0.0286	0.0322	0.0105
Disimilitud	47.87	45.92	49.39

El análisis SIMPER, aplicado por horario utilizando los datos provenientes de las trampas, se resume en la tabla 8. Se observa que el amanecer presenta una similitud promedio de 59.33 %, se caracterizó por la ocurrencia y abundancia de *B. belizanus*, *P. friedrichsthalii*, *A. altior*, *R. octofasciata* y *P. mexicana*. El mediodía, resultó con 65.86 % de similitud, destacando las especies *B. belizanus*, *P. friedrichsthalii* y *R. octofasciata*. La tarde presentó una similitud de 69.61 %, destacando *A. altior*, *B. belizanus*, *R. guatemalensis*, *P. friedrichsthalii* y *P. mexicana*. La noche, resultó con 70.17 % de similitud, destacando las especies *B. belizanus* y *R. guatemalensis*.

Tabla 8. Resultados del análisis SIMPER, de cada horario, obtenidos a través de trampas se muestran las especies que contribuyen al menos del 90 % de las diferencias entre estos grupos.

Hora	Especies	Ab	S_i	S_i/SD	S_i %	Cum %
Am Si= 59.33	<i>Bbel</i>	2.45	25.48	3.14	42.95	42.95
	<i>Pfri</i>	2.91	13.23	1.23	22.3	65.25
	<i>Aalt</i>	1.1	7.12	1.36	12	77.26
	<i>Roct</i>	1.35	6.94	0.85	11.7	88.96
	<i>Pmex</i>	1.69	3.56	0.57	6.01	94.97
Md Si= 65.86	<i>Bbel</i>	2.45	35.32	11.27	53.63	53.63
	<i>Pfri</i>	2.06	22.98	1.52	34.9	88.52
	<i>Roct</i>	0.59	2.29	0.4	3.47	92
Tr Si= 69.61	<i>Aalt</i>	3.33	22.42	3.96	32.21	32.21
	<i>Bbel</i>	2.45	19.68	5.11	28.26	60.47
	<i>Rgua</i>	1.61	10.13	4.01	14.55	75.02
	<i>Pfri</i>	2.31	8.48	0.86	12.18	87.19
	<i>Pmex</i>	1.41	4.02	0.86	5.77	92.97
No Si= 70.17	<i>Bbel</i>	2.45	55.88	3.53	79.64	79.64
	<i>Rgua</i>	1.55	13.05	0.92	18.59	98.23

Las especies que mayor contribuyeron a separar de forma significativa entre el amanecer y el mediodía (44.33 %), fueron: *P. friedrichsthalii*, *A. altior* y *P. mexicana*. Al comparar el amanecer con la tarde (36.07 %) sobresalen: *P. friedrichsthalii*, *A. altior* y *P. mexicana*. Mientras que al contrastar el amanecer con la noche (58.77 %) destacan: *P. friedrichsthalii*, *A. altior* y *R. octofasciata*. Entre el mediodía y la tarde (50.82 %) los valores más altos fueron para: *A. altior*, *R. guatemalensis* y *P. friedrichsthalii*. Al comparar el mediodía con la noche (61.55 %) sobresalen: *P. friedrichsthalii*, *R. guatemalensis* y *R. octofasciata*. Por último, al contrastar la tarde y la noche (58.18 %) destacan: *A. altior*, *P. friedrichsthalii* y *P. mexicana* (Tabla 9).

Tabla 9. Contribución media a la disimilitud entre horarios utilizando trampas. (Am= Amanecer; Md= Mediodía; Tr= Tarde; No= Noche).

Especies	Am vs. Md	Am vs. Tr	Am vs. No	Md vs. Tr	Md vs. No	Tr vs. No
<i>Aalt</i>	0.0736	0.0655	0.1102	0.1253	0.0441	0.1839
<i>Bbel</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Hbim</i>	0.0496	0.0435	0.0331	0.0503	0.07	0.0591
<i>Muro</i>	0.0271	0	0	0.0236	0.0402	0
<i>Pvel</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Pfri</i>	0.072	0.0703	0.1417	0.0686	0.1621	0.1038
<i>Pmex</i>	0.0762	0.0649	0.0926	0.0634	0.0632	0.0874
<i>Rgua</i>	0.0579	0.0521	0.091	0.1037	0.1305	0.0629
<i>Roct</i>	0.0735	0.0536	0.1049	0.0526	0.0738	0.0615
<i>Tmee</i>	0.0132	0.0108	0.0142	0.0207	0.0315	0.0233
Disimilitud	44.31	36.07	50.82	50.82	61.55	58.18

TÉCNICA DE VIDEO

En los resultados obtenidos aplicando el análisis nMDS para la técnica de video (Figura 23) se observa claramente un grado de solapamiento entre las temporadas, sin embargo para el ciclo nictémero se muestra un agrupamiento con respecto al horario de la noche, esto resultó con un valor de Stress de 0.086.

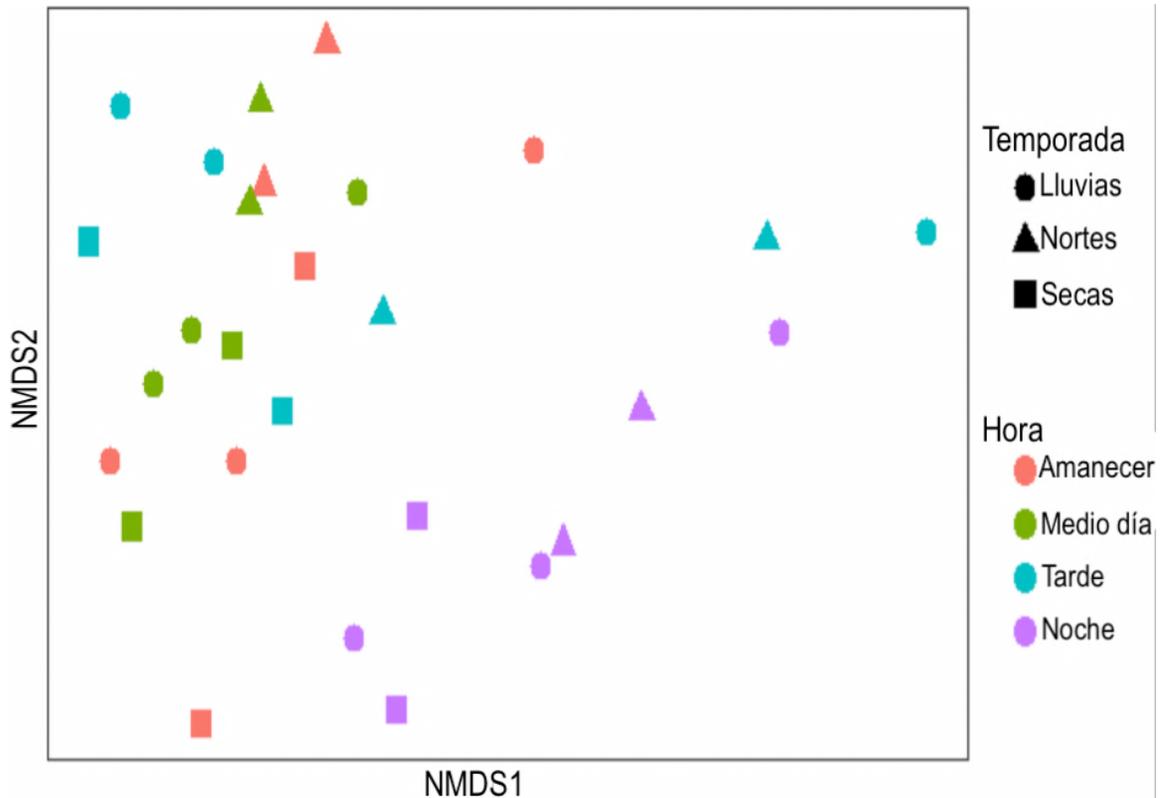


Figura 23. Gráfico nMDS de la abundancia de peces entre temporada y horario utilizando la técnica de video en el petén los Makes. Stress 0.086

Para los resultados de ANOSIM (Tabla 10) por temporada utilizando el método tradicional, no se presentaron diferencias significativas. Para el ciclo nictémero el ANOSIM mostró que existen diferencias significativas entre el mediodía y noche ($R=0.754$).

Tabla 10. Resultados comparativos del análisis ANOSIM, entre temporadas y horarios usando trampas. Am= Amanecer; Md= Mediodía; Tr= Tarde; No= Noche). * Grupos con diferencias significativas $p < 0.05$.

Grupos	Estadístico R	Nivel de significancia (%)	Número \geq Observado
Secas vs. Lluvias	-0.064	78.1	780
Secas vs. Nortes	0.046	17.7	176
Lluvias vs. Nortes	-0.039	64.3	642
Am vs. Md	-0.01	47.6	475
Am vs. Tr	0.008	35.9	358
Am vs. No	0.336	0.8	7
Md vs. Tr	0.084	13.2	131
Md vs. No	0.754	0.1*	0
Tr vs. No	0.297	1.7	16

Los resultados obtenidos con el análisis SIMPER, por temporada utilizando video cámaras, se resume en la tabla 11. Se observa que la temporada de secas presenta una similitud promedio de 69.78 %, se caracterizó por la ocurrencia y abundancia de *A. altior*, *R. guatemalensis*, *P. mexicana* y *B. belizanus*. La temporada de lluvias, resultó con 56.51 % de similitud, destacando las especies *A. altior*, *B. belizanus*, *P. mexicana*, *R. guatemalensis* y *P. friedrichsthalii*. La temporada de nortes presentó una similitud de 64.98 %, destacando *A. altior*, *B. belizanus*, *P. mexicana*, *M. urophthalmus* y *R. guatemalensis*.

Tabla 11. Resultados del análisis SIMPER, de cada temporada, obtenidos a través de video cámaras se muestran las especies que contribuyen al menos del 90 % de las diferencias entre estos grupos.

Temporada	Especies	Ab	S _i	S _i /SD	S _i %	Cum %
Secas Si= 69.78	<i>Aalt</i>	8.07	31.17	5.81	44.66	44.66
	<i>Rgua</i>	4.62	14.51	1.66	20.79	65.45
	<i>Pmex</i>	3.48	11.79	3.77	16.89	82.35
	<i>Bbel</i>	1.83	5.79	1.33	8.29	90.64
Lluvias Si= 56.51	<i>Aalt</i>	6.6	22.99	1.9	40.69	40.69
	<i>Bbel</i>	2.33	14.29	1.45	25.28	65.96
	<i>Pmex</i>	2.63	6.58	1.12	11.65	77.62
	<i>Rgua</i>	3.4	5.14	0.63	9.09	86.71
	<i>Pfri</i>	1.19	2.96	1.03	5.24	91.95
Nortes Si= 64.98	<i>Aalt</i>	8.28	33.61	3.14	51.73	51.73
	<i>Bbel</i>	2.45	14.99	2.89	23.07	74.8
	<i>Pmex</i>	2.48	4.76	0.64	7.33	82.13
	<i>Muro</i>	0.88	4.38	1.4	6.75	88.87
	<i>Rgua</i>	1.68	3.64	0.63	5.6	94.48

El análisis para obtener el conjunto de especies que contribuyen a la discriminación entre las temporadas utilizando video cámaras, mostró que al comparar entre las temporadas de secas y lluvias (29.58 %) sobresalen las especies: *R. guatemalensis*, *B. belizanus*, *T. meeki* y *P. friedrichsthalii*. Entre secas y nortes (31.22 %) los valores más altos fueron para: *R. guatemalensis*, *B. belizanus*, *P. mexicana* y *P. friedrichsthalii*. Las especies que contribuyeron a diferenciar entre lluvias y nortes (32.62 %) fueron *R. guatemalensis*, *P. mexicana*, *B. belizanus* y *A. altior* (Tabla 12).

Tabla 12. Contribución media a la disimilitud entre temporadas utilizando video cámaras. (S= Secas; LI= Lluvias; N= Nortes).

Especies	S vs. LI	S vs. N	LI vs. N
<i>Aalt</i>	0.0309	0.024	0.0429
<i>Bbel</i>	0.0459	0.0501	0.0487
<i>Hbim</i>	0.0207	0.03	0.0323
<i>Muro</i>	0.0321	0.0314	0.0422
<i>Pvel</i>	0.0172	0.0174	0.0245
<i>Pfri</i>	0.035	0.0384	0.0416
<i>Pmex</i>	0.0321	0.0436	0.0497
<i>Rgua</i>	0.0531	0.0515	0.0594
<i>Roct</i>	0.0291	0.0284	0.0164
<i>Tmee</i>	0.0368	0.0379	0.0375
Disimilitud	29.58	31.22	32.62

El análisis SIMPER, aplicado por horario utilizando video cámaras, se resume en la tabla 13. Se observa que el amanecer presenta una similitud promedio de 64.80 %, se caracterizó por la ocurrencia y abundancia de *A. altior*, *P. mexicana*, *B. belizanus*, *R. guatemalensis* y *P. friedrichsthalii*. El mediodía, resultó con 79.44 % de similitud, destacando las especies *A. altior*, *P. mexicana*, *R. guatemalensis*, *B. belizanus*, *P. friedrichsthalii* y *T. meeki*. La tarde presentó una similitud de 64.98 %, destacando *A. altior*, *B. belizanus*, *P. mexicana*, *M. urophthalmus*, *T. meeki* y *P. friedrichsthalii*. La noche, resultó con 72.01 % de similitud, destacando las especies *A. altior*, *B. belizanus* y *R. guatemalensis*.

Tabla 13. Resultados del análisis SIMPER, de cada horario, obtenidos a través de video cámaras se muestran las especies que contribuyen al menos del 90 % de las diferencias entre estos grupos.

Hora	Especies	Ab	S_i	S_i/SD	S_i %	Cum %
Am Si= 64.80	<i>Aalt</i>	8.32	32.01	4.4	49.4	49.4
	<i>Pmex</i>	2.92	9.54	1.93	14.72	64.11
	<i>Bbel</i>	1.95	7.31	1.29	11.29	75.4
	<i>Rgua</i>	4.16	6.4	0.57	9.88	85.28
	<i>Pfri</i>	1.18	4.01	1.45	6.19	91.47
Md Si= 79.44	<i>Aalt</i>	9.85	33.56	9.6	42.25	42.25
	<i>Pmex</i>	4.49	15.8	15.93	19.89	62.14
	<i>Rgua</i>	4.41	9.19	1.05	11.57	73.71
	<i>Bbel</i>	2.18	7.31	2.89	9.21	82.92
	<i>Pfri</i>	1.5	4.65	4.03	5.85	88.76
	<i>Tmee</i>	1.46	4.57	5.17	5.76	94.52
Tr Si= 52.54	<i>Aalt</i>	6.66	20.16	1.3	38.38	38.38
	<i>Bbel</i>	2.5	16.12	1.49	30.69	69.07
	<i>Pmex</i>	2.77	5.26	0.78	10.01	79.08
	<i>Muro</i>	0.83	2.58	0.89	4.91	83.99
	<i>Tmee</i>	1.2	2.53	0.91	4.82	88.81
	<i>Pfri</i>	1.19	2.43	0.85	4.62	93.43
No Si= 72.01	<i>Aalt</i>	5.17	36.65	4.05	50.9	50.9
	<i>Bbel</i>	2.24	18.55	2.43	25.76	76.65
	<i>Rgua</i>	2.49	13.45	1.48	18.68	95.33

Las especies que mayor contribuyeron a separar de forma significativa entre el amanecer y el mediodía (51.39 %), fueron: *R. guatemalensis*, *B. belizanus*, *R. octofasciata* y *H. bimaculata*. Al comparar el amanecer con la tarde (45.62 %) sobresalen: *R. guatemalensis*, *B. belizanus*, *A. altior* y *P. mexicana*. Mientras que al contrastar el amanecer con la noche (62.59 %) destacan: *R. guatemalensis*, *P. friedrichsthalii*, *B. belizanus* y *P. mexicana*. Entre el mediodía y la tarde (51.45 %) los valores más altos fueron para: *P. velifera*, *B. belizanus*, *A. altior*, *P. friedrichsthalii* y *M. urophthalmus*. Al comparar el mediodía con la noche (71.59 %) sobresalen: *T. meeki*, *M. urophthalmus*, *B. belizanus* y *P. friedrichsthalii*. Por último al contrastar la tarde y la noche (55.3 %) destacan: *R. guatemalensis*, *A. altior*, *P. mexicana*, *B. belizanus* (Tabla 14).

Tabla 14. Contribución media a la disimilitud entre horarios utilizando video cámaras.
(Am= Amanecer; Md= Mediodía; Tr= Tarde; No= Noche).

Especies	Am vs. Md	Am vs. Tr	Am vs. No	Md vs. Tr	Md vs. No	Tr vs. No
<i>Aalt</i>	0.0143	0.0442	0.0268	0.0387	0.0328	0.0656
<i>Bbel</i>	0.03084	0.0471	0.0576	0.0425	0.0577	0.0545
<i>Hbim</i>	0.02435	0.028	0.03	0.0271	0.0391	0.0247
<i>Muro</i>	0.02405	0.0292	0.0401	0.0321	0.0621	0.0473
<i>Pvel</i>	0.02043	0.0237	0.0179	0.0488	0.0386	0.0228
<i>Pfri</i>	0.01492	0.0367	0.0592	0.0369	0.0494	0.0504
<i>Pmex</i>	0.00916	0.042	0.0529	0.0238	0.0189	0.061
<i>Rgua</i>	0.04125	0.0555	0.0612	0.0276	0.0347	0.0817
<i>Roct</i>	0.02739	0.0205	0.0171	0.0306	0.0369	0.015
<i>Tmee</i>	0.02154	0.0355	0.0487	0.0307	0.0687	0.0521
Disimilitud	51.39	45.62	62.59	51.45	71.59	56.66

7.4. Influencia ambiental sobre las asociaciones ícticas

Lluvias. Los primeros dos ejes canónicos explicaron el 97.4 % de la varianza en la relación especies-ambiente. La abundancia de peces se correlacionó inversamente con la temperatura mostrando la mejor correlación con el primer eje ($r=-0.69$) y el oxígeno disuelto mostró la segunda mejor correlación ($r=-0.25$) en este mismo primer eje. Se observa una alta correlación entre el pH y la temperatura; además se observa que no existe una correlación positiva entre la profundidad y la temperatura. Las especies *H. bimaculata*, *P. mexicana*, *P. velifera*, *B. belizanus*, *A. altior*, *P. friedrichsthalii*, *R. octofasciata* y *M. urophthalmus* están relacionadas inversamente con el oxígeno disuelto, mientras que *R. guatemalensis* está correlacionada inversamente con la temperatura y el pH (Figura 24).

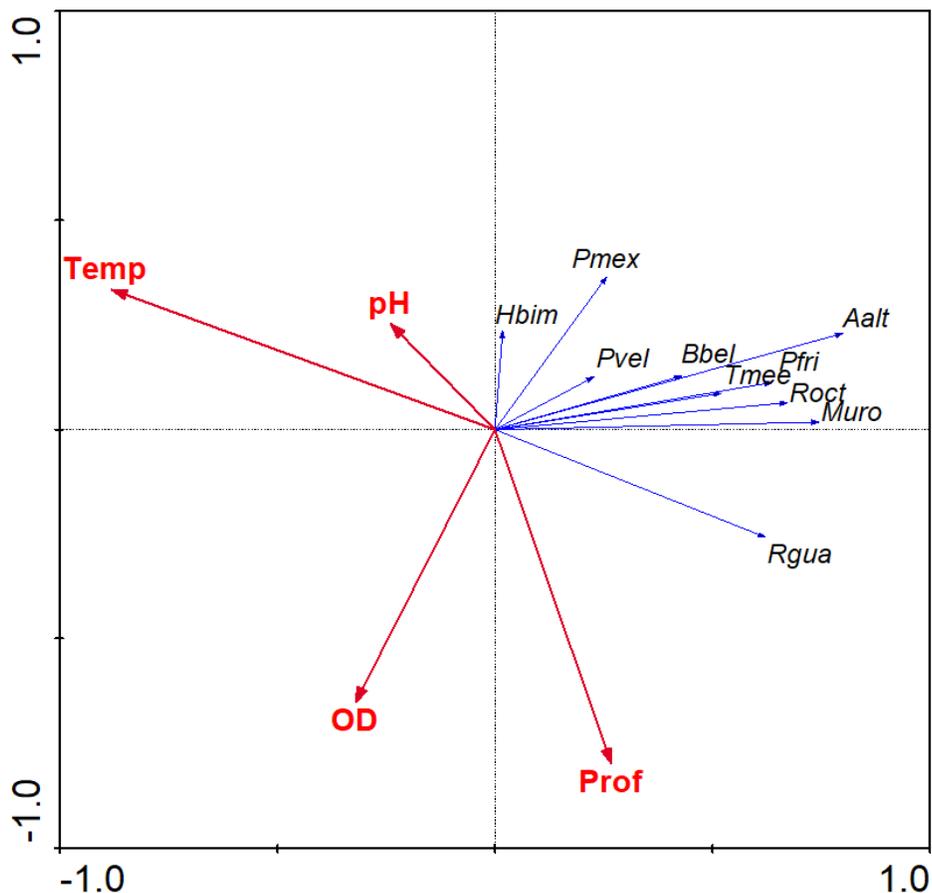


Figura 24. Gráfico obtenido con el análisis RDA de la abundancia de peces y variables ambientales registradas en la temporada de lluvias. Las flechas rojas identifica las variables cuantitativas. Las especies están representadas por flechas azules.

Nortes. Los primeros dos ejes canónicos explicaron el 98.3 % de la varianza en la relación especies-ambiente. La abundancia de peces se correlacionó con la profundidad mostrando la mejor correlación en el primer eje ($r=-0.93$) y la temperatura mostró la segunda mejor correlación ($r=-0.90$) en este mismo primer eje. Se observa una alta correlación entre la profundidad y la temperatura; además se observa que no existe una correlación positiva entre la profundidad y el pH. Las especies *H. bimaculata*, *B. belizanus*, *P. mexicana*, *A. altior*, *T. meeki* y *P. friedrichsthalii* estuvieron correlacionadas positivamente con el oxígeno disuelto y el pH. *M. urophthalmus* y *P. velifera* están correlacionadas con el pH al contrario de *R. guatemalensis* que esta inversamente correlacionada con el pH (Figura 25).

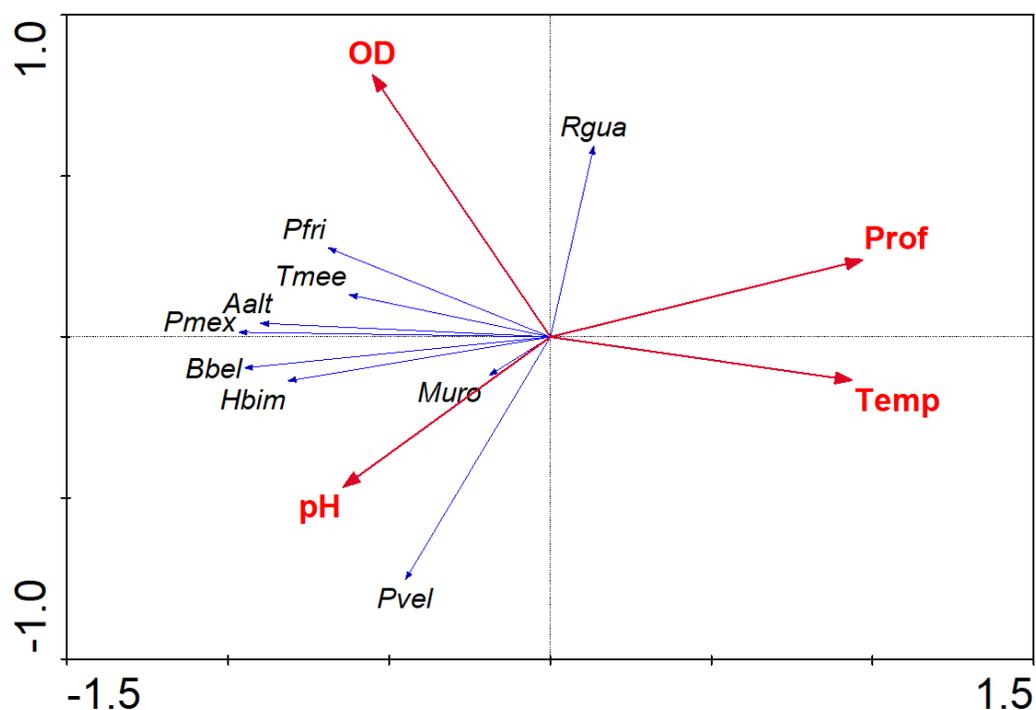


Figura 25. Gráfico obtenido con el análisis RDA de la abundancia de peces y variables ambientales registradas en la temporada de nortes. Las flechas rojas identifica las variables cuantitativas. Las especies están representadas por flechas azules.

Secas. Los primeros dos ejes canónicos explicaron el 89.2 % de la varianza en la relación especies-ambiente. La abundancia de peces se correlacionó inversamente con el oxígeno disuelto mostrando la mejor correlación con el primer eje ($r=-0.45$). Por otro lado, se observa una alta correlación entre la profundidad y la temperatura; además se observa que existe una correlación positiva entre la profundidad y el oxígeno disuelto. Las especies *B. belizanus*, *M. urophthalmus* y *P.*

velifera fueron correlacionados con la profundidad. *R guatemalensis*, *T meeki* y *P. friedrichsthalii* mostraron correlación con el pH. Las especies *R. octofasciata*, *P. mexicana* y *A. altior* mostraron una distribución con respecto al pH y la profundidad (Figura 26).

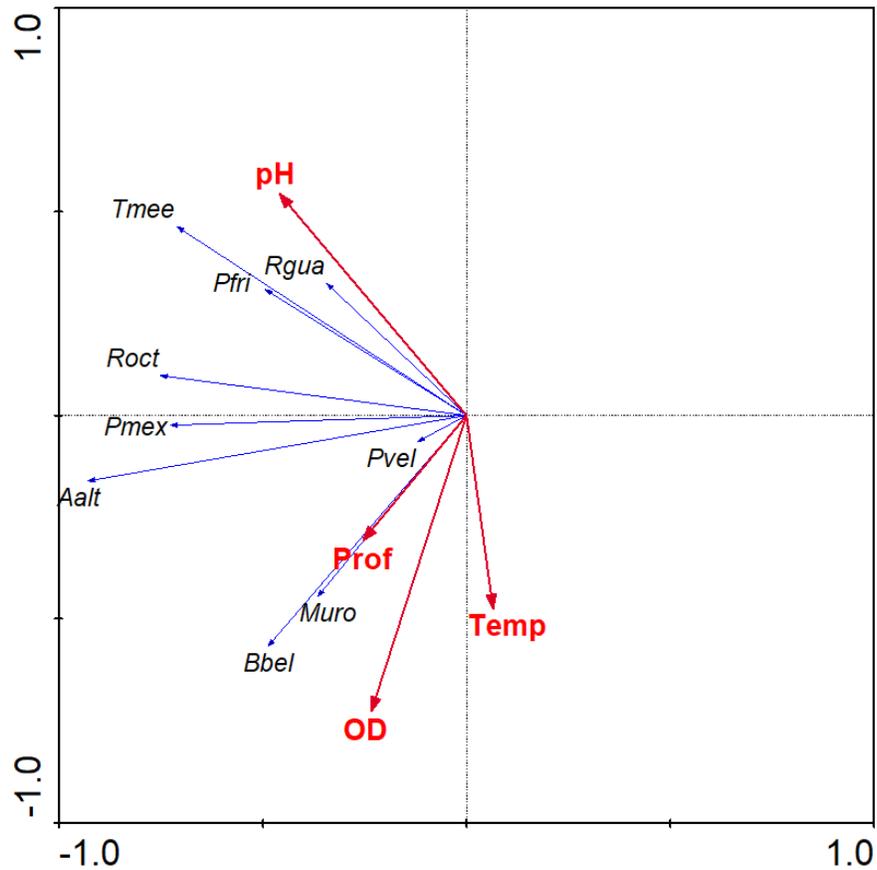


Figura 26. Gráfico obtenido con el análisis RDA de la abundancia de peces y variables ambientales registradas en la temporada de secas. Las flechas rojas identifica las variables cuantitativas. Las especies están representadas por flechas azules.

8. DISCUSIÓN

Análisis de video

Existe un gran número de trabajos que utilizan video cámaras para estudios de peces de agua dulce. Por ejemplo Ebner *et al.* (2014) analizan los videos tiempo real. Sin embargo, Stobart *et al.* (2015) y Schobernd *et al.* (2013) cuestionaron el rendimiento de analizar el video en tiempo real y descubrieron que la cantidad media de peces observada en video durante intervalos era una medida más precisa de la abundancia de peces. En este trabajo durante los experimentos para determinar la precisión del método se comprobó que realizando pausas cada 20 segundos se obtienen conteos más precisos.

Variables ambientales

A lo largo del ciclo temporal se observó que la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y solidos suspendidos mostraron diferencias significativas, lo que hace poder diferenciar las tres temporadas climáticas (lluvias, nortes y secas). En cuanto a las variables a lo largo del ciclo nictémico no mostraron diferencias significativas, a excepción de la temperatura. Estos resultados indican que durante los ciclos de 24 horas, las condiciones ambientales permanecen estables.

La época de lluvias inicia con valores altos de temperatura que paulatinamente descienden en la temporada de nortes, que es acompañada de vientos fríos del norte que llegan a la península durante esta época del año, concordando con lo reportado por Echeverría García y Piña Herrera (2003). Para el caso del ciclo nictémico la temperatura en la época de lluvias osciló entre 26 y 24°C, lo cual es un claro reflejo de las condiciones tropicales de la región.

El comportamiento del oxígeno disuelto se puede interpretar como una respuesta al efecto combinado de procesos físicos y climático-meteorológicos como el constante movimiento del agua, los vientos y la temperatura, que promueven el intercambio gaseoso con la atmósfera, así como biológicos, como la fotosíntesis, consumo respiratorio u oxidación de la materia orgánica, provocando esta variación entre temporadas pero no a escala nictemeral (Ramos *et al.*, 2003; Muñoz-Rojas *et al.*, 2013).

La salinidad no mostró diferencias estadísticamente significativas entre el día y la noche. Sin embargo, entre temporadas existieron diferencias estadísticas,

destacando los valores más bajos obtenidos en febrero, observando nuevamente los efectos de los frentes frío que trajo lluvia. Estas diferencias se atribuyen a la naturaleza cárstica de la península, donde el funcionamiento de cenotes, petenes, ojos de agua y ríos subterráneos mantienen el balance hídrico de la región (Cervantes, 2007; Villalobos-Zapata y Mendoza-Vega, 2010).

En el caso del pH que muestra una tendencia hacia la alcalinidad refleja el efecto de lavado de sedimentos carbonatados por el agua continental que recorre la zona costera de origen kárstico propia de la península de Yucatán (Cervantes, 2007). Otros procesos involucrados son la captación de CO₂ por la actividad fotosintética tanto de la vegetación litoral como por la vegetación sumergida incluyendo el fitoplancton (Hernández-Ayón *et al.*, 2004).

Para la profundidad se registró un aumento desde la época de nortes a la de lluvias relacionado con la precipitación pluvial en ésta última. Para el caso del ciclo nictémico el cambio en la profundidad por efecto de la marea fue evidente a lo largo del día.

Composición de especies

Las especies más abundantes utilizando el método tradicional fueron: *P. friedrichsthalii*, *A. altior* y *P. mexicana*, con una abundancia relativa de más del 70 % del total, mientras que las especies más abundantes utilizando la técnica de video fueron: *A. altior*, *R. guatemalensis* y *P. mexicana* con más del 90 % del total. Torres-Castro *et al.* (2009) reportó también a las especies *A. altior* y *P. mexicana* como las más abundantes para los petenes Hampolol y el Remate de la RBLP, aportando el 47 % en número de individuos del total de la captura. La dominancia de *A. altior* en el petén los Makes se podría atribuir a que es una especie que forma cardúmenes, esto fue corroborado en las observaciones de los videos, llegando a contar agrupaciones con más de 20 individuos. Además es una especie primaria propia de cenotes y aguadas del norte de la península de Yucatán (Contreras-Balderas y Lozano-Vilano, 1988).

En cuanto al valor de conservación, la fauna de peces en el petén los Makes contiene especies endémicas como *A. altior* y *P. velifera*. Además, si se consideran las categorías de riesgo establecidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, hay dos

especies amenazadas (*A. altior* y *P. velifera*), así como una especie nativa con poblaciones amenazadas (*R. guatemalensis*).

Temporalmente utilizando el método tradicional para la época de nortes y secas, las especies más abundantes fueron *P. friedrichsthalii*, *A. altior*, *R. guatemalensis* y *P. mexicana*, que son exactamente las mismas encontradas para la temporada de lluvias, a excepción de *P. mexicana* que fue sustituida por *R. octofasciata* para esta temporada. Mientras que utilizando la técnica de video durante la época de lluvias, se identificaron 4 especies más abundantes (*R. guatemalensis*, *A. altior*, *P. mexicana* y *B. belizanus*), que son exactamente las mismas encontradas para la época de nortes y secas.

Kushlan (1980) observó que las especies de peces toleran las fluctuaciones de agua tanto estacionales e interanuales. Durante éstas, los peces responden desplegando estrategias biológicas de adaptación, aumentando o disminuyendo su abundancia. De forma similar, en este estudio las condiciones hidrológicas durante las temporadas de secas y lluvias determinaron los cambios en las abundancias de las especies presentes en el petén. Por ejemplo, las especie *P. friedrichsthalii* y *T. meeki* aumenta su abundancia a finales de la época seca, lo que coincide con su época de reproducción (Winemiller, 1989).

Para el ciclo nictemeral utilizando el método tradicional durante las horas de día se identificaron 4 especies más abundantes mientras que en las horas de noche solo se registraron 4 especies siendo *R. guatemalensis* la dominante. El número de individuos capturados presentó un máximo al atardecer (17:00 h) y amanecer (06:00 h), con valores bajos durante la noche. La abundancia durante el día siempre fue mayor que durante la noche. En este sentido varios autores han señalado para diferentes comunidades de peces, que durante las horas de penumbra (amanecer y atardecer), existen importantes pulsos de actividad de las especies (Lubbers *et al.*, 1990; Helfman, 1993). Así, a nivel de la comunidad, los pulsos nictémeros al amanecer y al atardecer de la abundancia total de peces en el petén, pueden reflejar el período de transición entre el inicio y finalización de la actividad de especies diurnas y nocturnas (Helfman, 1993).

Estructura de la comunidad

El análisis temporal y nictemeral de la diversidad (**H'**), riqueza específica y equidad (**J'**) señalan que existen cambios significativos en la comunidad íctica en el petén los Makes, en cuanto al número de especies y sus abundancias relativas.

Estacionalmente los valores de diversidad y equidad no mostraron diferencias significativas. En cambio los valores de riqueza de especies se incrementaron en la temporada de nortes, lo cual coincidió con el comportamiento de la abundancia. En cuanto al ciclo nictémico destacaron los valores obtenidos en las observaciones nocturnas, cuando se registró una disminución significativa en la diversidad, riqueza y equidad. El incremento de la riqueza específica durante el atardecer puede explicarse en términos del aumento de la actividad trófica en horas de penumbra (Castillo-Rivera *et al.*, 2005).

Escalamiento Multidimensional no Métrico

Los análisis MDS no mostraron la existencia de diferencias entre las épocas climáticas. Esto se debe a que las especies encontradas son residentes, por lo tanto permanecen en el petén a lo largo de todo el año. Sin embargo los resultados del MDS y del SIMPER sugieren que existen diferencias a lo largo del día. Utilizando el método tradicional, los horarios más disímiles en cuanto a su composición de taxa fueron el mediodía y la noche. En el caso del uso de video cámaras fueron el mediodía y la noche, así como el amanecer y la noche.

De acuerdo a lo observado en la ordenación, las especies más abundantes son las que más contribuyen a las diferencias entre los conjuntos de especies. Por ejemplo, la contribución de *R. guatemalensis* se debe a que su abundancia es mayor durante la noche en comparación con el mediodía. De manera similar, la abundancia de esta especie es mayor en la temporada de lluvias; esto sugiere que posiblemente *R. guatemalensis* se mueve a diferentes hábitats en busca de recursos que, a su vez, están relacionados con las etapas de su ciclo de vida (Córdova-Tapia *et al.*, 2016).

Las especies raras también contribuyen a la formación de los conjuntos de especies y las diferencias entre estos. Por ejemplo, a pesar que *H. bimaculata* y *P. velifera* fueron registradas con valores bajos de abundancia, solo se observaron durante el día. Esto sugiere que la actividad de estas especies es principalmente

diurna.

Comparación de métodos

El video resultó ser, una técnica muy exitosa para detectar la gama de taxones de peces presents en el petén los Makes, con imágenes claras y utilizables obtenidas en todos los muestreos. Este estudio, al igual que otros (Watson *et al.*, 2005), permite concluir que ninguna técnica de muestreo es adecuada para detectar todos los peces. Utilizando la técnica tradicional no se detectaron a cuatro de las 12 especies (*B. belizanus*, *P. velifera*, *K. marmoratus* y *C. tenuis*) encontradas en el petén, *B. belizanus* no fue capturada debido a que esta especie es ictiofaga y el tipo de cebo que se utilizó era para especies onnívoras. Mientras que con el uso de las video cámaras no se detectaron dos especies (*K. marmoratus* y *C. tenuis*). Estos organismos fueron recolectados en una pequeña charca y sólo se obtuvieron cuatro individuos. Debido a que las condiciones del sitio en el que se encontraron eran poco propicias para desplegar el sistema de cámaras (la profundidad era de 3 cm y la visibilidad prácticamente nula), su presencia tiene una relevancia cuestionable en la comparación de técnicas.

Los resultados de este estudio permiten decir que el uso de técnicas de video subacuático mejora las capacidades para conocer a una comunidad de peces de agua dulce en relación con el uso exclusivo de técnicas tradicionales. Específicamente, en términos de maximizar las estimaciones de riqueza de especies, el uso de las cámaras permitió registrar un mayor número de especies que las obtenidas mediante las técnicas tradicionales en el petén los Makes. Del mismo modo, Ellender *et al.* (2011) señalan que las cámaras detectaron más eficazmente dos especies de agua dulce amenazadas que con el uso de electropesca. A su vez, King *et al.* (2018) demostraron que con las cámaras se obtienen mejores conteos de especies que usando las técnicas de redes convencionales en los arroyos de agua dulce en el Parque Nacional Kakadu, Australia.

Hay una serie de ventajas con el uso de video bajo el agua para monitorear la fauna de agua dulce. Puede representar la única técnica viable o segura para responder a tipos particulares de preguntas de investigación en determinados entornos ambientales. Por ejemplo, las técnicas de video brindan a los investigadores oportunidades inigualables para observar y medir el comportamiento como interacciones agresivas, actividad de desove y mecanismos de alimentación,

que de otro modo, no serían medibles con las técnicas tradicionales. Además, el video brinda la oportunidad de monitorear a largo plazo el comportamiento donde un observador humano se fatigaría o estaría en peligro, como en muchos sistemas tropicales habitados por cocodrilos (Ebner *et al.*, 2014).

Otro de los atributos más útiles del video subacuático en términos de evaluación de conjuntos de peces de agua dulce es su flexibilidad con respecto a la gama de tipos de hábitats en los que puede funcionar. Las cámaras se pueden colocar en profundidades abisales (Priede y Merret, 1996), en aguas poco profundas y en aguas abiertas dentro o adyacentes a estructuras relativamente densas o complejas (Becker *et al.*, 2010). Esto es ventajoso con respecto a muchas técnicas tradicionales. Por ejemplo, las redes de playa generalmente están restringidas a aguas poco profundas y substratos lisos y las aplicaciones pueden verse comprometidas por una gran estructura leñosa y una topografía bentónica compleja (Hardie *et al.*, 2006; Ebner *et al.*, 2007).

El aspecto no destructivo de encuestas visuales, incluyendo video, también es ideal para el estudio de especies poco amenazadas que están estresadas, dañadas o muertas por métodos de captura y manejo asociado. Por otra parte, incluso para especies para las cuales la captura y manipulación no son letales o no son obviamente dañinas, existe una consideración ética en torno a la compensación entre el aumento de la recopilación de datos y el aumento de la perturbación del sistema. Esta consideración es quizás más evidente en sistemas pequeños donde la perturbación del investigador modifica el hábitat bentónico, afecta temporalmente la claridad del agua y puede afectar la vegetación.

Las video cámaras tienen el potencial de ser altamente informativas, además, de poder conservar la información en un registro permanente el cual puede volver a evaluarse en el futuro. Con las disposiciones apropiadas para el almacenamiento y la compatibilidad de archivos de video, el material puede re-analizarse en la búsqueda de nuevas líneas de investigación. Los datos extraídos del video pueden ser verificados o modificados, con técnicas analíticas más avanzadas.

Es importante hacer notar que el uso de video tiene limitaciones importantes. Una limitación principal de las técnicas de inspección visual en video es su dependencia de aguas claras, por lo que, en aguas turbias este tipo de técnicas no servirían (Broadhurs *et al.*, 2006).

Otra desventaja es la limitación de la luz. La capacidad de registro de las cámaras depende de las condiciones de iluminación por lo que los estudios en los que se utilizan estas técnicas están generalmente limitados a las horas del día. Dos estudios han usado video por la noche: un estudio piloto que monitoreo la actividad diaria de peces amenazados en el río Cotter usando iluminación infrarroja (Ebner *et al.*, 2009), y un estudio que registró el comportamiento del bacalao de agua dulce de anidación oriental (*Maccullochella ikei* Rowland 1986) usando iluminación blanca (Butler y Rowland, 2009). Los resultados demuestran que la iluminación infrarroja es importante para estudios conductuales puesto que parece no alterar la conducta de los organismos.

Aunado a estos problemas, el mal funcionamiento de hardware o el bajo rendimiento de las cámaras también puede ser un problema. Ya que pueden ocurrir errores eléctricos al grabar y almacenar video (Lintermans *et al.*, 2010; Ebner *et al.*, 2014), las baterías se pueden descargar antes de usarse y las memorias de almacenamiento pueden presentar errores y no guardar la información durante el muestreo. El rendimiento de la cámara disminuye cuando las lentes se empañan o cuando la iluminación o la reflexión son intensas. El empañamiento se puede contrarrestar con bolsas desecantes y el deslumbramiento y la reflexión se pueden tratar parcialmente colocando cuidadosamente las cámaras en relación con la posición del sol y utilizando filtros de lente.

Otra limitación importante del video subacuático es la reducción de la confianza en la identificación taxonómica. Esto es especialmente relevante cuando están presentes individuos pequeños, o están lejos de la lente o existen especies que no tienen rasgos morfológicos o conductuales fácilmente distinguibles. Por ejemplo, Lowry *et al.* (2011) notaron dificultad en distinguir especies de peces con apariencia similar (típicamente juveniles) o aquellos que se mueven rápidamente más allá de la cámara. En este estudio se tuvo dificultad para identificar a los peces debido al resplandor del agua durante el amanecer y mediodía por lo que se requirió de tiempo adicional para buscar lentamente las imágenes cuadro por cuadro en busca de una imagen clara para permitir la identificación de la especie.

El uso de cámaras pueden ser beneficioso en futuras aplicaciones de investigación como la documentación de eventos raros. Además la integración de sensores de presión, temperatura, oxígeno disuelto, pH y salinidad en las cámaras

sería beneficioso para proporcionar una mayor comprensión del comportamiento de los organismos.

En el futuro veremos que el video se convertirá en una técnica estándar para examinar una amplia diversidad de fauna de agua dulce en sistemas de agua clara en la Península de Yucatán y otros lugares.

Influencia ambiental sobre las asociaciones ícticas

De acuerdo con los resultados del RDA se puede concluir que en el petén las asociaciones ícticas están influenciadas por la variabilidad en profundidad, oxígeno disuelto, pH y temperatura. Asimismo, en este sitio se observó la presencia de vegetación acuática asociada al fondo donde individuos pequeños de *P. friedrichsthalii*, *T. meeki*, *R. octofasciata*, *A. altior*, *H. bimaculata*, *P. velifera* y *P. mexicana* fueron más frecuentes, probablemente por ser lugares con mayor disponibilidad de alimento y protección (Gamboa-Pérez & Schmitter-Soto, 1999).

Durante las temporadas de nortes y lluvias se observaron con más frecuencia las especies *T. meeki*, *R. octofasciata* y *A. altior* ya que muestran una mayor preferencia por aguas profundas y altos valores de oxígeno disuelto.

El gradiente ambiental durante la estación seca se relaciona con una disminución en el nivel del agua y un aumento de la temperatura, junto con una concentración baja y constante de oxígeno disuelto. Estas condiciones ambientales son interdependientes: una reducción en la profundidad tiene un efecto en la temperatura, ya que el sol puede calentar una mayor proporción del agua y, como resultado, se espera una disminución en la concentración de oxígeno disuelto (Wetzel, 2001). La baja concentración de oxígeno disuelto es una amenaza directa para los organismos acuáticos y puede tener efectos letales en los organismos acuáticos como peces, macroinvertebrados y zooplancton (Ding *et al.*, 2016; Rao *et al.*, 2014). La concentración de oxígeno disuelto en el petén fue consistentemente menor a 1.39 mg / L durante toda la temporada, lo que sugiere que los individuos de las distintas especies presentes en el petén estén expuestos a condiciones severas, cercanas a sus límites de tolerancia.

La variabilidad de la profundidad en la época de secas y lluvias en el petén probablemente puede tener una mayor influencia, en comparación con el resto de las variables, sobre la estructura de las asociaciones de peces. Lo anterior se apoya en

el trabajo de Kushlan (1980) en los Everglades, quien afirmó que la comunidad de peces se estructura de acuerdo a la estabilidad o a las fluctuaciones de los niveles de agua en el sistema.

Los resultados sugieren que las diversas asociaciones de especies presentes en el petén no son el resultado de un proceso azaroso, sino que están influenciadas por las condiciones de los parámetros ambientales y a su vez podrían estar afectadas por otros procesos biológicos y ecológicos. Diversos estudios han señalado la influencia de los parámetros ambientales en la composición de las asociaciones de peces (Kushlan 1980; Schmitter-Soto & Gamboa-Pérez, 1996; Gelwick *et al.*, 2001; Hoeinghaus *et al.*, 2003; Kobza *et al.*, 2004). Otros autores atribuyen esta influencia no sólo a los parámetros ambientales sino también a variables biológicas como el porcentaje de cobertura de macrófitas, la complejidad del hábitat, las redes tróficas y las relaciones de competencia y depredación (Kushlan, 1980; Kupschus & Tremain, 2001; Heredia, 2002; Petry *et al.*, 2003).

9. CONCLUSIONES

Las especies más abundantes en el petén los Makes fueron *Astyanax altior*, *Belonesox belizanus*, *Poecilia mexicana*, *Rhamdia guatemalensis* y *Parachromis friedrichsthalii*.

Las especies de peces más abundantes se mantienen a lo largo de las temporadas y del ciclo nictémero.

Durante la temporada de nortes se presentó el mayor número de especies y diversidad.

En los ciclos nictémeros la mayor diversidad se presentó durante las horas de luz, principalmente durante la tarde, mientras que la menor diversidad se presentó en la noche.

Los experimentos en este estudio mostraron que, en el análisis de los videos, la frecuencia de observación cada 20 segundos es la ideal para obtener un número aproximado al real para contar el número de individuos como para identificar las especies presentes.

La caracterización en la composición de especies a través del uso de las metodologías de video y trampas mostró diferencias.

La técnica basada en cámaras resultó ser una herramienta versátil para describir la comunidad de peces en el petén en condiciones de buena visibilidad.

Los resultados muestran que las cámaras constituyen un medio invaluable para estudiar los peces de forma no invasiva.

El uso de cámaras puede ser beneficioso en futuras aplicaciones de investigación, como documentar eventos raros o poco frecuentes.

Integrar sensores fisicoquímicos a los sistemas de observación subacuáticos sería beneficioso para comprender mejor el comportamiento de los organismos.

10. TRABAJOS CITADOS

- Anderson, M. J., Gorely, R. N., & Clarke, K. R. (2008). *PERMANOVA+Primer: Guide to Software and Statistical Methods*. Plymouth, UK: PRIMER-E Ltd.
- Arceo-Carranza, D., Vega-Cendejas, M. E., Montero-Muñoz, J. L., & Hernández de Santillana, M. J. (2010). Influencia del hábitat en las asociaciones nictimerales de peces en una laguna costera tropical. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81, 823-837.
- Batllore Sampedro, E. (2012). Condiciones actuales del agua subterránea en la península de Yucatán. En M. Chavéz Gúzman (Ed.), *El manejo del agua a través del tiempo en la península de Yucatán*. Yucatán, México: Universidad Autónoma de Yucatán, Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi, Unidad de Ciencias Sociales, Fundación Gonzalo Río Arronte IAP, Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán.
- Becker, A., Cowley, P., & Whitfield, A. (2010). Use of remote underwater video to record littoral habitat use by fish within a temporarily closed South African estuary. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 391, 161-168.
- Bellis, M. (2004). *History of the Digital Camera. The history of the digital camera dates back to the early 1950s*. Recuperado el 5 de marzo de 2018, de ThoughtCo: <https://www.thoughtco.com/history-of-the-digital-camera-4070938>
- Berlanga, H., Rodríguez-Contreras, V., Oliveras de Ita, A., Escobar, M., Rodríguez, L., Vieyra, J., y otros. (2008). *Red de Conocimientos sobre las Aves de México (AVESMX)*. Obtenido de CONABIO: <http://avesmx.conabio.gob.mx/>
- Broadhurs, B., Thiem, J., & Ebner, B. (2006). Video monitoring in upland streams. En B. Ebner, J. Thiem, M. Lintermans, & D. Gilligan, *An ecological approach to re-establishing Australian freshwater cod populations: an application to trout cod in the Murrumbidgee catchment* (págs. 95-104).
- Butler, G., & Rowland, S. (2009). Using underwater cameras to describe the reproductive behaviour of the endangered eastern freshwater cod *Maccullochella ikei*. *Ecology of freshwater fish*, 18, 337-349.

- Cappo, M., De'ath, G., & Speare, P. (2007). Inter-reef vertebrate communities of the Great Barrier Reef Marine Park determined by baited remote underwater video stations. *Ecology Progress*, 350, 209-221.
- Castillo-Rivera, M., Zárate, R., & Ortiz, S. (2005). Variación nictímera y estacional de la abundancia, riqueza y especies dominantes de peces, en un ambiente salobre de sustrato blando. *Hidrobiológica*, 2 Especial (15), 227-238.
- Castro-Aguirre, J. L., Espinosa, H., & Schmitter-Soto, J. J. (1999). *Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México* (Primera ed.). México: Limusa.
- Cervantes Martínez, A. (2007). El balance hídrico en cuerpos de agua cársticos de la Península de Yucatán. *Teoría y Praxis*, 3, 143-152.
- Chumba-Segura, L., & Barrientos Medina, R. C. (2010). Peces dulceacuícolas. En R. Durán, & M. Méndez, *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán* (pág. 496). CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.
- Contreras-Balderas, S., & Lozano-Vilano, M. (1988). Problemas nomenclaturales de las formas mexicanas del género *Astyanax*, (Pisces.Characidae). *Zoología Informa*, 38, 1-13.
- Cooke, S. J., & Schreer, J. F. (2000). Determination of fish community composition in the untempered regions of a thermal effluent canal: the efficacy of a fixed underwater videography system. *Environmental Monitoring and Assessment*, 73, 109–129.
- Córdova-Tapia, F., Hernández-Marroquín, V., & Zambrano, L. (2016). The role of environmental filtering in the functional structure of fish communities in tropical wetlands. *Freshwater Fish*, 27, 522–532.
- Costa, C., Loy, A., Cataudella, S., & Davis, D. (2006). Extracting fish size using dual underwater cameras. *Aquacultural Engineering*, 35, 218–227.
- Cowardin, L. M., Carter, V., Golet, F. C., & LaRoe, E. T. (1979). *Classification of Wetlands and Deepwater habitats of the United States* (Second ed.). Virginia.
- De Leo, F. C., Smith, C. R., Rowden, A. A., Bowden, D. A., & Clark, M. R. (2010). Submarine canyons: hotspots of benthic biomass and productivity in the deep sea. *Proceedings of the Royal Society B*, 277, 2783–2792.

- Ding, Y., Rong, N., & Shan, B. (2016). Impact of extreme oxygen consumption by pollutants on macroinvertebrate assemblages in plain rivers of the Ziya River Basin, north China. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 14147-14156.
- Durán García, R. (1987). Descripción y análisis de la estructura y composición de la vegetación de los petenes del noroeste de Campeche. *Biótica*, 12 (3), 181-198.
- Ebner, B. C., Starrs, D., Morgan, D. L., Fulton, C. J., Donaldson, J. A., Doody, S. J., y otros. (2014). Emergence of field-based underwater video for understanding the ecology of freshwater fishes and crustaceans in Australia. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 97, 287–296.
- Ebner, B. C., & Morgan, D. L. (2013). Using remote underwater video to estimate freshwater fish species richness. *Journal of Fish Biology*, 82, 1592–1612.
- Ebner, B., Clear, R., Godschalx, S., & Beitzel, M. (2009). In-stream behavior of threatened fishes and their food organisms based on remote video monitoring. *Aquatic Ecology*, 41, 231–237.
- Ebner, B., Broadhurst, B., Lintermans, M., & Jekabsons, M. (2007). A possible false negative: Lack of evidence for trout predation on a remnant population of the endangered Macquarie perch, *Macquaria australasica*, in Cotter Reservoir, Australia. *Journal of Marine and Freshwater Research* (41:2), 231-237.
- Echeverría García, A. W., & Piña Herrera, G. A. (2003). *Ficha Informativa de los humedales RAMSAR (FIR). Reserva Estatal El Palmar.*
- Ellender, B. R., Becker, A., Weyl, O. L., & Swartz, E. R. (2011). Underwater video analysis as a non-destructive alternative to electrofishing for sampling imperilled headwater stream fishes. *Aquatic conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 22, 58–65.
- Ellison, A., Rodríguez López, C. M., Moran, P., Breen, J., Swain, M., Megias, M., y otros. (2015). Epigenetic regulation of sex ratios may explain natural variation in self-fertilization rates. *Proc. R. Soc. B.*, 282, 1819.
- Gallardo-Torres, A., Badillo-Alemán, M., Rivera Felix, V., Rubio Molina, J., Galindo de Santiago, C., Loera Pérez, J., y otros. (2014). *Catálogo de peces de la costa norte de Yucatán*. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo Mixto CONACYT, Mérida, Yucatán.

- Gamboa-Pérez, H. C., & Schmitter-Soto, J. J. (1999). Distribution of cichlid fishes in the littoral of Lake Bacalar, Yucatan Peninsula. *Environmental Biology of Fishes*, 54, 35–43.
- Garcia, M. J., Ferro, J. M., Mattox, T., Kopelic, S., Marson, K., Jones, R., y otros. (2016). Phenotypic differences between the sexes in the sexually plastic mangrove rivulus fish (*Kryptolebias marmoratus*). *Journal of Experimental Biology*, 219, 988-997.
- Gleason, J. P. (1972). *The origin, sedimentation and stratigraphy of a calcitic mud location in the southern fresh-water Everglades. Ph.D. thesis.* Pennsylvania State University. University Park, Pennsylvania.
- Harasti, D., Gallen, C., Malcolm, H., Tegart, P., & Hughes, B. (2014). Where are the little ones: distribution and abundance of the threatened serranid *Epinephelus daemeli* (Günther, 1876) in intertidal habitats in New South Wales, Australia. *Journal of Applied Ichthyology*, 30, 1007–1015.
- Hardie, S. A., Barmuta, L. A., & White, R. W. (2006). Comparison of day and night fyke netting, electrofishing and snorkelling for monitoring a population of the threatened golden galaxias (*Galaxias auratus*). *Hydrobiologia*, 560, 145–158.
- Heithaus, M. R., Dill, L. M., Marshall, G. J., & Buhleier, B. (2002). Habitat use and foraging behavior of tiger sharks *Galeocerdo cuvier* in a seagrass ecosystem. *Marine Biology*, 140, 237-248.
- Helfman, G. S. (1993). Fish Behaviour by Day, Night and Twilight. En Chapman, & Hall, *Behaviour of teleost fishes* (págs. 479-512). London: T.J. Pitcher.
- Hernández-Ayón, M., Galindo-Bect, S. M., Camacho-Ibar, V., García-Esquivel, Z., González-Gómez, M. A., & Ley-Lou, F. (2004). Dinámica de los nutrientes en el brazo oeste de Bahía San Quintín, Baja California, México, durante y después de El Niño 1997/1998. *Ciencias Marinas*, 30 (1A), 119–132.
- Hewitt, J. E., Thrush, S. E., & Cummings, V. J. (2001). Assessing environmental impacts: effects of spatial and temporal variability at likely impact scales. *Ecological Applications*, 11 (5), 1502-1516.

- Hughes, N. F., Hayes, J. W., Shearer, K. A., & Young, R. G. (2003). Testing a model of drift-feeding using three-dimensional videography of wild brown trout, *Salmo trutta*, in a New Zealand river. *60* (12), 1462-1476.
- King, A. J., George, A., Buckle, D. J., Novak, P. A., & Fulton, C. J. (2018). Efficacy of remote underwater video cameras for monitoring tropical wetland fishes. *Hydrobiologia*, *807*, 145.
- Kingsford, M., & Battershill, C. (1998). *Studying Temperate Marine Environments: A handbook for ecologists*. New Zealand: Canterbury University Press.
- Koenig, C. C., Bueno, L. S., Coleman, F. C., Cusick, J. A., Ellis, R. D., Locascio, J. V., y otros. (2016). Diel, lunar and seasonal spawning patterns of the Atlantic goliath grouper, *Epinephelus itajara*, in Florida, United States. *Bulletin of Marine Science*, *93*, 391-406.
- Kough, A. S., Copeland, A., Berger, W., & Truelove, N. K. (2017). An affordable, simplistic, and efficient light trap for capturing healthy settlement stage marine larval fish. *Bulletin of Marine Science*, *93* (2), 653-670.
- Kumpf, H. E., & Lowenstein, J. M. (1962). Undersea observation station. *Sea Frontiers*, *8*, 198-206.
- Kushlan, J. A. (1980). Population fluctuations of Everglades fishes. *Copeiu*, 870-874.
- Lintermans, M., Broadhurst, B., Thiem, J., Ebner, B., Wright, D., Clear, R., y otros. (2010). *Constructed homes for threatened fishes in the Cotter River catchment: Phase 2 final report. Report to ACTEW Corporation*. Institute for Applied Ecology, University of Canberra, Canberra.
- Lipej, L., Bonaca, M. O., & Sisko, M. (2003). Coastal Fish Diversity in Three Marine Protected Areas and One Unprotected Area in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic). *Marine Ecology*, *24* (4), 259-273.
- Livingston, R. J. (1976). Diurnal and Seasonal Fluctuations of Organisms in a North Florida Estuary. *Estuarine and Coastal Marine Science*, *4*, 373-400.

- López-Portillo, J. A., Vásquez Reyes, V. M., Gómez Aguilar, L., & Priego Santander, A. G. (2010). Humedales. En E. Florescano, & J. Ortiz, *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz* (págs. 222-248).
- Lowry, M., Folpp, H., & Gregson, M. (2011). Evaluation of an underwater solid state memory video system with application to fish abundance and diversity studies in southeast Australia. *Fisheries Research*, 110, 10–17.
- Lubbers, L., Boynton, W. R., & Kemp, W. M. (1990). Variations in structure of estuarine fish communities in relation to abundance of submersed vascular plants. *Marine ecology progress series*, 64, 1-14.
- Mas, J.-F., & Correa Sandoval, J. (2000). Análisis de la fragmentación del paisaje en el área protegida "Los Petenes", Campeche, México. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 43, 42-59.
- Mair, A. W. (1928). *Oppian, Colluthus, Tryphiodorus*. London: Heinemann.
- Menaker, M. (1969). Biological Clocks. *BioScience*, 19 (8), 681-692.
- Michael, A. P., Croff, K. L., McLetchie, K. W., & Irish, J. D. (2002). A remote monitoring system for Open Ocean Aquaculture. *Oceans MTS/IEEE Symposium*. Biloxi, Mississippi.
- McCauley, D. J., DeSalles, P. A., Young, H. S., Papastamatiou, Y. P., Caselle, J. E., Deakos, M. H., y otros. (2014). Reliance of mobile species on sensitive habitats: A case study of manta rays (*Manta alfredi*) and lagoons. *Marine Biology*, 161 (9), 1987-1998.
- Moyle, P. B., & Cech, J. J. (2000). *Fishes: an Introduction to Ichthyology* (4th ed.). New Jersey: Prentice-Hall.
- Mueller, R. P., Brown, R. S., Hop, H., & Moulton, L. (2006). Video and acoustic camera techniques for studying fish under ice: a review and comparison. *Fish Biology and Fisheries*, 16, 213–226.
- Muñoz-Rojas, S., Ayala-Pérez, L. A., Sosa-López, A., & Villalobos-Zapata, G. J. (2013). Distribución y abundancia de la comunidad de peces en la porción litoral de la

Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*, 61 (1), 213-227.

Myrberg, A. A., Banner, A., & Richard, J. D. (1969). Shark attraction using a video-acoustic system. *Marine Biology*, 2, 264–276.

Navarro-Mendoza, M. (1988). *Inventario íctico y estudios ecológicos preliminares de los cuerpos de agua continentales en la reserva de la biosfera de Sian Ka'an y áreas circunvecinas en Quintana Roo, México*. Centro de Investigaciones de Quintana Roo/Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología/ United States Fish & Wildlife Service, Chetumal, México.

Obordo, C. O., & Chapman, L. J. (1997). Respiratory strategies of a non-native Florida cichlid, *Cichlasoma octofasciatum*. *Florida Scientist*, 60 (1), 40-52.

Olmsted, I., Loope, L. L., & Hilsenbeck, C. E. (1980). *Tropical hardwood hammocks of the interior of Everglades National Park and Big Cypress National Preserve (Report T-604)*. National Park Park. South Florida Research Center, Homestead, Florida.

Priede, I. G., & Merret, N. R. (1996). Estimation of abundance of abyssal demersal fishes; a comparison of data from trawls and baited cameras. *Fish Biology*, 49, 207-216.

Pronko, A. J., Perlman, B. M., & Ashley-Ross, M. A. (2013). Launches, squiggles and pounces, oh my! The water–land transition in mangrove rivulus (*Kryptolebias marmoratus*). *Journal of Experimental Biology*, 216, 3988-3995.

Ramos Olmos, R., Sepúlveda Marqués, R., & Villalobos Moreto, F. (2003). *El Agua en el Medio Ambiente, Muestreo y análisis*.

Ramos-Miranda, J., Bejarano-Hau, K., Flores-Hernández, D., & Ayala-Pérez, L. A. (2009). Growth, mortality, maturity, and recruitment of the star drum (*Stellifer lanceolatus*) in the southern Gulf of Mexico. *Ciencias Marinas*, 35 (3), 245-257.

Rao, Y. R., Howell, T., Watson, S. B., & Abernethy, S. (2014). On hypoxia and fish kills along the north shore of Lake Erie. *Journal of Great Lakes research*, 40, 187-191.

Reubens, J., De Rijcke, M., Degraer, S., & Vincx, M. (2014). Diel variation in feeding and activity patterns of juvenile Atlantic cod at offshore wind farms. *Journal of Sea Research*, 85, 214–221.

- Richard, J. D. (1968). Fish Attraction with Pulsed Low-Frequency Sound. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 25 (7), 1441-1452.
- Ross, S. T., McMichael Jr, R. H., & Ruple, D. L. (1987). Seasonal and diel variation in the standing crop of fishes and macroinvertebrates from a Gulf of Mexico surf zone. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 25, 391-412.
- Sánchez-Santillán, N., Garduño López, R., Vidal Zepeda, R., & Sánchez Trejo, R. (2012). Cambio climático en el NE de México: influencia en la Oscilación del Atlántico Norte. *Revista de Investigaciones Geográficas*, 78, 7-18.
- SARH, S. (1992). *Ley de Aguas Nacionales*. Diario Oficial de la Federación (DOF). Última reforma publicada el 20 de junio de 2011.
- SEDUMA, S. (2006). *Plan de Manejo de la Reserva Estatal El Palmar*. Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán.
- Schobernd, Z. H., Bacheler, N. M., & Conn, P. B. (2013). Examining the utility of alternative video monitoring metrics for indexing reef fish abundance. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71.
- Steinberg, J. C., Cummings, W. C., Brahy, B. D., & MacBain, J. Y. (1965). Further bioacoustic studies off the west coast of North Bimini, Bahamas. *Bulletin of Marine Science*, 15 (4), 942–963.
- Stobart, B., Díaz, D., Álvarez, F., Alonso, C., Mallol, S., & Goni, R. (2015). Performance of baited underwater video: does it underestimate abundance at high population densities? *PLoS ONE*, 10, 1 - 18.
- Stoner, A. W. (1991). Diel variation in the catch of fishes and penaeid shrimps in a tropical estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 33, 57-69.
- Taylor, S. D., Turner, B. J., Davis, W. P., & Chapman, B. B. (2008). A Novel Terrestrial Fish Habitat inside Emergent Logs. *Natural History Note*, 171 (2), 263–266.
- ter Braak, C. F., & Smilauer, P. (2002). *CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)*. NY: Microcomputer Power, Ithaca.

- Torres-Castro, I. L., Vega-Cendejas, M. E., Schmitter-Soto, J. J., Palacio-Aponte, G., & Rodiles-Hernández, R. (2009). Ictiofauna de sistemas cárstico-palustres con impacto antrópico: los petenes de Campeche, México. *Biología Tropical*, 57, 141-157.
- Torres Trejo, J. C. (1993). *Vegetación, suelo e hidrodinámica de los petenes de la reserva Dzilam, Yucatán. Tesis de Licenciatura*. Universidad Autónoma de Yucatán, Merida, Yucatan.
- Villalobos-Zapata, G. J. (2004). Reservas de la Biósfera Costeras: Los Petenes y Ría Celestún. En E. Rivera-Arriaga, G. J. Villalobos-Zapata, I. A. Azuz-Adeth, & F. Rosado-May, *El Manejo Costero en México* (págs. 397-412). México: UAC/CETYS Univesidad/UQROO/SEMARNAT.
- Villalobos-Zapata, G. J., & Mendoza Vega, J. (2010). *La Biodiversidad en Campeche: estudio de estado* (Primera ed.). México: Comisión Naional para el Conocimiento y Uso de la Biodivesidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera del Sur.
- Watson, D. L., Harvey, E. S., Anderson, M. J., & Kendrick, G. A. (2005). A comparison of temperate reef fish assemblages recorded by three underwater stereo-video techniques. *Marine Biology*, 148, 415–425.
- Weyl, O. F., Ellender, B. R., Woodford, D. J., & Jordaan, M. S. (2013). Fish distributions in the Rondegat River, Cape Floristic Region, South Africa, and the immediate impact of rotenone treatment in an invaded reach. *African Journal of Aquatic Science*, 38, 201-209.
- Whitmarsh, S. K., Fairweather, P. G., Harvey, E., & Huveneers, C. (2016). Investigating the effects of light color on fish assemblages observed at night via baited video. *Bulletin of Marine Science*.
- Winemiller, K. O. (1989). Patterns of variation in life history among South American fishes in seasonal environments. *Oecologia*, 81, 225-241.
- Yáñez-Arancibia, A., & Day, J. W. (1982). Ecological characterization of Terminos Lagoon, a tropical lagoon-estuarine system in the Southern Gulf of Mexico. 5, 431-440.

ANEXOS

ANEXO I: Procesamiento de video con MATLAB

Una preocupación principal en la evaluación de las poblaciones de peces es el proporcionar datos de abundancia con suficiente precisión, al tiempo de reducir los efectos de manipulación adversos asociados con la toma de muestras. Existen varios métodos tradicionales de muestreo para la evaluación de las poblaciones de peces que incluyen un variado conjunto de artes de pesca, electropesca y censos visuales. En la última década, las técnicas de captura de imágenes bajo el agua se han utilizado con éxito para estudiar las asociaciones de peces en el medio marino (Cappo *et al.*, 2007). En los sistemas arrecifales se realizan consuetudinariamente video transectos para obtener información sobre la biodiversidad y abundancias poblacionales. Estas técnicas de observación también permiten estudiar el comportamiento en condiciones naturales y se ha explorado poco la posibilidad de analizar los patrones de las asociaciones de peces entre los hábitats, así como los procesos de alimentación que pueden estar impulsando esos patrones. Este trabajo será de los primeros en utilizar estas metodologías no invasivas para obtener información sobre la composición específica y la abundancia de los peces que habitan en el sistema de petenes costeros de la costa norte de Yucatán.

Una gran limitante que existe cuando se utiliza video bajo el agua, es el aumento en el tiempo que lleva procesar las imágenes manualmente. Por esta razón, se necesita la automatización en el procesamiento de videos subacuáticos y desarrollar un sistema de preprocesamiento de imágenes que puede ser implementado en una plataforma como MATLAB utilizando técnicas adecuadas de procesamiento y análisis de imágenes como mejora de contraste, eliminación de ruido y detección del fondo.

Método

PASO 1: RECOPIACIÓN DE DATOS

Las imágenes de video utilizadas en este proyecto se obtuvieron de dos maneras.

La primera fue en un ambiente controlado dentro de una pecera de 40 litros con fondo blanco y fondo con camuflaje, se introdujeron peces de diferentes especies (Figura 27).

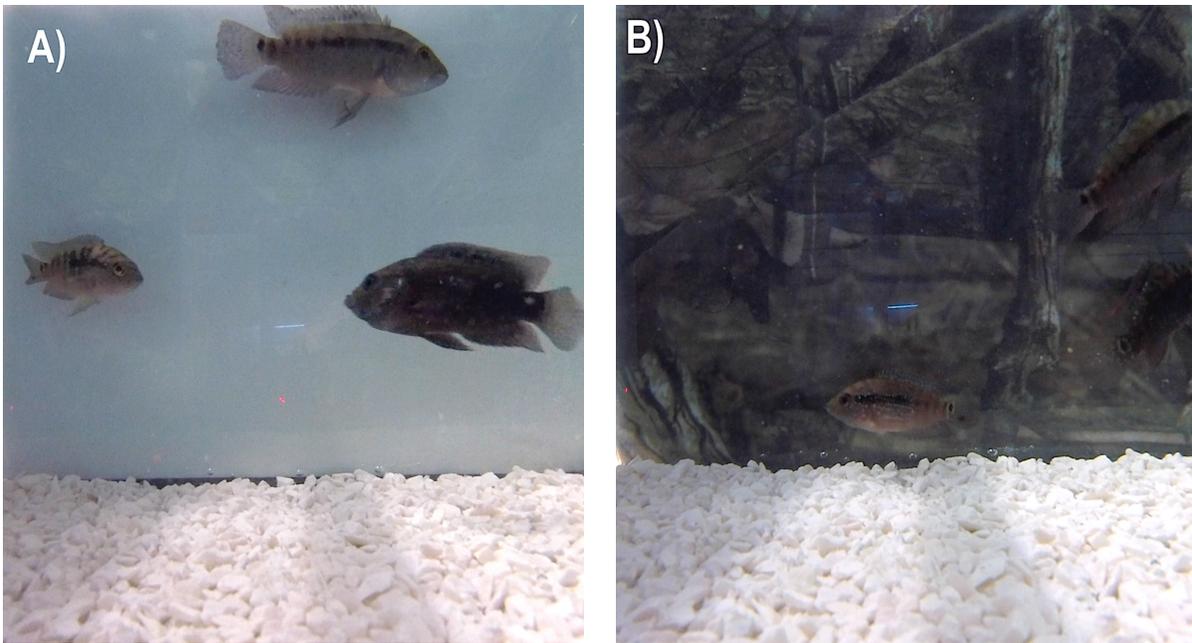


Figura 27. Experimento para detectar peces en un ambiente controlado A) Fondo blanco B) Fondo con camuflaje

La segunda fue en el petén los Makes ubicado dentro de la Reserva Estatal el Palmar. El petén presenta un ojo de agua permanente, el área de su manantial principal se estima en 34 m^2 y su profundidad media es de 73 cm.

La adquisición de los videos se llevó a cabo colocando cámaras GoPro® Hero 4 Black Edition HD, montadas a una base construida con tubos de PVC de 19 mm de diámetro con un diseño trapezoidal con perforaciones a lo largo de toda la estructura para evitar su flotabilidad.

PASO 2: IMPORTAR VIDEO E INICIALIZAR EL DETECTOR DE PRIMER PLANO

En lugar de procesar inmediatamente todo el video, se obtuvo un cuadro de video inicial en el que los objetos en movimiento se segmentaron desde el fondo. Esto ayudó a introducir gradualmente los pasos utilizados para procesar el video.

Se utilizó la función *vision.ForegroundDetector* que es un detector de primer plano requiere una cierta cantidad de cuadros de video para inicializar el modelo de mezcla de Gauss.

PASO 3 - DETECTAR MOVIMIENTO EN EL VIDEO

El proceso de segmentación en primer plano a menudo incluye ruido indeseable. Para eliminar el ruido se utilizó la función *vision.BlobAnalysis* que genera una apertura morfológica para rellenar huecos en los objetos detectados.

Para resaltar los peces detectados, se utilizaron cuadros verdes a su alrededor. La cantidad de cuadros delimitadores corresponde a la cantidad de peces o movimiento encontrados en el frame de video.

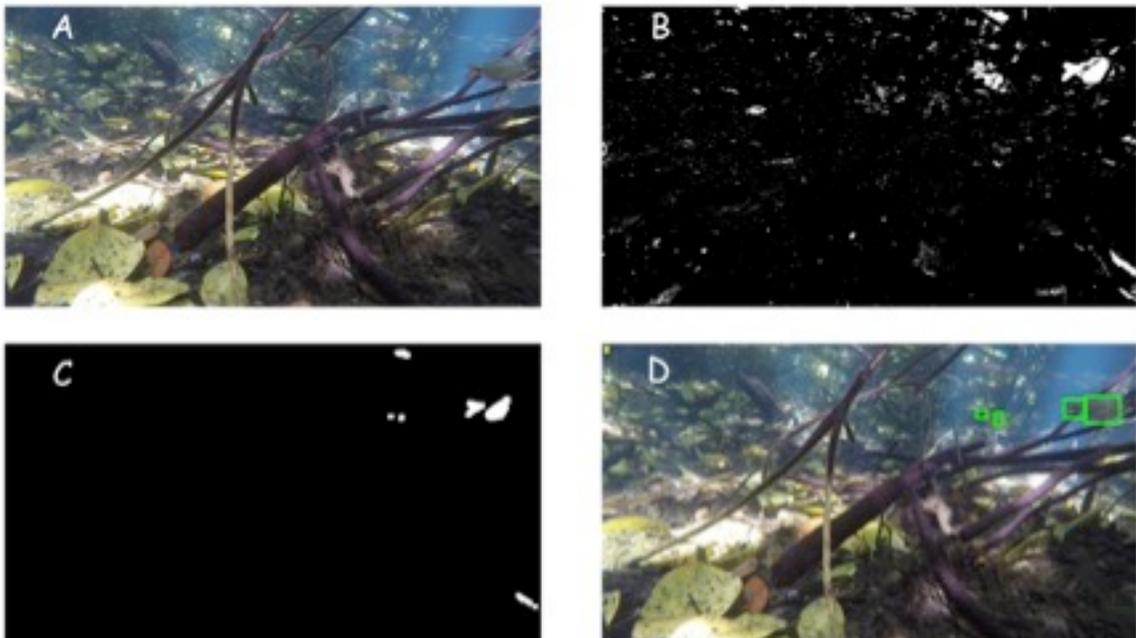


Figura 28. A) Imagen original. B) Máscara de primer plano calculada por el detector con ruido. C) Eliminación del ruido en el primer plano. D) Detección de movimiento encerrado en un recuadro verde.

PASO 4: PROCESAR EL RESTO DE LOS CUADROS DE VIDEO

En el paso final, se procesaron los cuadros de video restantes.

Conclusiones

El Programa mostró funcionar tanto en un ambiente controlado como en campo para detectar y seguir peces en los videos, sin embargo, tiene sus limitaciones al detectar el cambio de luz como movimiento,. Es necesario trabajo adicional como incluir la

identificación de especies usando el color y textura para una identificación más fiable de las especies de peces.

La automatización de las imágenes de video es necesaria y posible. El procesamiento automático de grandes cantidades de secuencias de imágenes de video será de gran beneficio en el futuro. Permitirá a los investigadores estudiar el medio ambiente y sus especies de manera más efectiva.

ANEXO II. Valores de p resultantes de la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias significativas en los factores temporal y nictemeral de las variables ambientales. Diferencias significativas $p < 0.05$.

	Temperatura	Oxígeno Disuelto	pH	Profundidad
Temporal	0.00000944	0.0006929	0.006113	0.211
Nictemeral Nortes	0.14	0.84	0.16	0.1347
Nictemeral Lluvias	0.28	0.32	0.3293	0.1831
Nictemeral Secas	0.07	0.92	0.0719	0.0719

ANEXO III: Representación gráfica del comportamiento nictémero de la abundancia numérica relativa (N, %) de peces por temporada y método

Lluvias

Video

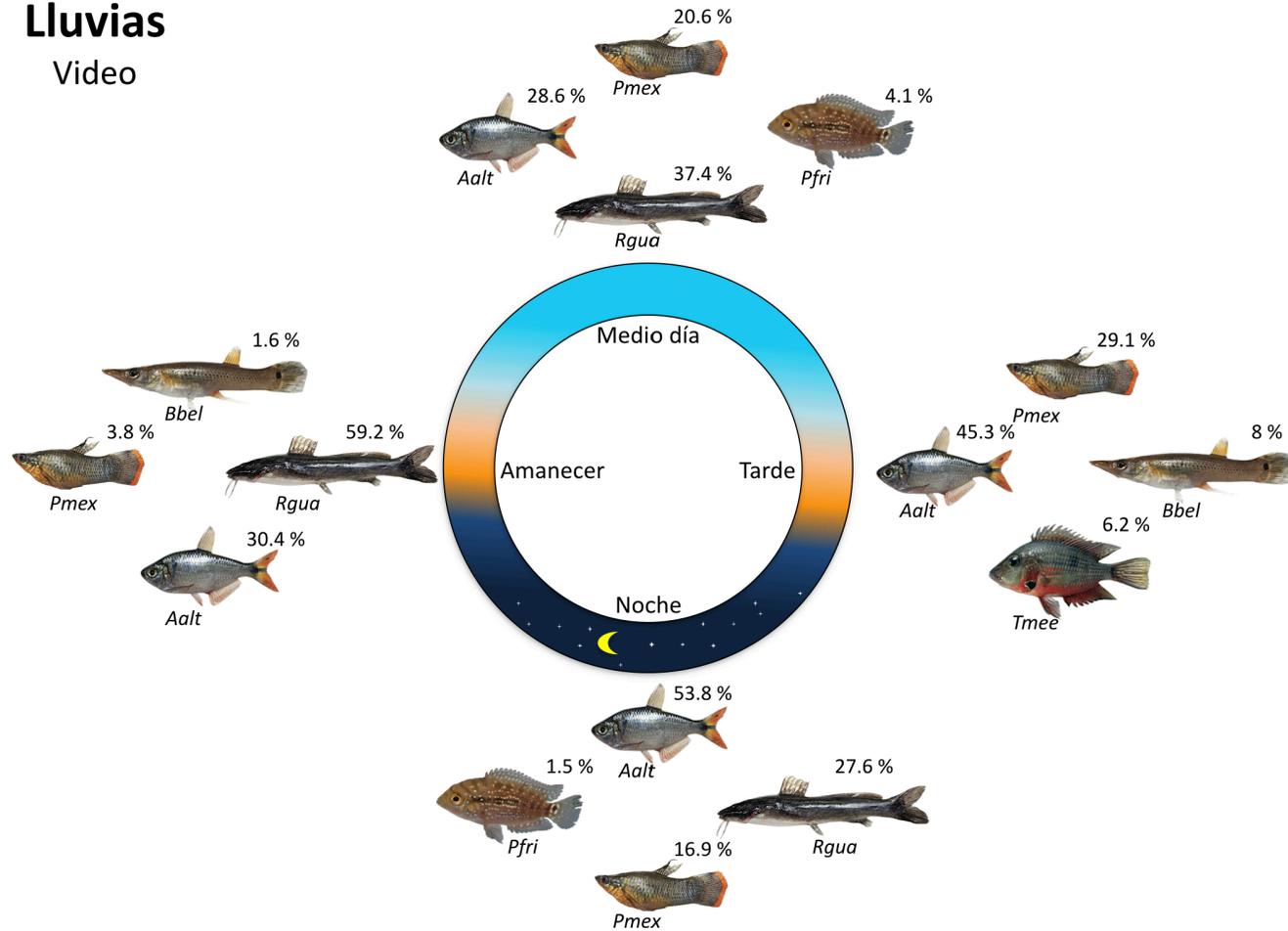


Figura 29. Comportamiento nictémero de la abundancia de peces en temporada de lluvias utilizando video cámaras.

Lluvias

Trampas

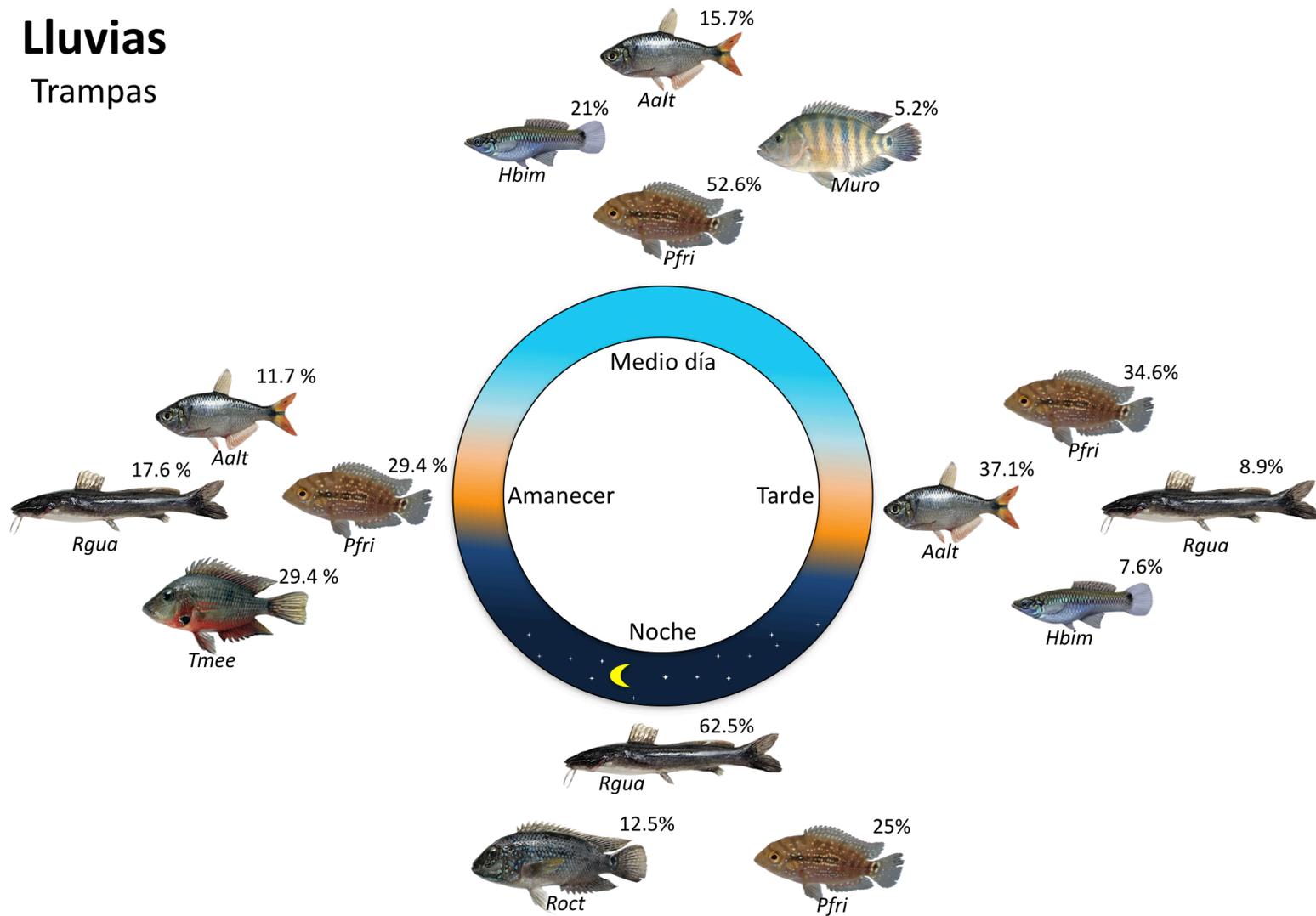


Figura 30. Comportamiento nictémero de la abundancia de peces en temporada de lluvias utilizando trampas.

Nortes

Video

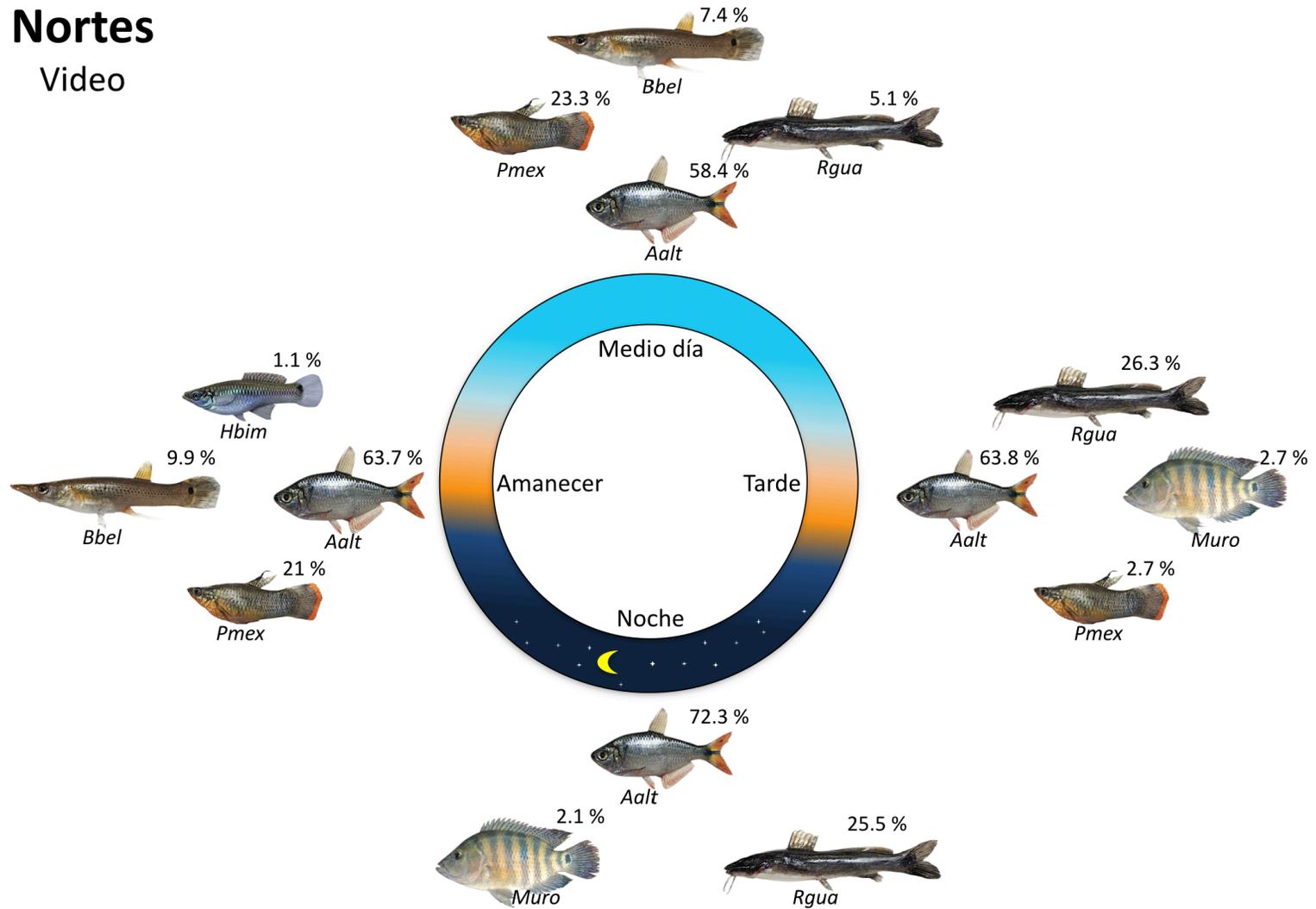


Figura 31. Comportamiento nictémero de la abundancia de peces en temporada de nortes utilizando video cámaras.

Nortes

Trampas

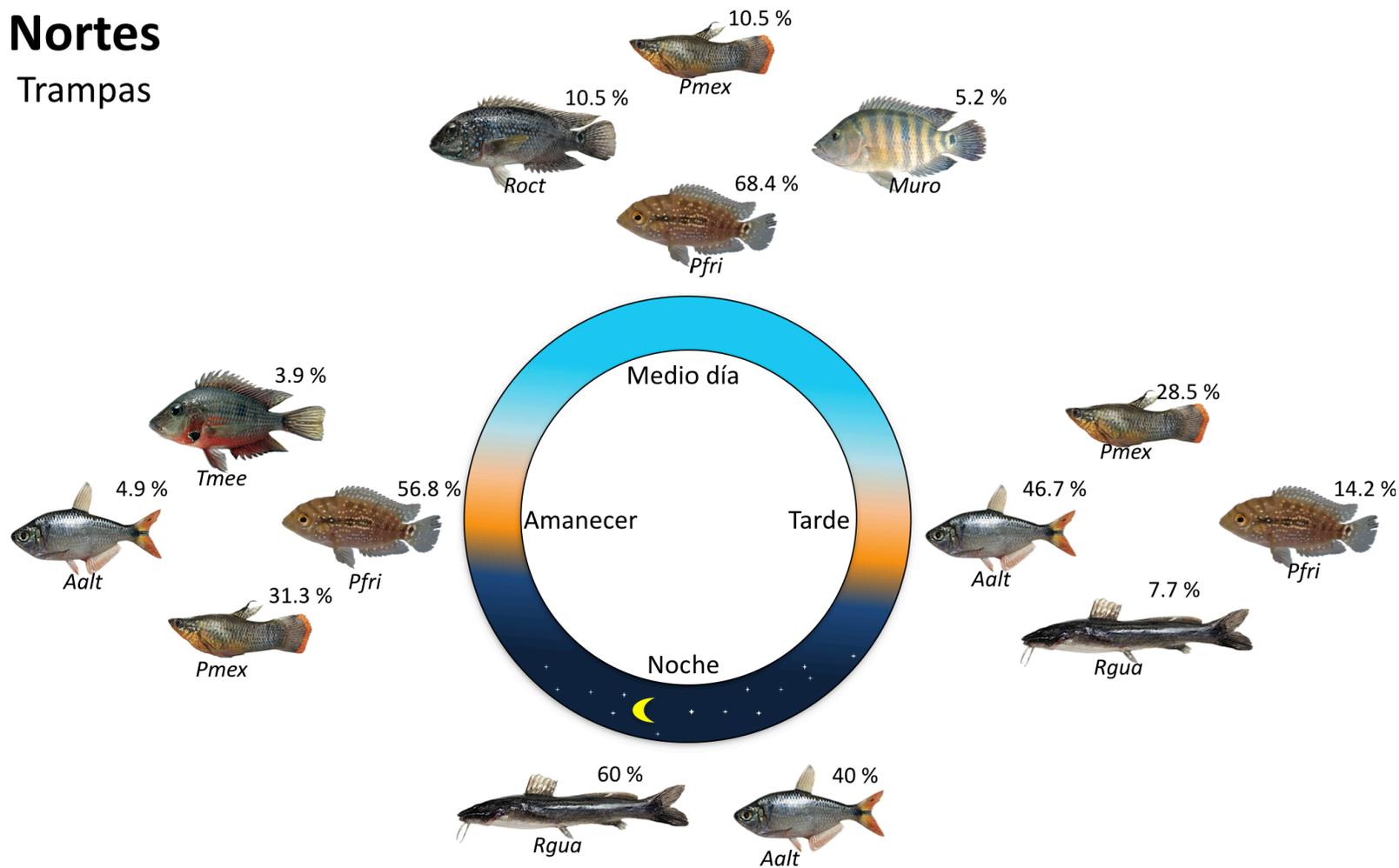


Figura 32. Comportamiento nictémero de la abundancia de peces en temporada de nortes utilizando trampas.

Secas

Video

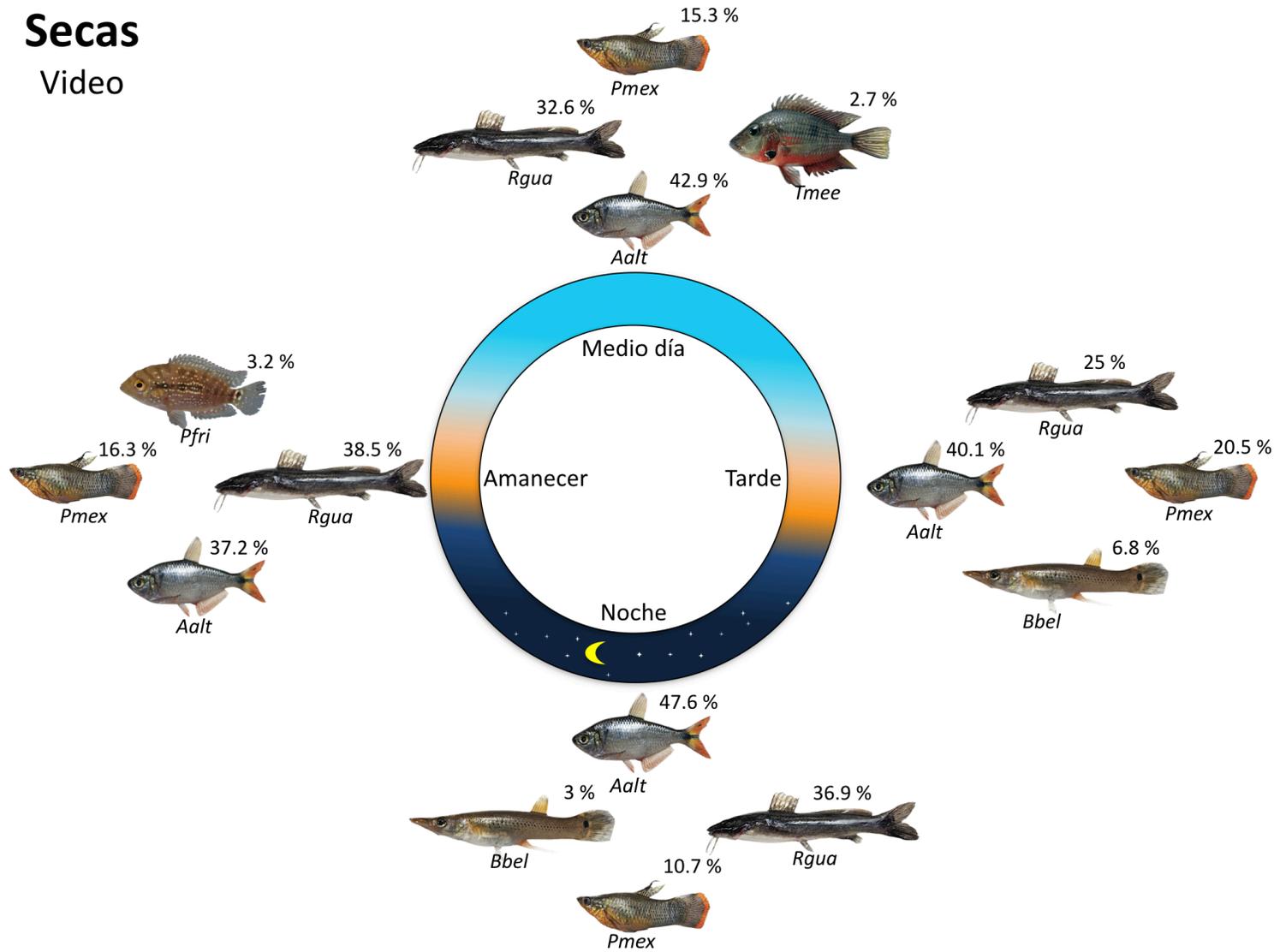


Figura 33. Comportamiento nictémico de la abundancia de peces en temporada de secas utilizando video cámaras.

Secas Trampas

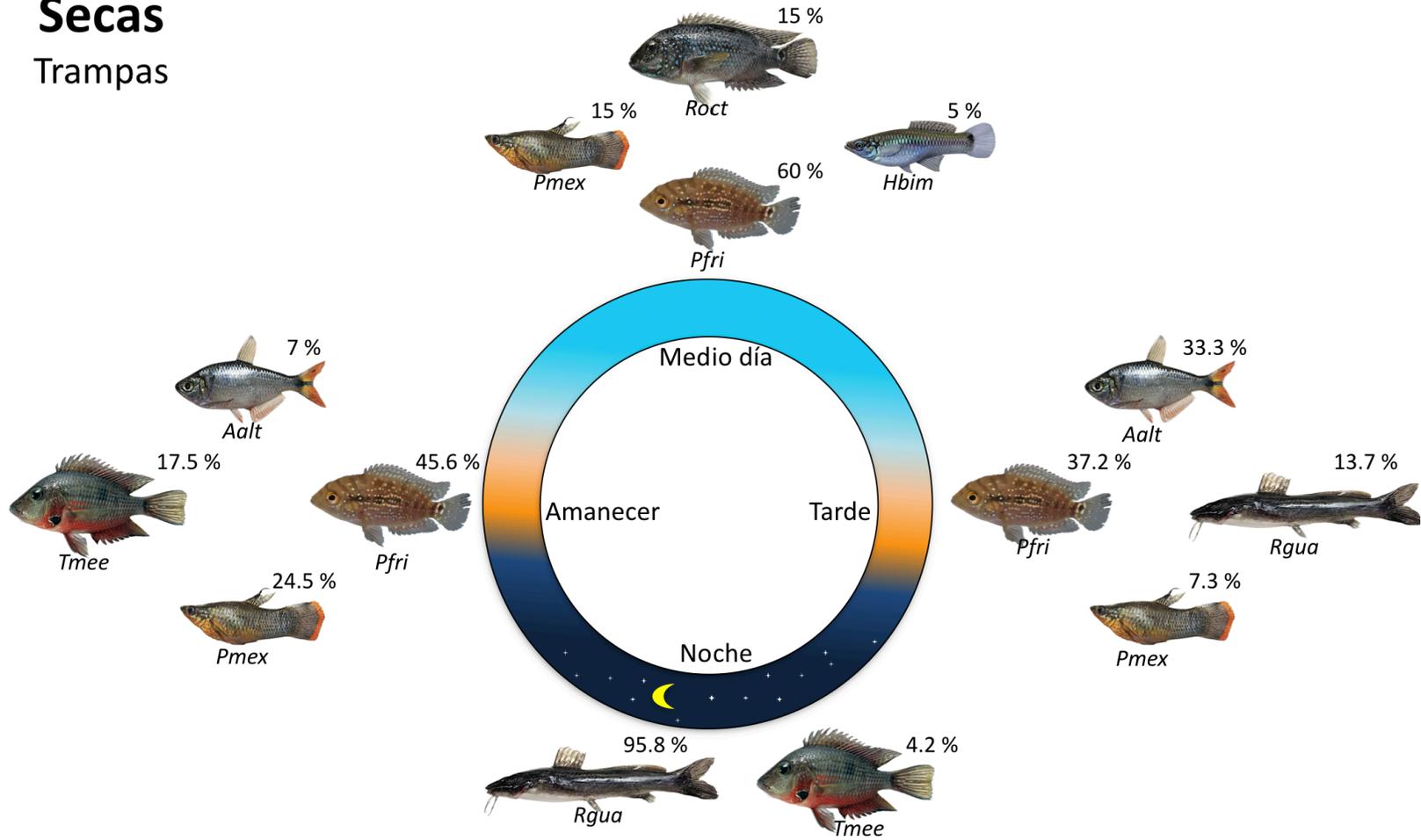


Figura 34. Comportamiento nictémero de la abundancia de peces en temporada de secas utilizando trampas.

ANEXO IV. Valores de p resultantes del análisis de varianza por permutaciones (999 permutaciones) para evaluar diferencias significativas en los factores espacial y temporal de la Diversidad (H'), equidad (J') y Riqueza de peces. Diferencias significativas p<0.05.

	H'	J'	Riqueza
Temporal Tr	0.5257	0.2109	0.8336
Temporal cam	0.0869	0.4313	0.784
Nictemeral Nortes Tr	0.8013	0.9189	0.2257
Nictemeral Nortes cam	0.1038	0.5385	0.1779
Nictemeral Lluvias Tr	0.0414	0.398	0.0218
Nictemeral Lluvias cam	0.1345	0.255	0.2373
Nictemeral Secas Tr	0.0804	0.5143	0.1231
Nictemeral Secas cam	0.149	0.418	0.2139

ANEXO V. Resultados del análisis SIMPER

A. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (62.56) entre cámaras (Cam) y trampas (Tra).

Especie	Abun-Cam	Abun-Tra	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P	
<i>Aalt</i>	2.739	0.835	0.145	0.086	0.233	0.233	0.001	***
<i>Pmex</i>	1.529	0.791	0.085	0.070	0.137	0.370	0.041	*
<i>Rgua</i>	1.536	0.636	0.083	0.056	0.133	0.503	0.005	**
<i>Pfri</i>	0.845	1.196	0.067	0.067	0.108	0.611	0.97	
<i>Bbel</i>	0.892	0	0.054	0.044	0.087	0.698	0.001	
<i>Roct</i>	0.315	0.621	0.046	0.050	0.074	0.772	0.998	
<i>Muro</i>	0.679	0.076	0.045	0.043	0.073	0.845	0.001	***
<i>Tmee</i>	0.739	0.122	0.045	0.039	0.072	0.917	0.001	***
<i>Hbim</i>	0.377	0.377	0.035	0.043	0.058	0.975	1	
<i>Pvel</i>	0.271	0	0.015	0.027	0.025	1	0.001	***

B. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (47.87) utilizando el método tradicional entre secas (Sec) y lluvias (Llu).

Especie	Abun-Sec	Abun-Llu	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P
<i>Pfri</i>	1.241	0.866	0.0917	0.0792	0.192	0.192	0.736
<i>Rgua</i>	0.916	0.609	0.0849	0.0871	0.177	0.369	0.227
<i>Aalt</i>	0.709	0.711	0.0758	0.0677	0.158	0.527	0.888
<i>Roct</i>	0.703	0.660	0.0714	0.0643	0.15	0.677	0.251
<i>Pmex</i>	0.696	0.265	0.0638	0.0646	0.133	0.810	0.827
<i>Hbim</i>	0.250	0.568	0.0539	0.0563	0.113	0.923	0.205
<i>Tmee</i>	0.250	0	0.0286	0.0518	0.059	0.982	0.111
<i>Muro</i>	0	0.083	0.0084	0.0288	0.018	1	0.846
<i>Bbel</i>	0	0	0	0	0	1	1
<i>Pvel</i>	0	0	0	0	0	1	1

C. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (42.92) utilizando el método tradicional entre secas (Sec) y nortes (N).

Especie	Abun-Sec	Abun-Nor	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P
<i>Pfri</i>	1.241	1.349	0.0892	0.0827	0.194	0.194	0.797
<i>Aalt</i>	0.709	0.941	0.0809	0.074	0.176	0.37	0.666
<i>Pmex</i>	0.696	0.975	0.0792	0.0654	0.173	0.543	0.151
<i>Rgua</i>	0.916	0.74	0.0772	0.0845	0.168	0.711	0.578
<i>Roct</i>	0.703	0.325	0.0626	0.0664	0.136	0.847	0.745
<i>Tmee</i>	0.25	0.149	0.0322	0.0509	0.07	0.917	0.103
<i>Hbim</i>	0.25	0.125	0.0254	0.0411	0.056	0.973	0.988
<i>Muro</i>	0	0.125	0.0126	0.0344	0.027	1	0.707
<i>Bbel</i>	0	0	0	0	0	1	1
<i>Pvel</i>	0	0	0	0	0	1	1

D. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (49.39) utilizando el método tradicional entre lluvias (Llu) y noche (N).

Especie	Abun-Llu	Abun-Nor	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P
<i>Pfri</i>	0.866	1.349	0.103	0.0876	0.209	0.209	0.245
<i>Aalt</i>	0.711	0.941	0.089	0.0815	0.18	0.389	0.237
<i>Pmex</i>	0.2658	0.975	0.0796	0.0665	0.161	0.55	0.103
<i>Rgua</i>	0.6097	0.74	0.0712	0.0747	0.144	0.694	0.822
<i>Roct</i>	0.66	0.325	0.0662	0.0641	0.134	0.828	0.606
<i>Hbim</i>	0.5684	0.125	0.054	0.0602	0.109	0.937	0.211
<i>Muro</i>	0.0833	0.125	0.0205	0.045	0.042	0.979	0.169
<i>Tmee</i>	0	0.149	0.0105	0.0283	0.021	1	0.865
<i>Bbel</i>	0	0	0	0	0	1	1
<i>Pvel</i>	0	0	0	0	0	1	1

E. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (44.31) utilizando el método tradicional entre amanecer (A) y mediodía (Md).

Especie	Abun-A	Abun-Md	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P
<i>Pmex</i>	0.939	0.474	0.0762	0.0607	0.172	0.172	0.278
<i>Aalt</i>	0.961	0.331	0.0736	0.0505	0.166	0.338	0.856
<i>Roct</i>	0.974	0.501	0.0735	0.0588	0.166	0.504	0.252
<i>Pfri</i>	1.514	1.327	0.072	0.0602	0.162	0.666	0.968
<i>Rgua</i>	0.662	0	0.0579	0.0561	0.131	0.797	0.965
<i>Hbim</i>	0.286	0.474	0.0496	0.0541	0.112	0.909	0.468
<i>Muro</i>	0	0.286	0.0271	0.0443	0.061	0.97	0.139
<i>Tmee</i>	0	0.143	0.0132	0.0334	0.03	1	0.749
<i>Bbel</i>	0	0	0	0	0	1	1
<i>Pvel</i>	0	0	0	0	0	1	1

F. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (36.07) utilizando el método tradicional entre amanecer (A) y tarde (T).

Especie	Abun-A	Abun-T	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P
<i>Pfri</i>	1.514	1.264	0.0703	0.0571	0.195	0.195	0.969
<i>Aalt</i>	0.961	1.812	0.0655	0.0456	0.182	0.377	0.975
<i>Pmex</i>	0.939	0.953	0.0649	0.0501	0.18	0.557	0.722
<i>Roct</i>	0.974	0.689	0.0536	0.0479	0.148	0.705	0.954
<i>Rgua</i>	0.662	1.255	0.0521	0.0458	0.145	0.85	0.994
<i>Hbim</i>	0.286	0.644	0.0435	0.0412	0.12	0.97	0.697
<i>Tmee</i>	0	0.17	0.0108	0.027	0.03	1	0.867
<i>Bbel</i>	0	0	0	0	0	1	1
<i>Muro</i>	0	0	0	0	0	1	1
<i>Pvel</i>	0	0	0	0	0	1	1

G. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (58.77) utilizando el método tradicional entre amanecer (A) y noche (N).

Especie	Abun-A	Abun-N	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P
<i>Pfri</i>	1.514	0.34	0.1417	0.0843	0.241	0.241	0.003 **
<i>Aalt</i>	0.961	0	0.1102	0.0564	0.188	0.429	0.021 *
<i>Roct</i>	0.974	0.143	0.1049	0.079	0.178	0.607	0.006 **
<i>Pmex</i>	0.939	0	0.0926	0.0832	0.158	0.765	0.024 *
<i>Rgua</i>	0.662	1.022	0.091	0.0836	0.154	0.919	0.176
<i>Hbim</i>	0.286	0	0.0331	0.0583	0.057	0.976	0.926
<i>Tmee</i>	0	0.143	0.0142	0.036	0.024	1	0.695
<i>Bbel</i>	0	0	0	0	0	1	1
<i>Muro</i>	0	0	0	0	0	1	1
<i>Pvel</i>	0	0	0	0	0	1	1

H. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (50.82) utilizando el método tradicional entre mediodía (Md) y tarde(T).

Especie	Abun-Md	Abun-T	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P	
<i>Aalt</i>	0.331	1.812	0.1253	0.0583	0.247	0.247	0.004	**
<i>Rgua</i>	0	1.255	0.1037	0.0187	0.204	0.451	0.031	*
<i>Pfri</i>	1.327	1.264	0.0686	0.0614	0.135	0.586	0.98	
<i>Pmex</i>	0.474	0.953	0.0634	0.0537	0.124	0.71	0.77	
<i>Roct</i>	0.501	0.689	0.0526	0.0484	0.104	0.814	0.967	
<i>Hbim</i>	0.474	0.644	0.0503	0.0473	0.099	0.913	0.433	
<i>Muro</i>	0.286	0	0.0236	0.0385	0.046	0.959	0.224	
<i>Tmee</i>	0.143	0.17	0.0207	0.0366	0.041	1	0.511	
<i>Bbel</i>	0	0	0	0	0	1	1	
<i>Pvel</i>	0	0	0	0	0	1	1	

I. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (61.55) utilizando el método tradicional entre mediodía (Md) y noche (N).

Especie	Abun-Md	Abun-N	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P	
<i>Pfri</i>	1.327	0.34	0.1621	0.1069	0.263	0.263	0.001	***
<i>Rgua</i>	0	1.022	0.1305	0.0897	0.212	0.475	0.005	**
<i>Roct</i>	0.501	0.143	0.0738	0.0839	0.12	0.595	0.218	
<i>Hbim</i>	0.474	0	0.07	0.0852	0.114	0.709	0.026	*
<i>Pmex</i>	0.474	0	0.0632	0.0771	0.103	0.812	0.779	
<i>Aalt</i>	0.331	0	0.0441	0.0739	0.071	0.883	0.999	
<i>Muro</i>	0.286	0	0.0402	0.0656	0.066	0.949	0.001	***
<i>Tmee</i>	0.143	0.143	0.0315	0.0569	0.051	1	0.137	
<i>Bbel</i>	0	0	0	0	0	1	1	
<i>Pvel</i>	0	0	0	0	0	1	1	

J. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (58.18) utilizando el método tradicional entre tarde (T) y noche (N).

Especie	Abun-T	Abun-N	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P	
<i>Aalt</i>	1.812	0	0.1839	0.0581	0.316	0.316	0.001	***
<i>Pfri</i>	1.264	0.34	0.1038	0.0731	0.178	0.494	0.288	
<i>Pmex</i>	0.953	0	0.0874	0.0657	0.151	0.645	0.058	.
<i>Rgua</i>	1.255	1.022	0.0629	0.0631	0.108	0.753	0.911	
<i>Roct</i>	0.689	0.143	0.0615	0.0549	0.105	0.858	0.766	
<i>Hbim</i>	0.644	0	0.0591	0.0551	0.102	0.96	0.129	
<i>Tmee</i>	0.17	0.143	0.0233	0.0413	0.04	1	0.446	
<i>Bbel</i>	0	0	0	0	0	1	1	
<i>Muro</i>	0	0	0	0	0	1	1	
<i>Pvel</i>	0	0	0	0	0	1	1	

K. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (29.58) utilizando la técnica de video entre secas (Sec) y lluvias (Llu).

Especie	Abun_Sec	Abun_Llu	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P
<i>Rgua</i>	1.653	1.122	0.0531	0.0553	0.16	0.16	0.612
<i>Bbel</i>	1.11	0.702	0.0459	0.0392	0.137	0.297	0.575
<i>Tmee</i>	0.797	0.797	0.0368	0.0359	0.111	0.408	0.644
<i>Pfri</i>	0.907	0.931	0.035	0.0362	0.105	0.513	0.867
<i>Pmex</i>	1.462	1.2	0.0321	0.0444	0.096	0.609	0.906
<i>Muro</i>	0.54	0.584	0.0321	0.0309	0.097	0.706	0.791
<i>Aalt</i>	1.987	1.751	0.0309	0.0481	0.093	0.799	0.701
<i>Roct</i>	0.562	0.333	0.0291	0.0301	0.087	0.886	0.049 *
<i>Hbim</i>	0	0.432	0.0207	0.0253	0.062	0.948	0.975
<i>Pvel</i>	0.125	0.333	0.0172	0.0227	0.052	1	0.824

L. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (31.22) utilizando la técnica de video entre secas (Sec) nortes (N).

Especie	Abun_Sec	Abun_Nor	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P
<i>Rgua</i>	1.653	0.857	0.0515	0.044	0.146	0.146	0.664
<i>Bbel</i>	1.11	0.847	0.0501	0.0356	0.142	0.288	0.206
<i>Pmex</i>	1.462	0.909	0.0436	0.0478	0.124	0.412	0.43
<i>Pfri</i>	0.907	0.547	0.0384	0.0351	0.109	0.521	0.569
<i>Tmee</i>	0.797	0.5	0.0379	0.0333	0.107	0.628	0.493
<i>Muro</i>	0.54	0.875	0.0314	0.0306	0.089	0.717	0.772
<i>Hbim</i>	0	0.625	0.03	0.0239	0.085	0.802	0.197
<i>Roct</i>	0.562	0	0.0284	0.0303	0.081	0.883	0.118
<i>Aalt</i>	1.987	1.999	0.024	0.0197	0.068	0.951	0.728
<i>Pvel</i>	0.125	0.29	0.0174	0.026	0.049	1	0.779

M. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (32.62) utilizando la técnica de video entre lluvias (Llu) y nortes (N).

Especie	Abun_Llu	Abun_Nor	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P
<i>Rgua</i>	1.122	0.857	0.0594	0.0589	0.15	0.15	0.228
<i>Pmex</i>	1.2	0.909	0.0497	0.0481	0.126	0.276	0.106
<i>Bbel</i>	0.702	0.847	0.0487	0.0462	0.123	0.399	0.258
<i>Aalt</i>	1.751	1.999	0.0429	0.0616	0.109	0.508	0.227
<i>Muro</i>	0.584	0.875	0.0422	0.0445	0.107	0.615	0.029 *
<i>Pfri</i>	0.931	0.547	0.0416	0.0366	0.105	0.72	0.213
<i>Tmee</i>	0.797	0.5	0.0375	0.0342	0.095	0.815	0.561
<i>Hbim</i>	0.432	0.625	0.0323	0.0326	0.081	0.896	0.048 *
<i>Pvel</i>	0.333	0.29	0.0245	0.03	0.062	0.958	0.148
<i>Roct</i>	0.333	0	0.0164	0.024	0.042	1	0.976

N. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (51.39) utilizando la técnica de video entre amanecer (A) y mediodía (Md).

Especie	Abun-A	Abun_Md	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P
<i>Rgua</i>	1.185	1.368	0.0412	0.0320	0.181	0.181	0.908
<i>Bbel</i>	1.034	1.201	0.0308	0.0301	0.135	0.316	0.996
<i>Roct</i>	0.286	0.642	0.0273	0.0256	0.12	0.436	0.231
<i>Hbim</i>	0.429	0.598	0.0243	0.0233	0.107	0.543	0.725
<i>Muro</i>	0.759	0.805	0.0240	0.0242	0.105	0.648	0.984
<i>Tmee</i>	0.741	1.197	0.0215	0.0226	0.094	0.742	0.999
<i>Pvel</i>	0.286	0.331	0.0204	0.0244	0.09	0.832	0.566
<i>Pfri</i>	1.002	1.211	0.0149	0.0185	0.065	0.897	1
<i>Aalt</i>	2.028	2.212	0.0143	0.0121	0.063	0.96	0.988
<i>Pmex</i>	1.391	1.52	0.0091	0.0091	0.04	1	0.998

Ñ. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (45.62) utilizando la técnica de video entre amanecer (A) y tarde (T).

Especie	Abun-A	Abun-T	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P
<i>Rgua</i>	1.185	0.792	0.0555	0.0511	0.153	0.153	0.467
<i>Bbel</i>	1.034	0.92	0.0471	0.0463	0.13	0.283	0.43
<i>Aalt</i>	2.028	1.676	0.0442	0.062	0.122	0.405	0.381
<i>Pmex</i>	1.391	1.069	0.042	0.0492	0.116	0.521	0.495
<i>Pfri</i>	1.002	0.903	0.0367	0.0401	0.101	0.622	0.696
<i>Tmee</i>	0.741	0.911	0.0355	0.0359	0.098	0.72	0.715
<i>Muro</i>	0.759	0.768	0.0292	0.0331	0.081	0.801	0.88
<i>Hbim</i>	0.429	0.429	0.028	0.0333	0.077	0.878	0.373
<i>Pvel</i>	0.286	0.429	0.0237	0.0275	0.065	0.943	0.319
<i>Roct</i>	0.286	0.286	0.0205	0.0264	0.057	1	0.733

O. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (62.59) utilizando la técnica de video entre amanecer (A) y noche (N).

Especie	Abun-A	Abun-N	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P
<i>Rgua</i>	1.185	1.447	0.0612	0.0494	0.149	0.149	0.245
<i>Pfri</i>	1.002	0.143	0.0592	0.0344	0.144	0.293	0.006 **
<i>Bbel</i>	1.034	0.286	0.0576	0.0427	0.14	0.433	0.036 *
<i>Pmex</i>	1.391	0.787	0.0529	0.044	0.128	0.561	0.128
<i>Tmee</i>	0.741	0	0.0487	0.0342	0.119	0.68	0.031 *
<i>Muro</i>	0.759	0.286	0.0401	0.0333	0.097	0.777	0.127
<i>Hbim</i>	0.429	0	0.03	0.0363	0.073	0.85	0.221
<i>Aalt</i>	2.028	1.642	0.0268	0.018	0.065	0.915	0.585
<i>Pvel</i>	0.286	0	0.0179	0.0291	0.043	0.958	0.719
<i>Roct</i>	0.286	0	0.0171	0.0277	0.042	1	0.845

P. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (51.45) utilizando la técnica de video entre mediodía (Md) y tarde (T).

Especie	Abun-Md	Abun-T	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P
<i>Pvel</i>	0.331	0.429	0.0488	0.0441	0.144	0.144	0.726
<i>Bbel</i>	1.201	0.92	0.0425	0.0404	0.126	0.27	0.806
<i>Aalt</i>	2.212	1.676	0.0387	0.0581	0.114	0.384	0.472
<i>Pfri</i>	1.211	0.903	0.0369	0.0459	0.109	0.493	0.7
<i>Muro</i>	0.805	0.768	0.0321	0.0362	0.094	0.587	0.886
<i>Tmee</i>	1.197	0.911	0.0307	0.0364	0.091	0.678	0.947
<i>Roct</i>	0.642	0.286	0.0306	0.0311	0.09	0.768	0.075
<i>Rgua</i>	1.368	0.792	0.0276	0.0291	0.082	0.85	0.423
<i>Hbim</i>	0.598	0.429	0.0271	0.0291	0.08	0.93	0.929
<i>Pmex</i>	1.52	1.069	0.0238	0.027	0.07	1	0.313

Q. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (79.59) utilizando la técnica de video entre mediodía (Md) y noche (N).

Especie	Abun-Md	Abun-N	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P
<i>Tmee</i>	1.197	0	0.0687	0.013	0.156	0.156	0.001 ***
<i>Muro</i>	0.805	0.286	0.0621	0.0248	0.142	0.298	0.002 **
<i>Bbel</i>	1.201	0.286	0.0577	0.0356	0.131	0.429	0.046 *
<i>Pfri</i>	1.211	0.143	0.0494	0.0413	0.113	0.542	0.231
<i>Hbim</i>	0.598	0	0.0391	0.0313	0.089	0.631	0.17
<i>Pvel</i>	0.331	0	0.0386	0.0397	0.088	0.719	0.949
<i>Roct</i>	0.642	0	0.0369	0.0336	0.084	0.803	0.009 **
<i>Rgua</i>	1.368	1.447	0.0347	0.0312	0.079	0.882	0.055
<i>Aalt</i>	2.212	1.642	0.0328	0.0142	0.075	0.957	0.5
<i>Pmex</i>	1.52	0.787	0.0189	0.0309	0.043	1	0.657

R. Promedio de abundancia de especies que más contribuyeron al valor de disimilitud (56.66) utilizando la técnica de video entre tarde (T) y noche (N).

Especie	Abun-T	Abun-N	Dis	SD	Contribución	Acumulada	P
<i>Rgua</i>	0.286	0	0.0817	0.0837	0.172	0.172	0.012 *
<i>Aalt</i>	1.676	1.642	0.0656	0.0898	0.138	0.31	0.001 ***
<i>Pmex</i>	0.429	0	0.061	0.0579	0.128	0.438	0.014 *
<i>Bbel</i>	0.92	0.286	0.0545	0.0445	0.115	0.553	0.08
<i>Tmee</i>	0.429	0	0.0521	0.0347	0.11	0.663	0.012 *
<i>Pfri</i>	1.069	0.787	0.0504	0.0367	0.106	0.769	0.031 *
<i>Muro</i>	0.903	0.143	0.0473	0.046	0.099	0.868	0.018 *
<i>Hbim</i>	0.768	0.286	0.0247	0.0293	0.052	0.92	0.695
<i>Pvel</i>	0.792	1.447	0.0228	0.0269	0.048	0.968	0.392
<i>Roct</i>	0.911	0	0.015	0.0241	0.032	1	0.937

ANEXO VI: Resumen de resultados del análisis RDA por temporadas

Temporada	Ejes	1	2	3	4	Total variance
Lluvias	Valores propios	0.416	0.064	0.012	0.001	1
	Correlación especie-ambiente	0.794	0.544	0.446	0.305	
	Valor porcentual acumulado					
	Datos de especies	41.6	47.9	49.1	49.2	
	Relación especie-ambiente	84.4	97.4	99.7	100	
	Suma de los valores propios					1
	Suma de los valores propios canónicos					0.492
Nortes	Valores propios	0.723	0.057	0.009	0.004	1
	Correlación especie-ambiente	0.964	0.625	0.823	0.684	
	Valor porcentual acumulado					
	Datos de especies	72.3	78	78.9	79.4	
	Relación especie-ambiente	91.1	98.3	99.4	100	
	Suma de los valores propios					1
	Suma de los valores propios canónicos					0.794
Secas	Valores propios	0.439	0.08	0.052	0.011	1
	Correlación especie-ambiente	0.994	0.511	0.764	0.482	
	Valor porcentual acumulado					
	Datos de especies	43.9	52	57.2	58.2	
	Relación especie-ambiente	75.4	89.2	98.2	100	
	Suma de los valores propios					1
	Suma de los valores propios canónicos					0.582

**ANEXO VII: Fichas taxonómicas de las especies que habitan en el
petén los Makes, Yucatán**

Astyanax altior

(Hubbs 1936)



SINONIMIAS *Astyanax fasciatus altior*

MEDIO AMBIENTE Agua dulce, salobre.

HABITAT Bentopelágico. En la península de Yucatán se encuentra en cenotes y ciénagas cuando la salinidad es baja.

IMPORTANCIA ECONOMICA No tiene

TALLA Talla máxima 110 mm de longitud estándar.

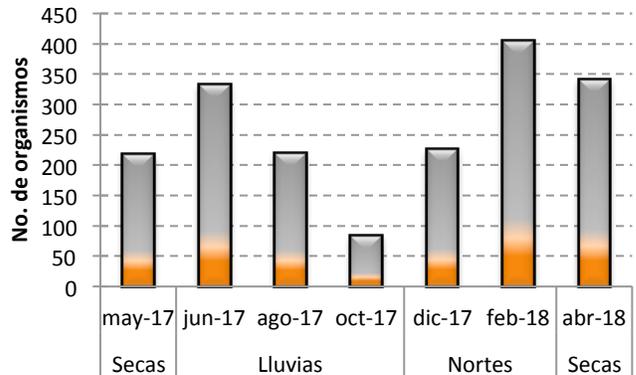
DESCRIPCION Pez pequeño de forma oval y comprimida. Premaxilar con dos series de dientes, braquiespinas setiformes. Sin espina dorsal y aleta caudal desnuda. Costados y vientre plateados a blanco que se fusionan con un dorso de verde a café oscuro. Aletas transparentes con pigmento negro mínimo. Usualmente los primeros radios de la aleta anal y a veces de la dorsal y caudal con pigmento rojizo y amarillento (Gallardo-Torres *et al.*, 2014).

ECOLOGÍA Se ha encontrado en cenotes ligeramente salobres (hasta 6 ups); sin embargo prefiere agua dulce con buena transparencia cuya temperatura oscile entre 22 y 28°C. Su ciclo biológico es anual; la reproducción coincide con la temporada de lluvias (Navarro-Mendoza, 1988). Suele nadar cerca de la superficie o a media agua sobre bancos de vegetación, se les puede observar en el fondo ramoneando el perifiton con medios giros del cuerpo para arrancar trozos de alimento. Forma cardúmenes sobre todo cuando es joven. Es omnívoro, con mayor tendencia a ser planctívoro en estado juvenil y carnívoro en estado adulto, con cierto componente de canibalismo.

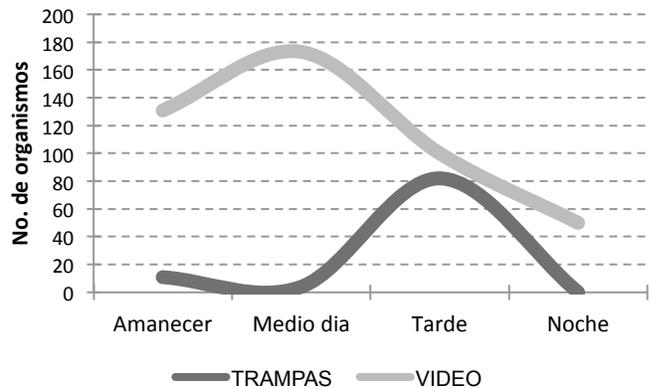
ESTATUS DE CONSERVACIÓN Incluida en la lista de especies en riesgo en la NOM 059 de protección a especies nativas de México, como Amenazda.

**Sardinita yucateca
Yucatan Tetra**

Variabilidad Estacional



Variabilidad Nictemera



Belonesox belizanus

(Kner 1860)



SINONIMIAS

MEDIO AMBIENTE Agua dulce y salobre.

HABITAT Demersal.

IMPORTANCIA ECONOMICA En acuarios como especie de ornato.

TALLA 200 mm de longitud total.

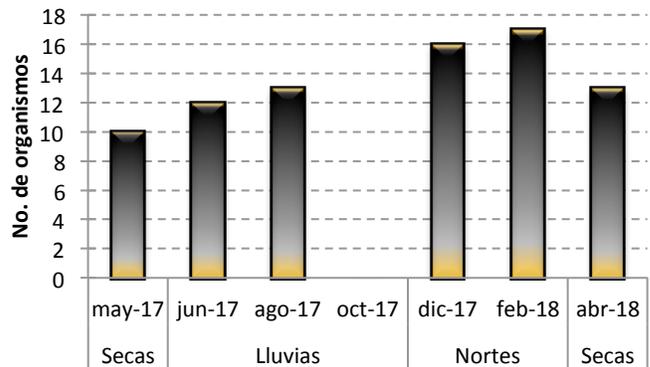
DESCRIPCION Tiene cuerpo cilíndrico, alargado y fino, con una boca prominente a manera de pico y numerosos dientes. Su coloración suele ser amarillenta o grisácea y se oscurece a medida que se acerca a la zona dorsal tanto en los machos como en las hembras. En ocasiones las hembras presentan la aleta anal de color amarillo o naranja. En el centro de la aleta caudal se observa un punto oscuro (Gallardo-Torres *et al.*, 2014).

ECOLOGÍA Tolera aguas poco oxigenadas y salinidad de 40 UPS. Es estrictamente piscívoro (depreda *Astyanax*, *Gambusia*, e incluso puede ser caníbal) Ovovivíparo con fertilización interna. Los machos inseminan a las hembras con un gonopodio. Las hembras pueden almacenar esperma. Esta especie acecha a los peces con un movimiento corporal mínimo, seguido de una estocada explosiva para atrapar a su presa.

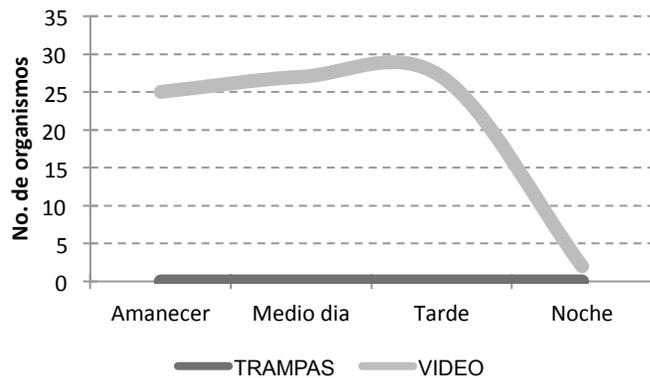
ESTATUS DE CONSERVACIÓN No evaluada. Introducida en Florida.

Picudito Top Minnow

Variabilidad Estacional



Variabilidad Nictemera



Heterandria bimaculata

(Heckel 1848)



SINONIMIAS *Pseudoxiphophorus pauciradiatus*,
Pseudoxiphophorus bimaculatus

MEDIO AMBIENTE Bentopelágico, de agua dulce y tropical.

HABITAT Dulceacuícola. Se encuentra principalmente en las márgenes, pozas de ríos y arroyos de corriente rápida y en las orillas poco profundas de lagos y presas.

IMPORTANCIA ECONOMICA Carece de valor comercial, aunque ocasionalmente puede venderse como especie de ornato.

TALLA Talla máxima reportada de 150 mm de longitud.

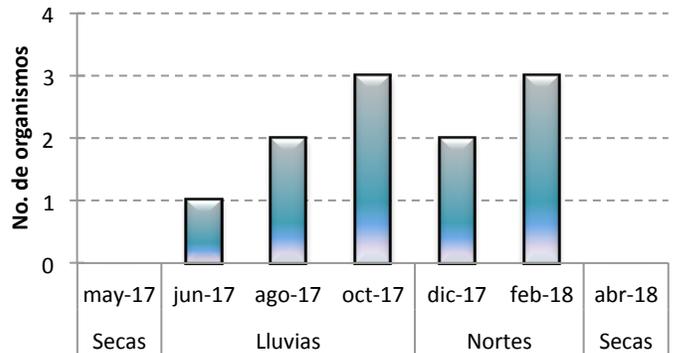
DESCRIPCION Presenta alta variabilidad morfométrica y merística; con una gran mancha basicaudal, redondeada y a veces difusa, confinada en su mayor parte al área cercana a la línea media lateral de escamas y muchas veces con un extensión ventral difusa debajo de la línea media lateral, presentándose esta en individuos grandes. El color del cuerpo es gris, con el vientre también gris y una larga aleta dorsal con radios parcialmente negros; las aletas son redondeadas y de color amarillo o naranja, dependiendo de la población; las escamas pueden presentar destellos de color violeta bajo una luz apropiada; ocasionalmente presentan un número variable de bandas negras diagonales a los costados del cuerpo (Gallardo-Torres *et al.*, 2014).

ECOLOGÍA Merodea cerca de la superficie en busca de insectos, aun que también se alimenta de plantas y crustáceos bénticos, activo durante el día. Vivíparo, su periodo de reproducción es largo, de diciembre a mayo, tienen una gestación de 6 a 8 semanas.

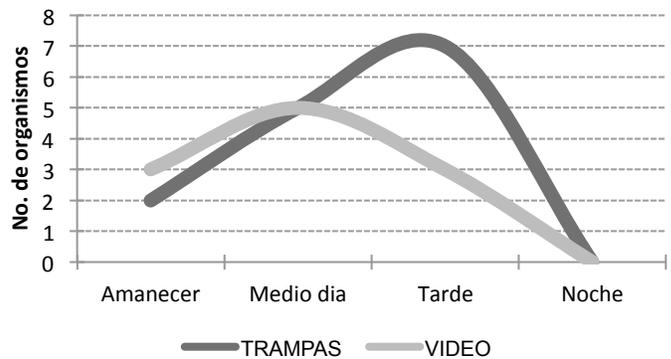
ESTATUS DE CONSERVACIÓN No evaluada.

Guatopote manchado Twospot Livebearer

Variabilidad Estacional

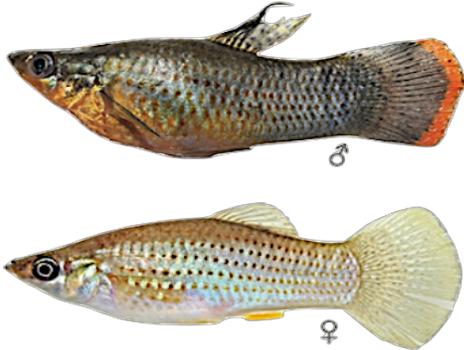


Variabilidad Nictemera



Poecilia mexicana

(Steindachner 1863)



SINONIMIAS *Poecilia limantouri*, *Poecilia cuneata*

MEDIO AMBIENTE Agua dulce y salobre.

HABITAT Bentopelágico

IMPORTANCIA ECONOMICA Comercial como organismos de ornato.

TALLA 110 mm de longitud estándar.

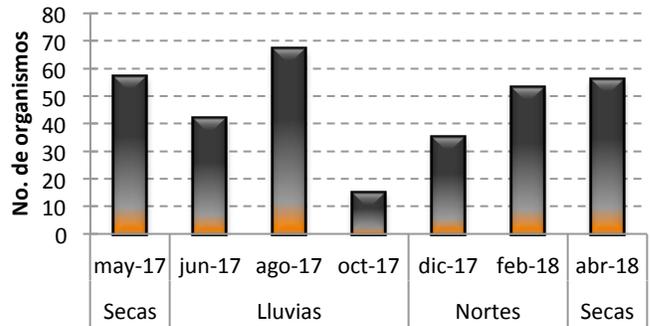
DESCRIPCION Cuerpo moderadamente robusto, aleta dorsal algo corta y un pedúnculo caudal un poco profundo. Dientes unicúspidos. Presenta una coloración verde brillante a marrón brillante dorsalmente y de gris pardo a amarillo pálido ventralmente. El flanco superior tiene una serie de manchas pigmentadas. Los machos pueden tener barras verticales brillantes y manchas oscuras en el costado del cuerpo y en las aletas dorsal y caudal. Las aletas de las hembras son transparentes (Gallardo-Torres *et al.*, 2014).

ECOLOGÍA Resistente a bajas concentraciones de oxígeno disuelto. Son omnívoros con tendencia herbívora, se alimentan de algas filamentosas, diatomeas, detritus. Vivíparos

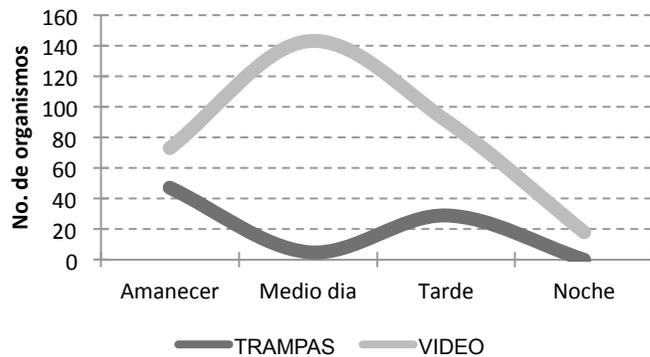
ESTATUS DE CONSERVACIÓN No evaluada.

Topote del Atlántico Shortfin

Variabilidad Estacional



Variabilidad Nictemera



Poecilia velifera

(Regan 1914)



SINONIMIAS *Mollienesia velifera*

MEDIO AMBIENTE Agua dulce y salobre.

HABITAT Agua dulce y salobre.

IMPORTANCIA ECONOMICA Se comercializa como especie de ornato.

TALLA 150 mm de longitud patrón.

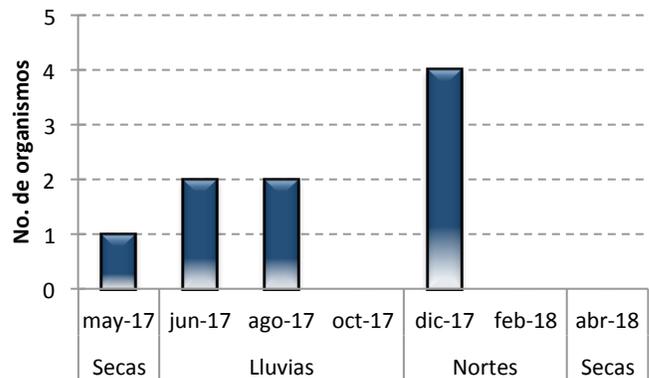
DESCRIPCION Cabeza en forma de cuña y cuerpo alargado. La Coloración en los machos consiste en series longitudinales notables de pequeñas manchas verdes y tonos azules, dispuestas sobre un fondo dorado. La parte inferior del cuerpo y cabeza tiene un tono anaranjado verdoso con brillos metálicos azules. Los machos presentan una aleta dorsal con manchas azul-verdes orladas de negro (Gallardo-Torres *et al.*, 2014).

ECOLOGÍA Son organismos muy tolerantes a la salinidad, pueden estar tanto en agua dulce como salobres, incluso marina. Suelen nadar a unos centímetros bajo la superficie del agua, prefiere refugiarse en la vegetación. Son omnívoros con tendencia herbívora. El apareamiento es precedido por un cortejo del macho dando topes a la hembra en el abdomen. No parece haber una temporada definida de reproducción y cada hembra puede dar a luz entre 10 y 120 crías.

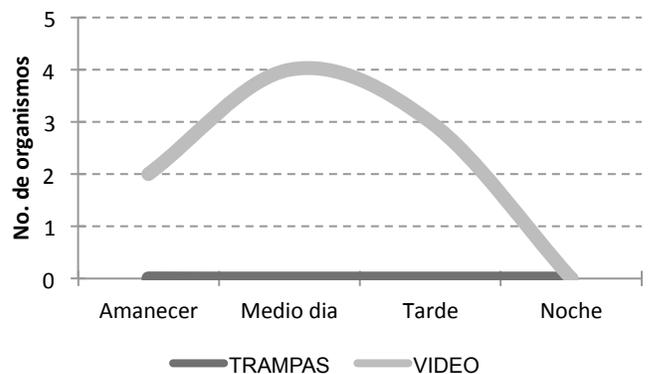
ESTATUS DE CONSERVACIÓN No evaluada. Se encuentra en la lista de especies en riesgo de la NOM 059 con la categoría de "Amenazada".

Abanderado Sailfin Molly

Variabilidad Estacional



Variabilidad Nictemera



Cynodonichthys tenuis
(Meek, 1904)



SINONIMIAS *Rivulus tenuis*

MEDIO AMBIENTE Agua dulce.

HABITAT Bentopelágico.

IMPORTANCIA ECONOMICA Se usa como organismo de ornato.

TALLA 65 mm de longitud total máxima.

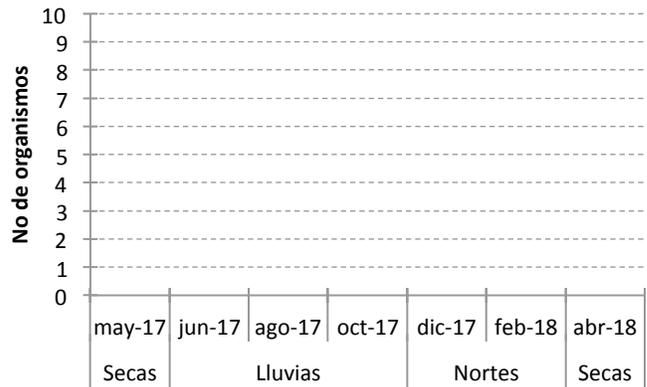
DESCRIPCION Cuerpo cilíndrico, redondeado; membranas opercular y branquiostega unidas. Bases de las aletas pélvicas cercanas entre si, a diferencia de todos los demás Cyprinodontiformes. Fosas nasales tubulares. Margen del ojo protegido por una membrana; aletas dorsal y anal en posición muy posterior. Coloración en el macho, dorso y parte superior de los costados pardo oscuro, aleta dorsal moteada y la caudal de color rojo con borde inferior pálido y una banda oscura antes del margen; en las hembras, una o dos manchas oceladas sobre la base superior de la aleta caudal.

ECOLOGÍA Viven en pequeños cursos de agua entre 22 y 28°C y pH 6,8, de comportamiento bentopelágico y no migrante. Ovíparos, sexualmente dimórficos. Desovan durante las lluvias y sus huevos son capaces de sobrevivir el estiaje enterrados en el sedimento. No son tolerantes a la presencia de otras especies, por lo que se refugian en la vegetación marginal.

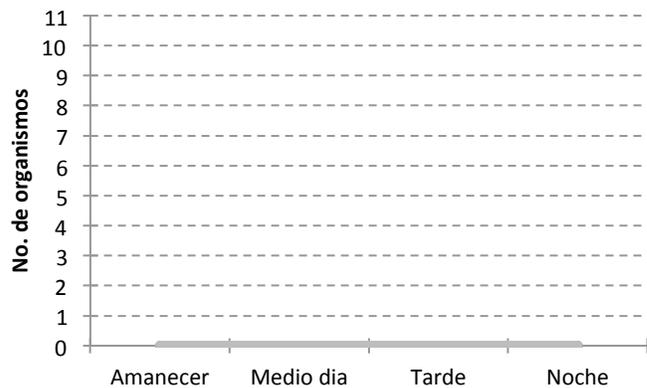
ESTATUS DE CONSERVACIÓN Protegida por la NOM 059 con la categoría de "sujeta a protección especia".

Almirante del hule
Maya Rivulus

Variabilidad Temporal



Variabilidad Nictemera



Kryptolebias marmoratus

(Poey, 1880)



SINONIMIAS *Rivulus marmoratus*, *Rivulus ocellatus*, *Rivulus heyei*, *Rivulus garciai*.

MEDIO AMBIENTE Agua dulce.

HABITAT Bentopelágico.

IMPORTANCIA ECONOMICA Se usa como organismo de ornato.

TALLA 75 mm de longitud total.

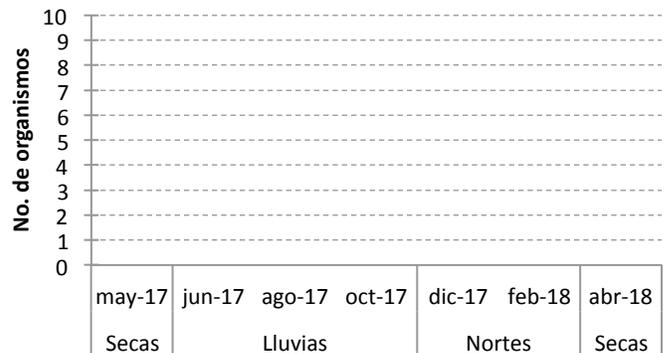
DESCRIPCION Cuerpo alargado y cilíndrico, cabeza ancha y aplanada en la parte superior; boca firme, arqueada, no protractil. Color pardo marrón, presenta un ocelo grande oscuro rodeado por un anillo amarillo en el lado del pedúnculo caudal, justo por delante de la parte superior de la base de la aleta caudal.

ECOLOGÍA Suele encontrarse en agua con bajo contenido de oxígeno. Se alimenta de larvas e insectos. Hermafroditas con autofecundación interna preferencial, aun que la especie exhibe una determinación del sexo ambiental, con machos primarios que se desarrollan a partir de embriones incubados a bajas temperaturas (18-20 °C), y permanece sexualmente lábil durante la edad adulta (Ellison *et al.*, 2015; García *et al.*, 2016). No se han identificado hembras funcionales en la naturaleza o en cautiverio. Puede vivir por largos períodos de tiempo en tierra (hasta 2 meses), a menudo ocupando troncos en descomposición y hojarasca (Taylor *et al.*, 2008), sale del agua en respuesta a los cambios en su ambiente acuático. Estos peces pueden navegar en tierra utilizando una variedad de movimientos intrincados (Pronko *et al.*, 2013).

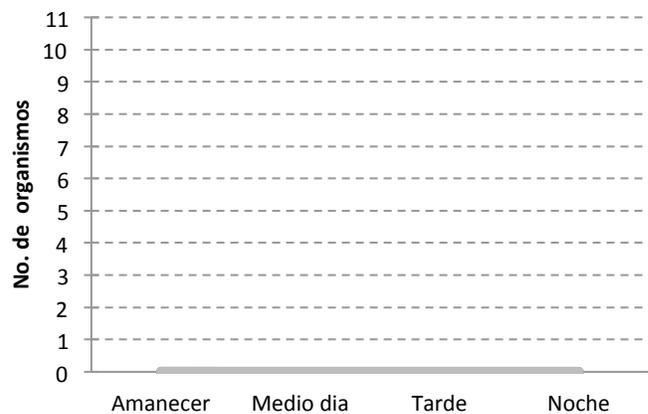
ESTATUS DE CONSERVACIÓN Protegida por la NOM 059 con la categoría de "sujeta a protección especie".

Almirante de manglar Rivulus

Variabilidad Temporal



Variabilidad Nictemera



Mayaheros urophthalmus
(Günther 1862)

Mojarra castarrica
Mexican mojarra



SINONIMIAS *Herichthys urophthalmus*, *Heros urophthalmus*, *Cichlasoma urophthalmum*

MEDIO AMBIENTE Dulce acuícola y salobre.

HABITAT Bentopelágico.

IMPORTANCIA ECONOMICA Importante como pesquería en acuicultura, pesca deportiva y especie de acuario.

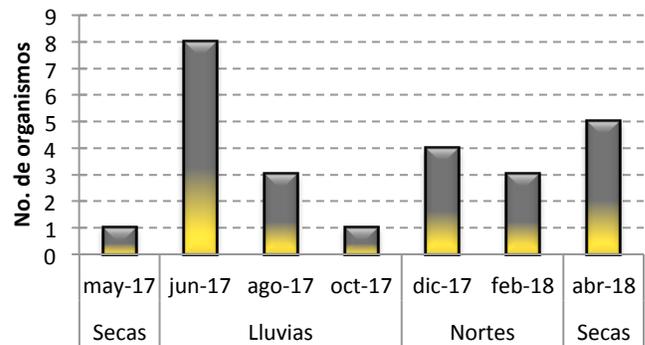
TALLA 394 mm de longitud total.

DESCRIPCION Coloración del cuerpo amarillo a café olivo con cinco a siete barras verticales fuertemente marcadas y un ocelo negro caudal. Aletas oscurecidas, exceptuando las pectorales que son amarillentas. Los dos dientes centrales externos de la mandíbula superior son notablemente mayores a los demás (Gallardo-Torres *et al.*, 2014).

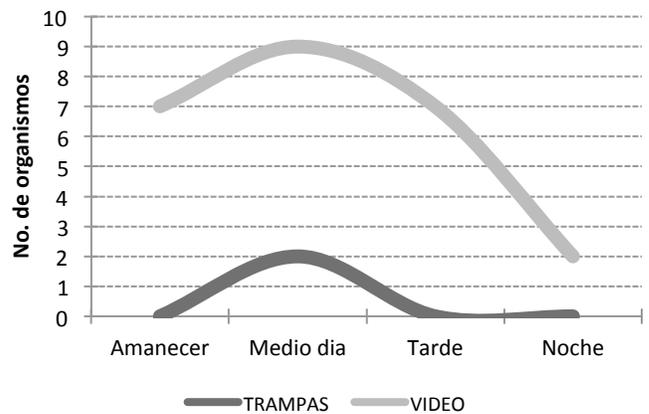
ECOLOGÍA Tolera temperaturas de 14 a 39 °C. Omnívoros, se alimentan de detritus, crustáceos, plantas, peces (Principalmente *Poecilia* sp. y *Astyanax* sp.), moluscos, poliquetos; sin embargo sus dientes agudos e intestino corto son propios de un carnívoro, y la ingestión de materia vegetal puede ser involuntaria. Se reproduce de marzo a septiembre. No hay dimorfismo sexual evidente

ESTATUS DE CONSERVACIÓN No evaluada. Introducida en Florida.

Variabilidad Estacional



Variabilidad Nictemera



Parachromis friedrichsthalii
(Heckel 1840)

Cichlasoma salvini



SINONIMIAS *Nandopsis friedrichsthalii*, *Cichlasoma friedrichsthalii*

MEDIO AMBIENTE Dulceacuícola.

HABITAT Bentopelágico.

IMPORTANCIA ECONOMICA Consumido de manera local.

TALLA 280 mm de longitud total.

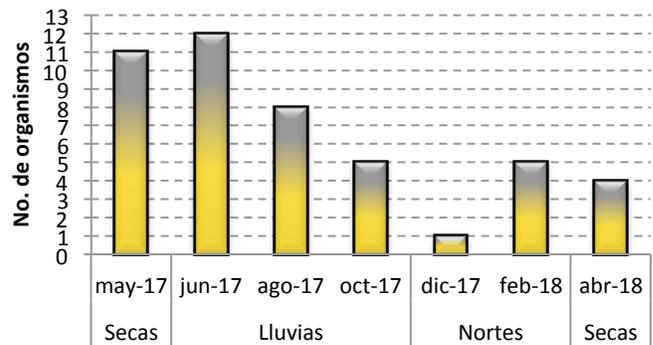
DESCRIPCION Mandíbula hasta la parte anterior del ojo; dientes grandes y caniniformes. Cabeza triangular; escamas en la línea lateral, 9-12 branquiespinas en todo el primer arco. Coloración verde amarillento, con 7-9 barras en Y (indiscernibles, cuando el cuerpo es muy oscuro); manchas redondeadas en el vientre, aletas y garganta; subopérculo con una mancha y una franja entre ésta y el ojo; coloración mate, sin brillos metálicos (Gallardo-Torres *et al.*, 2014).

ECOLOGÍA Se alimenta de peces (principalmente de *Poecilia* sp. e insectos. Su reproducción es de abril a agosto.

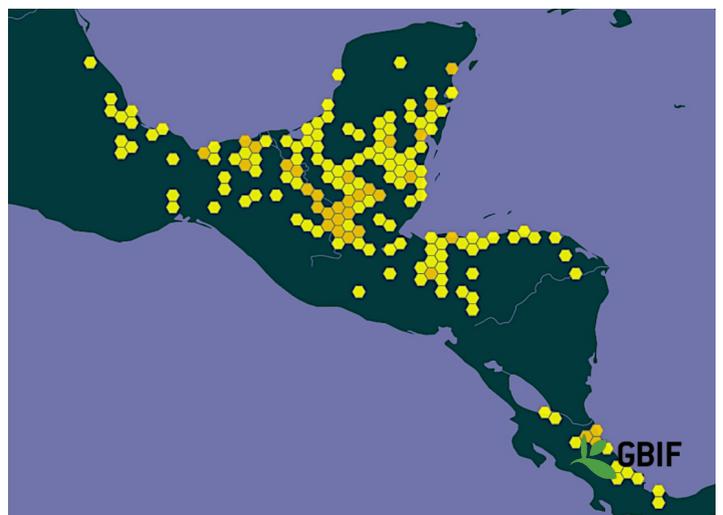
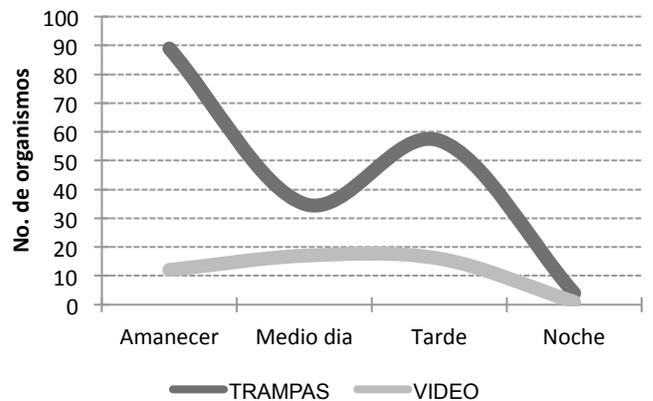
ESTATUS DE CONSERVACIÓN Preocupación menor.

Mojarra de San Juan
Yellowjacket Cichlid

Variabilidad Estacional



Variabilidad Nictemera



Rocio octofasciata
(Regan 1903)



SINONIMIAS *Cichlasoma biocellatum*, *Archocentrus octofasciatus*, *Cichlasoma octofasciatus*

MEDIO AMBIENTE Dulceacuícola y salobre.

HABITAT Bentopelágico.

IMPORTANCIA ECONOMICA Especie de acuario

TALLA 250 mm de longitud total.

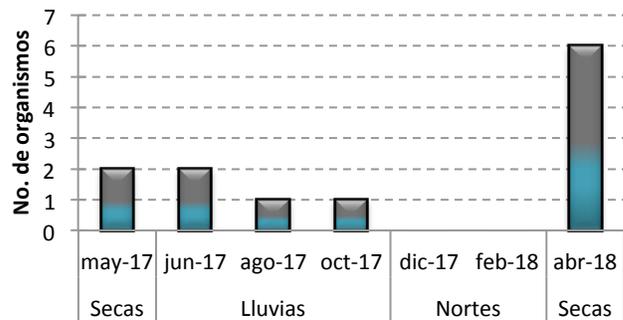
DESCRIPCION Cuerpo alto, con hocico corto y boca pequeña. Aleta caudal cubierta de manchas pequeñas, con 7 a 10 barras verticales en los costados, con un ocelo lateral y uno caudal. Con considerables marcas azules iridescentes y puntos aperlados, particularmente en los machos adultos (Gallardo-Torres *et al.*, 2014).

ECOLOGÍA Tiene una tolerancia relativamente alta a las condiciones hipóxicas y realiza la respiración en la superficie del agua cuando se expone a concentraciones de oxígeno extremadamente bajas (<5 mm Hg) (Obordo y Chapman, 1997). presenta otros mecanismos fisiológicos bien desarrollados, que incluyen una baja tasa metabólica y grandes branquias en relación con el tamaño corporal. Omnívoro, se alimenta de insectos, gusanos, moluscos, crustáceos, peces pequeños, detritus y algas filamentosas. Presentan cuidado parental la hembra cuida los huevos hasta que eclosionan, y los machos protegen a los alevines.

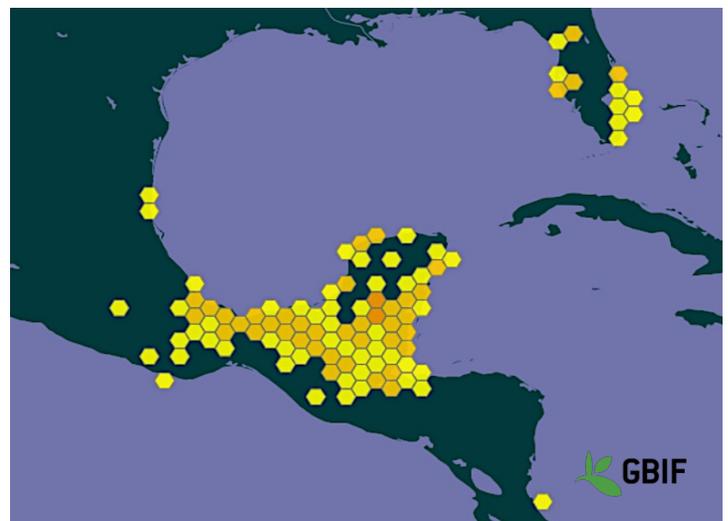
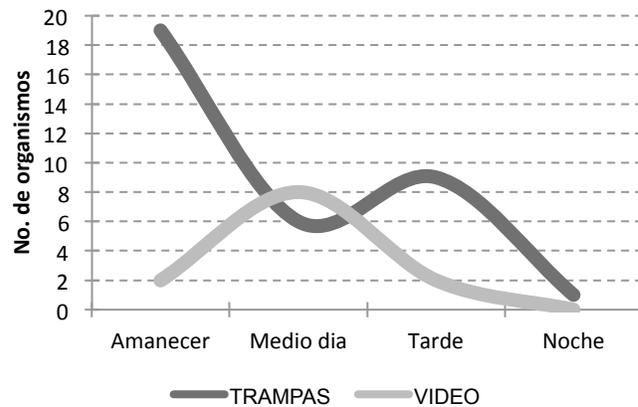
ESTATUS DE CONSERVACIÓN No evaluada. Introducida en Florida.

Mojarra castarrica
Jack Dempsey

Variabilidad Estacional



Variabilidad Nictemera



Thorichthys meeki
(Brind 1918)



SINONIMIAS *Herichthys meeki*, *Cichlasoma hyorhynchum*

MEDIO AMBIENTE Dulce acuícola.

HABITAT Bentopelágico.

IMPORTANCIA ECONOMICA De interés comercial en acuariofilia.

TALLA 170 mm de longitud total.

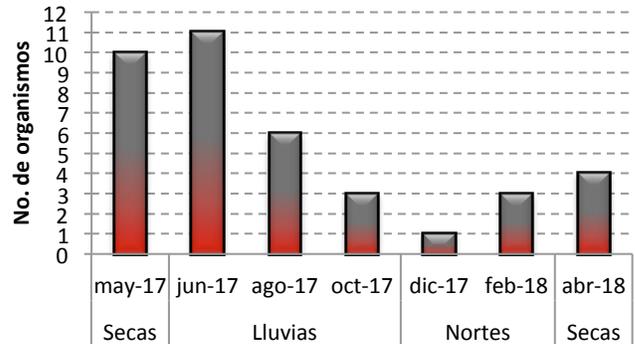
DESCRIPCION Cuerpo alto con cabeza triangular, ojos pequeños y hocico afilado. Con una mancha subopercular prominente y oscura, la región mandibular de color brillante. Presenta cinco poros mandibulares. Aleta pectoral corta y no alcanza el nivel de la última espina anal, la aleta pélvica sobrepasa la quinta espina anal. Su característica más distintiva es la coloración rojo intenso en la garganta y vientre cuando esta vivo (Gallardo-Torres *et al.*, 2014).

ECOLOGÍA La reproducción generalmente es de marzo a mayo, aunque en ambientes estables el período reproductivo puede prolongarse. Los huevos se colocan normalmente sobre un sustrato sólido, como una roca plana o madera flotante. Después de limpiar vigorosamente la superficie de desove con la boca, las hembras ponen una o más filas de huevos antes de que el macho las fertilice. Los huevos son vigilados por la hembra durante el período de incubación, mientras que el macho es responsable de la defensa del territorio circundante. Los alevines son vigilados estrechamente por los padres. Omnívoro, se alimenta principalmente de copépodos y cladóceros

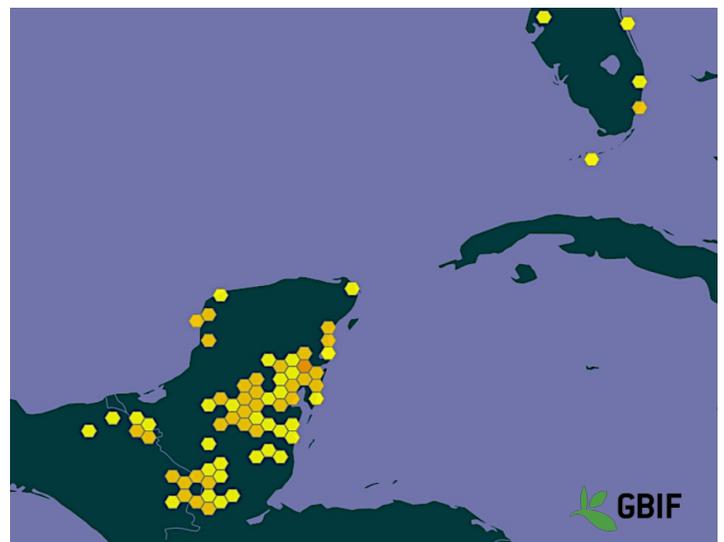
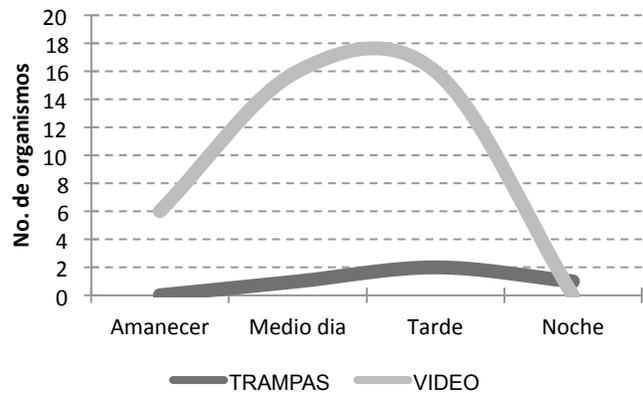
ESTATUS DE CONSERVACIÓN No evaluada.

Mojarra boca de fuego
Firemouth Cichlid

Variabilidad Estacional



Variabilidad Nictemera



GBIF

Rhamdia guatemalensis

(Quoy & Gaimard 1824)



SINONIMIAS *Pimelodus guatemalensis*

MEDIO AMBIENTE Agua dulce.

HABITAT Bentopelágico.

IMPORTANCIA ECONOMICA Se usa como organismo de ornato.

TALLA 474 mm de longitud total.

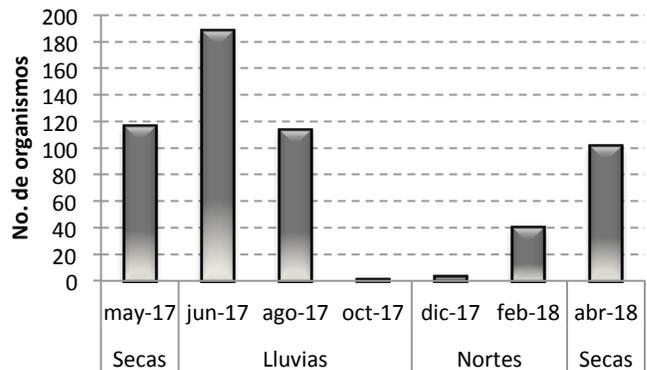
DESCRIPCION Tiene forma alargada, carece de escamas y de espina dorsal aserrada. La primera aleta dorsal tiene una espina y seis radios, mientras que la segunda es adiposa cuya base es mayor que la altura. La aleta anal presenta entre 11 y 13 radios, las pectorales tienen una espina y de 7 a 10 radios, y la aleta caudal se caracteriza por tener una bifurcación muy marcada y por que sus radios centrales son un tercio menores que los mayores. Posee dos barbas mentonianas y otro par largo en las maxilas las cuales llegan al final de la aleta dorsal. Su coloración varía entre negro y gris, las regiones dorsal y lateral son café oscuro o gris oscuro, la zona ventral es blanquecina. Las aletas dorsales y caudal son de color pardusco las aletas pares y anales pueden presentar coloración blanquecina o amarillentas (Gallardo-Torres *et al.*, 2014).

ECOLOGÍA Suele formar cardúmenes y sus actividades las realiza en la noches, durante el día se refugian en grietas o entre la vegetación. Tiene una dieta omnívora, se alimenta de peces, crustáceos, insectos, detritos y moluscos.

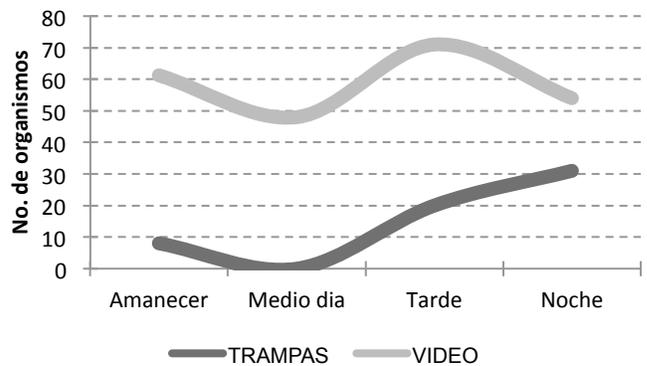
ESTATUS DE CONSERVACIÓN Protegida por la NOM 059 con la categoría de “sujeta a protección especie”.

Juil descolorido South American catfish

Variacion Nictemera



Variacion Estacional



ANEXO VIII: Productos derivados de este trabajo

Participación en congresos

Ponencia oral durante el *VII Iberian Congress of Ichthyology*, Faro, Portugal del 12 al 15 de junio de 2018.

Temporal variations of the fish species composition in a coastal wetland of Yucatan: a comparison of underwater images and traditional techniques.

David A. Espinosa-Mendoza¹, Daniel Arceo-Carranza², Erik Molino Minero-Re³ & Xavier Chiappa-Carrara⁴

¹Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México (mpsevad@gmail.com), ²Unidad Académica Yucatán, UNAM, Puerto de Abrigo s/n, C.P. 97356, Sisal, Yucatán, México, ³Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS) – Mérida UNAM Av. Colón No. 503-F Col. Centro C.P. 97000, Mérida, Yucatán, México, ⁴Escuela Nacional de Estudios Superiores Mérida, Av. Colón No. 503-F Col. Centro C.P. 97000, Mérida, Yucatán.

Nictemeral variations of the fish community in a petén of the northern coast of Yucatan, Mexico, were studied. Observations obtained every two months through the use of underwater video cameras and the traditional sampling techniques. Hydrological parameters were recorded *in situ* to obtain their relationship with the community structure. Fish were collected with cuboid ichthyological traps of 25 cm wide x 25 cm high, and 45 cm long with 3 mm mesh size, and with ichthyological traps with 6 openings of 100 cm wide x 30 cm high with a 3 mm mesh size, deployed for 15 min every six hours. The acquisition of the videos was carried out by placing four GoPro® Hero 4 Black Edition HD cameras, mounted on a base constructed with 19 mm diameter PVC tubes with a trapezoidal design. The videos were recorded for one hour, every six hours. The first 10 minutes were reviewed at normal speed and the next 50 minutes were observed mixing normal speed and high speed (x 1.5 or x 2 speed). With the use of video cameras, 10 species were recorded, the best represented families were Poeciliidae (4 species) and Cichlidae (4 species). Using the traps, *Belonesox belizanus*, *Poecilia velifera*, and *Thorichthys meeki* were not captured.

Funds were received from PAPIIME PE206516, PAPIIT IN219515, CONACYT 271544, and CONACYT 280704.

Ponencia oral durante el *XVI Congreso Nacional y VII Simposio Latinoamericano de Ictiología*, Mérida, Yucatán, México del 12 al 16 de noviembre de 2018.

VARIACIONES TEMPORALES DE LA COMUNIDAD DE PECES EN UN HUMEDAL COSTERO DE YUCATÁN, MEDIANTE IMÁGENES SUBACUÁTICAS Y TÉCNICAS TRADICIONALES

Espinosa-Mendoza David Arturo¹, Daniel Arceo-Carranza², Erik Molino Minero-Re³ y Xavier Chiappa-Carrara⁴

¹ Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México, ² Unidad Académica Yucatán, UNAM, Puerto de Abrigo s/n, C.P. 97356, Sisal, Yucatán, México, ³ Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS), ⁴ Escuela Nacional de Estudios Superiores Mérida, Av. Colón No. 503-F Col. Centro C.P. 97000, Mérida, Yucatán.

Se estudiaron las variaciones nictémeras de la comunidad de peces en un petén de la costa norte de Yucatán, México. Se realizaron observaciones cada dos meses a través del uso de cámaras de video subacuáticas y técnicas tradicionales de muestreo. Los parámetros hidrológicos se registraron in situ para obtener su relación con la estructura de la comunidad. Los peces fueron recolectados con trampas ictiológicas de forma cúbica de 25 cm de ancho x 25 cm de alto y 45 cm de largo con malla de 3 mm, y con trampas ictiológicas con 6 aberturas de 100 cm de ancho x 30 cm de alto con un tamaño de malla de 3 mm, desplegadas por 15 minutos cada seis horas. La adquisición de los videos se llevó a cabo colocando cuatro cámaras GoPro® Hero 4 Black Edition HD, montadas sobre una base construida con tubos de PVC de 19 mm de diámetro con un diseño trapezoidal. Los videos fueron grabados por una hora, cada seis horas. Los primeros 10 minutos se revisaron a velocidad normal y los siguientes 50 minutos se observaron mezclando velocidad normal y alta velocidad (x 1.5 o x 2).

Con el uso de cámaras de video, se registraron 10 especies, las familias mejor representadas fueron Poeciliidae (4 especies) y Cichlidae (4 especies). Usando las trampas, *Belonesox belizanus* y *Poecilia velifera* no fueron capturadas.

Se recibió apoyo de los proyectos PAPIME PE206516, PAPIIT IN219515, CONACYT 271544, y CONACYT 280704.

Palabras clave: Petén, trampas, video

Ponencia oral durante el 6^{to} *Simposio Internacional RECORECOS*, San Francisco de Campeche, Campeche, México del 8 al 12 de abril de 2019

Variaciones temporales de la composición de la comunidad de peces en un humedal costero de Yucatán: una comparación de imágenes subacuáticas y técnicas tradicionales.

Espinosa-Mendoza D. A.¹, Arceo-Carranza D.², Minero-Re E. M.³ & Chiappa-Carrara X.⁴

¹Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México (), ²Unidad Académica Yucatán, UNAM, Puerto de Abrigo s/n, C.P. 97356, Sisal, Yucatán, México, ³Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS) – Mérida UNAM, ⁴Escuela Nacional de Estudios Superiores Mérida, Av. Colón No. 503-F Col. Centro C.P. 97000, Mérida, Yucatán.

mpsevad@gmail.com

Se estudiaron las variaciones nictémeras y estacionales de la comunidad de peces en un petén de la costa norte de Yucatán, México. Se realizaron observaciones cada dos meses durante un año a través del uso de cámaras de video subacuáticas y técnicas tradicionales de muestreo, con el objetivo de describir las variaciones ambientales, comparar los métodos de muestreo y los cambios en la abundancia y diversidad de la ictiofauna y discutir sus asociaciones con los ciclos día-noche y las épocas climáticas características de la región. Los parámetros hidrológicos se registraron in situ para obtener su relación con la estructura de la comunidad. Los peces fueron recolectados con trampas ictiológicas de forma rectangular y con trampas ictiológicas de 6 aberturas, desplegadas por 15 minutos cada seis horas. La adquisición de los videos se llevó a cabo colocando cuatro cámaras GoPro® Hero 4 Black Edition HD, montadas sobre una base construida con tubos de PVC de 19 mm de diámetro con un diseño trapezoidal. Los videos fueron grabados por una hora, cada seis horas. Los primeros 10 minutos se revisaron a velocidad normal y los siguientes 50 minutos se observaron mezclando velocidad normal y alta velocidad (x 1.5 o x 2). Los resultados mostraron diferencias significativas en la matriz ambiental característica de cada época climática, pero no entre las horas de día y de noche. Se determinaron 12 especies distribuidas en 4 familias. Se encontraron diferencias en la composición de especies de peces obtenidas con los distintos métodos de muestreo. Con el uso de cámaras de video, se registraron 10 especies, las familias mejor representadas fueron Poeciliidae (4 especies) y Cichlidae (4 especies). Usando las trampas se registraron 8 especies. La mayor abundancia se registró en la época climática Nortes. Durante el ciclo nictémero se observaron diferencias entre el día y noche.

Palabras clave:

Petén, video, trampas



SIMPOSIUM
INTERNACIONAL

CAMPECHE 2019

RECORECOS

*"Los recursos costeros ante el cambio
climático: causas, efectos y oportunidades"*



La Red para el Conocimiento de los Recursos Costeros del Sureste
otorga la siguiente

CONSTANCIA

a:

Espinosa-Mendoza, David Arturo.

3er lugar

por su ponencia oral:

**VARIACIONES TEMPORALES DE LA COMPOSICIÓN DE LA
COMUNIDAD DE PECES EN UN HUMEDAL COSTERO DE
YUCATÁN: UNA COMPARACIÓN DE IMÁGENES
SUBACUÁTICAS Y TÉCNICAS TRADICIONALES.**

En el marco del Sexto Simposium Internacional RECORECOS
San Fco. de Campeche, Campeche., del 8 al 12 de abril de 2019.

XAVIER CHIAPPA-CARRERA

Dr. Xavier Chiappa Carrera
Coordinador Red RECORECOS



Dr. Rodolfo E. Del Río Rodríguez
Director del Instituto EPOMEX-UAC