



Informe técnico del proyecto

“Programa de Monitoreo de variables ambientales y calidad del agua área de protección de flora y fauna Yum Balam”

Noviembre 2015

Lista de Participantes

Dra. Laura E. Carrillo	Investigadora de ECOSUR Responsable del Proyecto
Biol. Mar. Suleyma Sánchez	Asistente de Investigación de ECOSUR
Daniela Palma	Estudiante de la UMAR
Biol. Mar. Denisse Ángeles Solís	Personal de la CONANP
Ing. Yuliana Zuriday Molina Suárez	Personal de la CONANP
José Antele Marcial	Personal de la CONANP Capitán
Francisca Arely Antele	Estudiante Instituto Tecnológico de Conkal

Resumen

En el presente documento se reportan las actividades realizadas en el proyecto: "PROGRAMA DE MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES Y CALIDAD DEL AGUA DEL ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA YUM BALAM". El objetivo es implementar un programa de monitoreo de variables ambientales y calidad de agua para el área de protección de flora y fauna de Yum Balam, mediante el uso de instrumentación e implementación de protocolos de muestreo. Las actividades en campo consistieron en: 1) la instalación/recuperación de sensores de nivel de agua, temperatura y conductividad en tres sitios de la laguna; y 2) caracterización de la estructura hidrográfica de la laguna Yalahau. Para ello se seleccionaron estaciones de monitoreo en la boca y a lo largo de la laguna para realizar lances de CTD con los cuales se registraron perfiles de profundidad de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH.

1 Introducción

Las lagunas costeras se encuentran entre los ecosistemas más productivos de la tierra y proveen un amplio rango de servicios y recursos (Kennish and Paerl, 2010). Los impactos antropogénicos derivados por el efecto combinado de crecimiento de la población que producen alteraciones en el uso de la tierra y enriquecimiento por descargas de aguas residuales, así como la hidrodinámica implícita del sistema que influye en la residencia del agua se traducen en cambios en la calidad del agua y estrés de los hábitats de la laguna. Con el fin de definir los cambios en la calidad del agua en el área de protección de flora y fauna Yum Balam se inició una serie de campañas de medición de las variables ambientales que permita establecer una línea base mediante un monitoreo e instrumentación en Laguna Yalahau. En el presente documento se describen las actividades realizadas y resultados de tres campañas de medición durante abril, julio y agosto del 2015.

El presente estudio fue financiado en el marco del Proyecto "Conservación de Recursos Marinos en Centro América" a través del Plan Operativo Anual 2014 del Área de Proyección de Flora y Fauna Yum Balam. Por la Cooperación Alemana, Marfund, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza y Pronatura Península de Yucatán A.C.

Antecedentes

El 6 de junio de 1994 se estableció mediante Decreto Federal publicado en el Diario Oficial de la Federación el Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam (APFF Yum Balam), ubicada en el Municipio de Lázaro Cárdenas, Estado de Quintana Roo. La cual presenta ecosistemas con una gran biodiversidad neotropical, con especies endémicas, amenazadas y en peligro de extinción. Se caracteriza por la presencia de grandes zonas inundables y lagunas costeras como Yalahau (también conocida como Conil) y Chaak Mo Chuc en sus 154,052 hectáreas de superficie. En áreas costeras como Holbox y Chiquilá, la población se dedica a la actividad turística, que se centra principalmente en la observación y nado con tiburón ballena y a la pesca, principalmente ribereña, representando la actividad económica con mayores rendimientos para estas comunidades (CONANP, 2013).

La importancia económica y ecológica de Laguna Yalahau para las comunidades asentadas en su rívera ha promovido la realización de diversos estudios sobre la fauna y la flora subacuática. Entre los que se encuentran estudios sobre: distribución de peces y su asociación a los pastos marinos (García-Hernández, 2005; García-Hernández y Oroñes-López, 2007; y Morales-López *et al.*, 2007), listado de las especies de importancia comercial (Jiménez-Sabatini *et al.*, 1998), mortalidad por pesca y tamaño de la población de la corvina pinta (*Cynoscion nebulosus*) (Aguilar *et al.*, 1993) y estudios del uso de la laguna como área de reproducción del tiburón puntas negras (*Carcharhinus limbatus*), especies significativas en la economía de la población dedicada a la pesca (Hueter *et al.*, 2007).

La importancia de estos estudios para la propuesta del programa de monitoreo, radica en que en la mayoría de los estudios, la distribución y la presencia de los organismos se correlaciona con variables hidrográficas como temperatura, salinidad y saturación de oxígeno presentes en el medio, como lo mencionan Aguilar-Salazar *et al.* (2003), en su estudio Batimetría, variables hidrológicas, vegetación acuática sumergida y peces de la laguna Yalahau.

Las diferencias espaciales y temporales de las variables hidrológicas dentro de la laguna encontradas por Aguilar-Salazar *et al.* (2003) y Herrera-Silveira *et al.* (1998) se explican como el resultado de la asociación entre la fuerza y dirección de los vientos, tiempo de

residencia del agua, intensos flujos de marea y aportes dulceacuícolas subterráneos (manantiales). Aunque también está sujeta a los huracanes, eventos extraordinarios aunque frecuentes en la zona (García-Hernandez *et al.* 2007, Perry *et al.* 2002 y Salazar-Vallejo, 2002).

Respecto a la calidad de agua de Laguna Yalahau, se menciona la susceptibilidad a la eutrofización debido a que es un sistema lagunar costero que se encuentra asociado a una comunidad en crecimiento. (Tran *et al.* 2002, Herrera-Silveira, 2006 y Herrera-Silveira *et al.* 2014).

Toda la variabilidad física y química de Laguna Yalahau asociada a cambios estacionales o a fenómenos meteorológicos así como el desarrollo cada vez mayor de los asentamientos humanos, hace necesario el monitoreo continuo de indicadores del comportamiento y salud del ecosistema. Flores-Castrejón *et al.* (2003) recomendó en su reporte final financiado por el Programa de Pequeñas Donaciones (PPD) a organizaciones no gubernamentales del fondo para el medio ambiente mundial, desarrollar estrategias de monitoreo hidrológico considerando la extensión de Laguna Yalahau, para determinar la variabilidad que permita implementar medidas de manejo adecuadas.

Para poder conocer la variabilidad existente en Laguna Yalahua es importante entender su hidrodinámica. A la fecha no existe un estudio sobre la hidrodinámica de la laguna a pesar de que esta puede controlar la calidad del agua a través de los tiempos de residencia del agua, la tasa de intercambio, así también permite definir los hábitats con base a la distribución de propiedades y procesos que ahí ocurran.

El propósito del proyecto

Establecer una línea base de monitoreo de variables hidrográficas relacionadas con la calidad del agua en Laguan Yalahau. Para ello se propone el programa de monitoreo de variables ambientales y calidad de agua para el área de protección de flora y fauna de Yum Balam, mediante la capacitación en el uso de instrumentación e implementación de protocolos de muestreo.

2 Actividades realizadas

Se realizaron tres salidas de campo durante abril, julio y agosto. En general, las actividades consistieron en la instalación/recuperación de los sensores de temperatura, conductividad y nivel de agua. También, se realizaron lances de CTD (Conductividad Temperatura y Profundidad) para obtener registros de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH a diferentes profundidades, esto con el fin de tener la caracterización de estructura hidrográfica de esta laguna.

Trabajo de laboratorio, control de calidad y procesamiento de la información.

2.1 Recuperación e instalación de sensores de nivel del agua, temperatura y conductividad

Para la obtención de registros continuos de temperatura, nivel del agua y conductividad se instalaron 2 sensores HOBO Water level Logger modelo U20L-01 y un sensor de conductividad modelo U24-002-C (Figura 1). Los sensores de nivel del agua y temperatura se colocaron uno en la boca o entrada de la laguna y el otro en un sitio en la cabeza de la laguna. El sensor de conductividad y temperatura se colocó en la boca de la laguna. La figura 2 muestra la localización de los sitios en un mapa de la Laguna. Las coordenadas geográficas se observan en la Tabla I.

La profundidad de instalación y el material que se utilizó para asegurar la permanencia del equipo dependió de las características del sitio. Los sensores ubicados en el interior y boca de la laguna se instalaron a una profundidad entre los 50-70 centímetros y dentro de una estructura diseñada con apariencia rocosa (Figura 2a). El sensor de conductividad fue instalado en una barra de aluminio insertada en una plancha de concreto de 30x30x8 cm (Figura 2b).

El tercer sensor, ubicado en el exterior de la laguna, pero cerca de la boca, se instaló a unos 5 metros de profundidad sobre una estructura de base rocosa y metal vertical (Figura 2b).

Durante la campaña de julio 2015, además de la instalación de estos sensores, se recuperó el sensor de nivel de agua y temperatura colocado en la cabeza de la laguna en abril 2015.

Mientras que durante la campaña de agosto 2015 se recuperaron los sensores colocados en julio y se instalaron otros en los mismos sitios para mantener la continuidad de los datos.



Figura 1. Instalación del sensor de temperatura y nivel del agua en Laguna Yalahau durante abril 2015.



Figura 2. Estructura implementada para instalar sensor de temperatura y nivel de agua en el interior y boca de la Laguna Yalahau durante julio y agosto/septiembre 2015.

Tabla I. Coordenadas geográficas de los sensores instalados durante abril, julio y agosto/septiembre 2015 en Laguna Yalahau.

Característica del sitio	Posición	
	Latitud	Longitud
Cabeza	21.5448100	87.1330000
Boca	21.4981713	87.3872142
Canal	21.5021260	87.4037462

2.2 Observaciones hidrográficas

Con el fin de definir sitios para el monitoreo de las variables fisicoquímicas que permitan caracterizar la estructura hidrográfica de la columna de agua de la Laguna Yalahau se realizaron observaciones con un CTD SBE19plus y un CASTAWAY-CTD en estaciones distribuidas a lo largo del área de estudio. Durante las tres campañas se realizaron perfiles verticales en diferentes puntos previamente geo-referenciados en la Laguna Yalahau (Figura 3-5), esto fue con la finalidad de caracterizar la columna de agua en cuanto a sus variables como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y profundidad. Las Tablas II-IV muestran las coordenadas geográficas de los sitios de monitoreo.

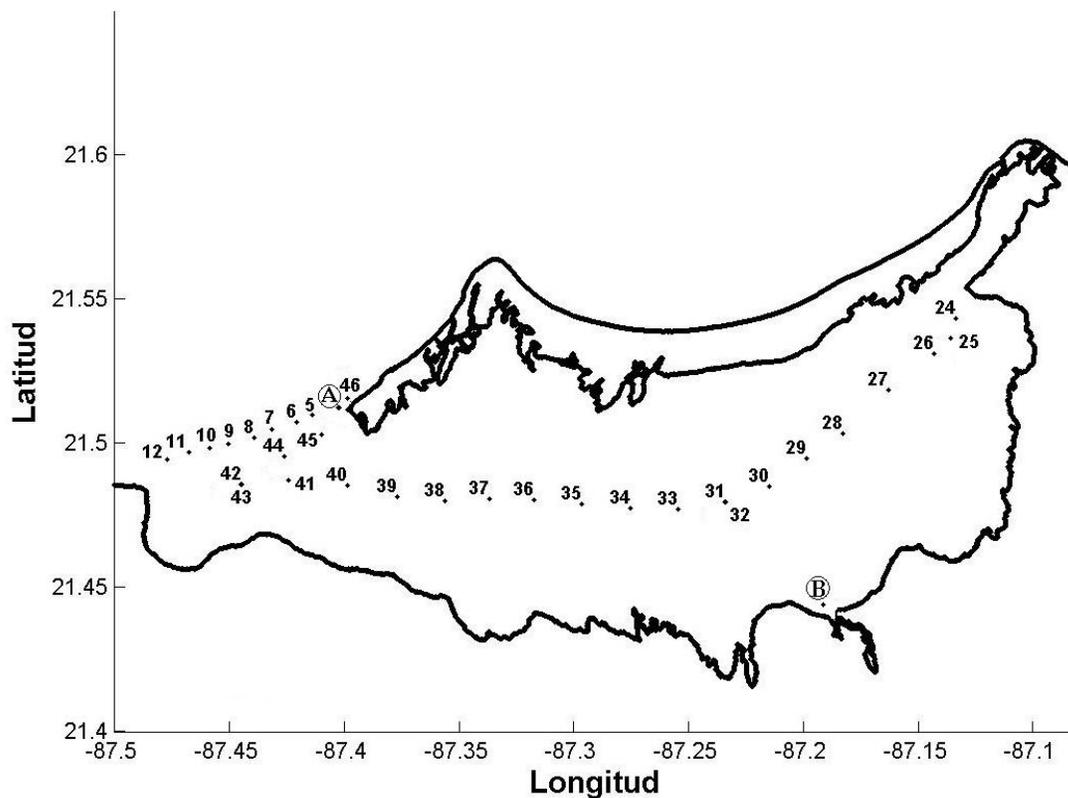


Figura 3. Localización geográfica de las estaciones para medición de parámetros fisicoquímicos durante abril 2015. Número total de estaciones 46. Los sitios etiquetados con A contienen perfiles 1 al 4, mientras que el sitio B contiene perfiles del 13-23.

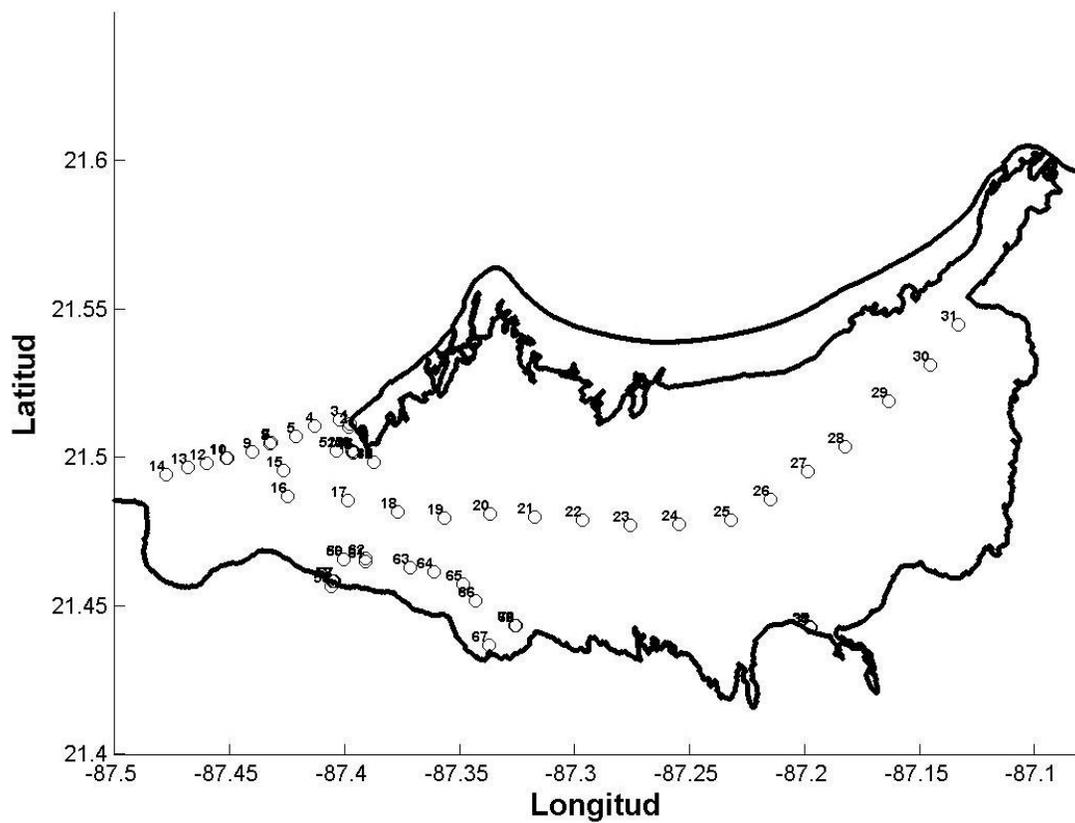


Figura 4. Localización geográfica de las estaciones para medición de parámetros fisicoquímicos durante julio 2015. Número total de estaciones 67.

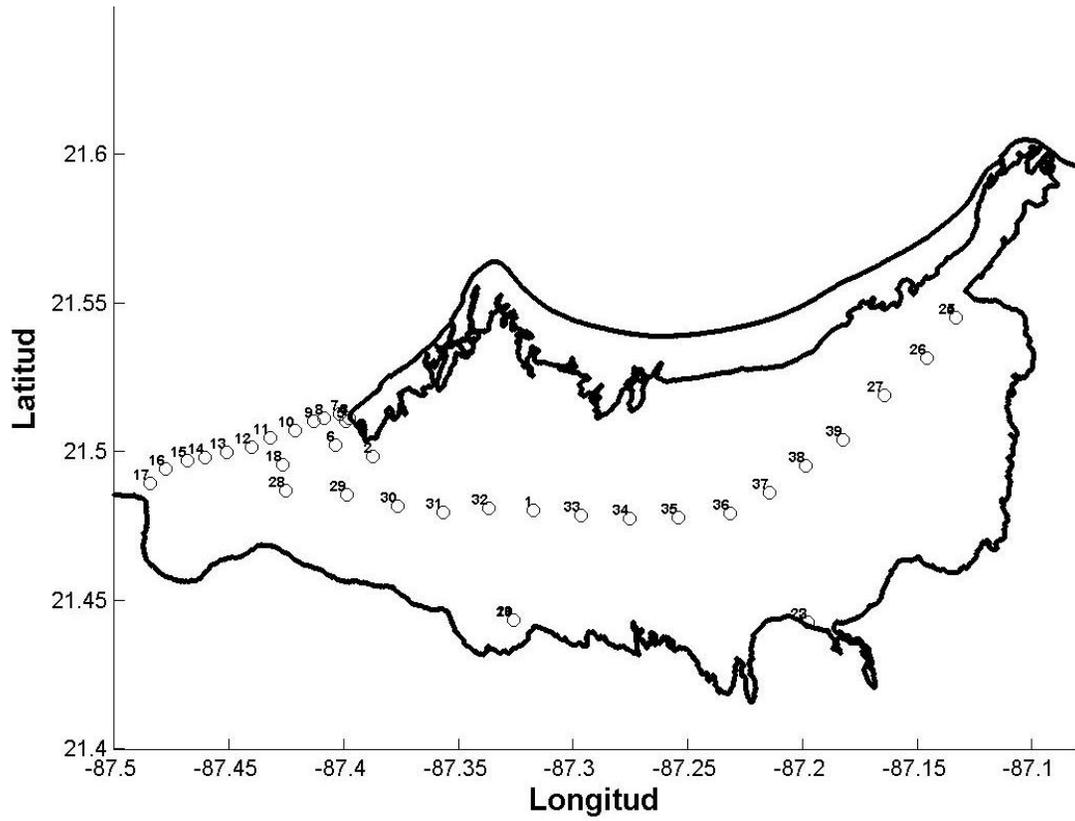


Figura 5. Localización geográfica de las estaciones para medición de parámetros fisicoquímicos durante agosto 2015. Número total de estaciones 39.

Tabla II. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo para medición de parámetros fisicoquímicos durante la prospección en laguna Yalahua en abril 2015.

Estación	Latitud	Longitud	Estación	Latitud	Longitud
1	21.5116887	-87.3980847	24	21.5433812	-87.1333024
2	21.5115222	-87.3984559	25	21.5366464	-87.1358002
3	21.5124629	-87.4020665	26	21.5310659	-87.1430965
4	21.5122451	-87.4025949	27	21.5184818	-87.1630713
5	21.5096954	-87.4124793	28	21.5035955	-87.1826984
6	21.5073444	-87.4209238	29	21.494784	-87.1987526
7	21.5050129	-87.4313629	30	21.4851797	-87.2149351
8	21.5019836	-87.4394364	31	21.4796787	-87.2339221
9	21.4998343	-87.4504721	32	21.4798132	-87.2342983
10	21.4984994	-87.4586339	33	21.4773219	-87.2544629
11	21.4969702	-87.4675536	34	21.4773533	-87.2754938
12	21.4943954	-87.4772857	35	21.4788636	-87.2963499
13	21.4427223	-87.1974119	36	21.4802423	-87.3172726
14	21.4428047	-87.1975469	37	21.4805923	-87.3368491
15	21.4427643	-87.1974597	38	21.4799073	-87.3563749
16	21.4427821	-87.1975268	39	21.4814857	-87.3768591
17	21.4428266	-87.1975096	40	21.4853847	-87.3986723
18	21.4428121	-87.1974825	41	21.4872241	-87.4243734
19	21.4427509	-87.1975371	42	21.4857783	-87.4445412
20	21.4384267	-87.1852324	43	21.4857294	-87.4450932
21	21.4407208	-87.1895579	44	21.4955891	-87.4263315
22	21.4409898	-87.1899275	45	21.5028787	-87.4098431
23	21.4443143	-87.1920361	46	21.5148991	-87.3983932

Tabla III. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo para medición de parámetros fisicoquímicos durante la prospección en laguna Yalahua en julio 2015.

Estación	Latitud	longitud	Estación	Latitud	Longitud
1	21.5113813	-87.3974985	37	21.4982349	-87.3872001
2	21.5101018	-87.3981898	38	21.4982127	-87.3872051
3	21.5127875	-87.4020938	39	21.498284	-87.3871901
4	21.5103848	-87.4132565	40	21.4982804	-87.3872067
5	21.5071517	-87.4211991	41	21.4982491	-87.387228
6	21.5048286	-87.4320239	42	21.4982449	-87.3872386
7	21.5048198	-87.4321912	43	21.4982661	-87.3872255
8	21.5047824	-87.4323896	44	21.4982383	-87.3872039
9	21.5017541	-87.4400338	45	21.5017298	-87.3959906
10	21.4996534	-87.4510924	46	21.5015781	-87.3962217
11	21.4996214	-87.4513182	47	21.5015622	-87.3963462
12	21.4981174	-87.4601928	48	21.5020226	-87.3966122
13	21.4967251	-87.4681773	49	21.5020483	-87.3966277
14	21.4941281	-87.4777608	50	21.5021486	-87.4037562
15	21.4955455	-87.4266666	51	21.5021586	-87.4037636
16	21.486918	-87.4248638	52	21.4583616	-87.4054105
17	21.4855196	-87.3986944	53	21.4564679	-87.405783
18	21.4815146	-87.3767704	54	21.4565711	-87.4058044
19	21.4796075	-87.3568256	55	21.4565574	-87.4058572
20	21.4809128	-87.336796	56	21.4584408	-87.404673
21	21.480062	-87.3172044	57	21.458276	-87.4047151
22	21.4787495	-87.2964394	58	21.4657981	-87.4002394
23	21.4771774	-87.2758356	59	21.4657395	-87.4004882
24	21.4776001	-87.2545351	60	21.4649095	-87.3910537
25	21.4789014	-87.2317499	61	21.46587	-87.3910614
26	21.4859892	-87.2145858	62	21.4629862	-87.3716816
27	21.4952029	-87.1987451	63	21.461361	-87.3610139
28	21.503501	-87.182324	64	21.457408	-87.3482678
29	21.5190083	-87.163148	65	21.4517082	-87.3429527
30	21.5312617	-87.1453909	66	21.4366712	-87.3374076
31	21.5448313	-87.1331057	67	21.4434088	-87.3257806
32	21.4427839	-87.1973984	68	21.4434024	-87.3257976
33	21.4427832	-87.1974329	69	21.4434053	-87.3257862
34	21.4428386	-87.1974684	70	21.4432842	-87.3256294
35	21.4428278	-87.1975084	71	21.4433151	-87.32569
36	21.4428362	-87.1974714	72	21.44334	-87.325714

Tabla IV. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo para medición de parámetros fisicoquímicos durante la prospección en laguna Yalahua en agosto/septiembre 2015.

Estación	Latitud	longitud	Estación	Latitud	Longitud
1	21.4800841	-87.3171226	21	21.4434113	-87.3258245
2	21.4982044	-87.3872317	22	21.4427947	-87.1974783
3	21.511202	-87.3976108	23	21.4428066	-87.1974571
4	21.5111996	-87.3976084	24	21.5449892	-87.1330533
5	21.5103479	-87.3991777	25	21.5449118	-87.1330464
6	21.5021396	-87.4037916	26	21.5316082	-87.1455514
7	21.5128132	-87.4019547	27	21.518888	-87.1641558
8	21.5113767	-87.4086989	28	21.4868456	-87.4253974
9	21.5102724	-87.4132697	29	21.4854633	-87.3986892
10	21.5071836	-87.4210924	30	21.481595	-87.3764909
11	21.5047062	-87.4320742	31	21.4794109	-87.356607
12	21.5016535	-87.4401737	32	21.4809739	-87.3367883
13	21.4997376	-87.4512011	33	21.4785242	-87.2964286
14	21.4980753	-87.4603045	34	21.4773483	-87.2755355
15	21.4968117	-87.4683645	35	21.4777766	-87.2541982
16	21.4941412	-87.4778105	36	21.4790777	-87.2314852
17	21.4892621	-87.4845206	37	21.4861928	-87.2142335
18	21.4957048	-87.4264998	38	21.495337	-87.1984212
19	21.4433961	-87.3258085	39	21.5040148	-87.1824319
20	21.4434529	-87.3257756			

2.3 Trabajo en laboratorio

2.3.1. Sensores de temperatura y nivel de agua

En el laboratorio de Oceanografía Física de ECOSUR se realizó la adquisición de los datos de los sensores con el software del fabricante HOBOWare Pro ver. 3.7.5. Utilizando este software se cambió el formato de origen de datos a formato ASCII y se realizó una gráfica de la serie de tiempo como una primera prospección de los datos. Los sensores se les dio mantenimiento para su posterior re-instalación.

2.3.2. Perfiles verticales miniCTD

Mediante el software CastAway miniCTD se extrajeron por medio de bluetooth datos registrados y guardados por el perfilador miniCTD. Paso siguiente fue realizar una exportación de datos en formato mat a una carpeta específica para realizar análisis de datos en el programa MatLab generando perfiles del comportamiento de la temperatura y salinidad conforme a la profundidad, así como también la generación de diagramas TS.

Posteriormente, se organizaron por estaciones los datos para generar mapas de contorno verticales de temperatura y salinidad mediante el programa Surfer. Con esto se permite analizar la variación de la temperatura y salinidad en columna de agua de la Laguna Yalahau.

2.3.3. Perfiles verticales CTD SBE19plus

Con los datos obtenidos del CTD SeaBird 19plus se utilizó el programa en lenguaje de MatLab software SEATERM del Seabird otorgado por el fabricante para la extracción de datos. Posteriormente, se utilizaron subrutinas de lenguaje MatLab y un pre-procesamiento de temperatura y salinidad. Con esta información se elaboraron perfiles verticales para la boca y lo largo de la laguna de los parámetros salinidad (UPS) y temperatura (°C) con ayuda del programa Surfer utilizando el método de interpolación Kriging.

3 Resultados

Resultados preliminares muestran que laguna Yalahau presenta un amplio rango de salinidades. Con condiciones de salinidad mayores a las de su aguas marinas adyacentes. En las Figuras 6-8 se muestra un diagrama de temperatura y salinidad que ilustra la dispersión de estos datos. Los valores más bajos de temperatura y salinidad fueron encontrados cerca de la boca, mientras que los altos valores de salinidad y temperatura en las aguas someras de la laguna, incrementando hacia el interior de esta. En los diagramas TS se muestran las condiciones de muestreo durante la temporada de secas (Figura 6), lluvias (Figuras 7 y 8).

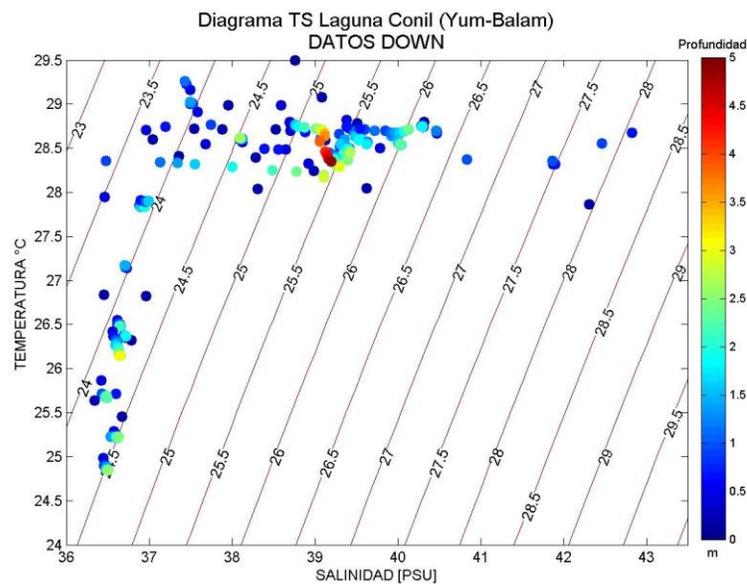


Figura 6. Diagrama TS (Temperatura-Salinidad) que muestra las observaciones de los datos preliminares de estos parámetros obtenidos con el Castaway-CTD durante abril 2015.

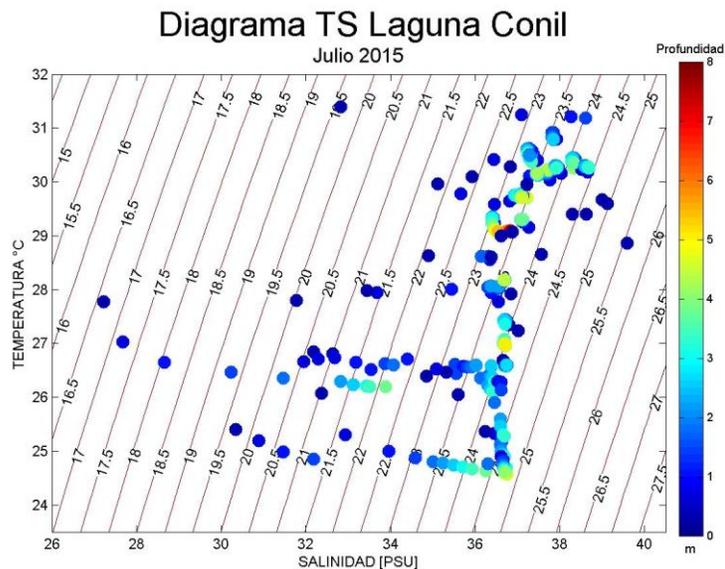


Figura 7. Diagrama TS (Temperatura-Salinidad) que muestra las observaciones de los datos preliminares de estos parámetros obtenidos con el Castaway-CTD durante julio 2015.

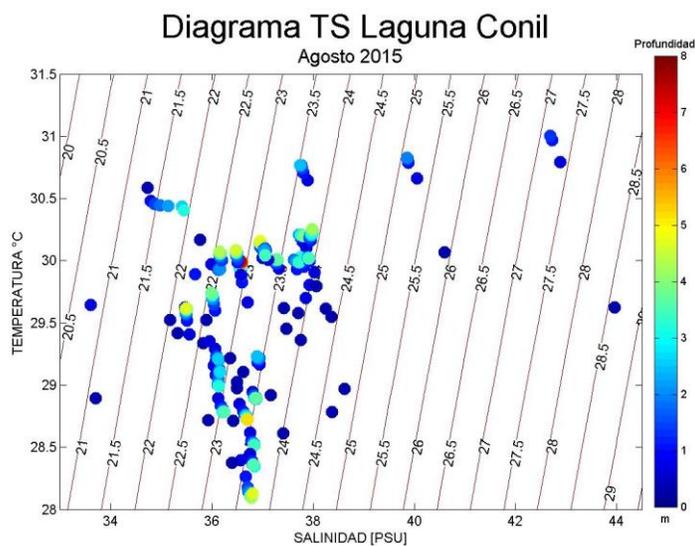
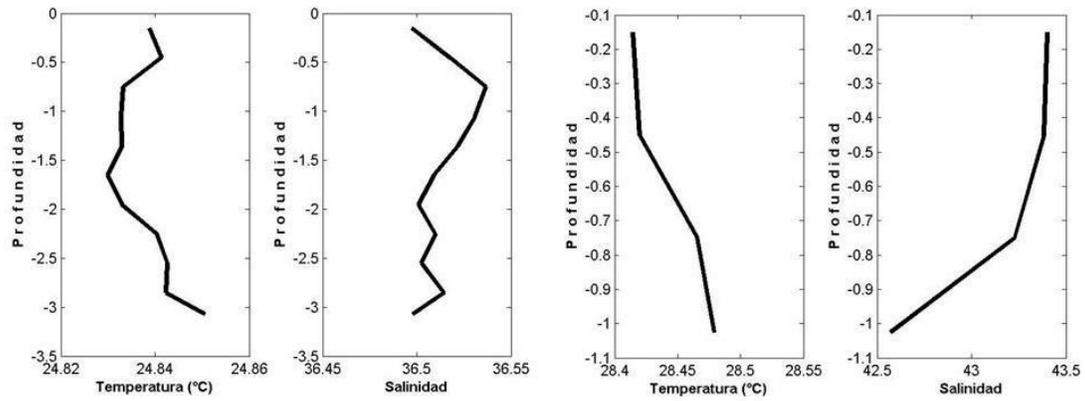


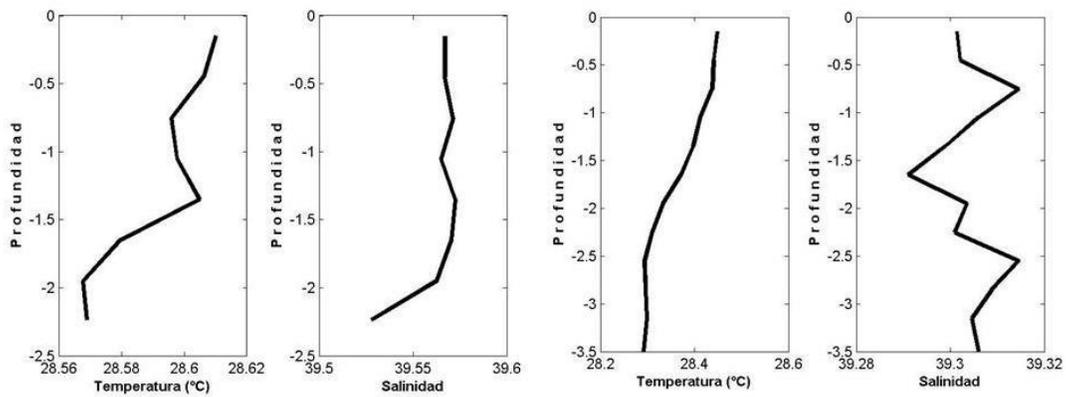
Figura 8. Diagrama TS (Temperatura-Salinidad) que muestra las observaciones de los datos preliminares de estos parámetros obtenidos con el Castaway-CTD durante agosto 2015.

Los perfiles verticales de los parámetros de temperatura y salinidad de 4 sitios representativos a lo largo y ancho de la boca de la laguna para las tres campañas se aprecian en las figuras 9-11. Los perfiles muestran en general un sistema verticalmente homogéneo, pero con diferencias por localización y por temporada. Con estos perfiles se utilizarán para construir secciones transversales en la entrada de la laguna y a lo largo de esta como se muestra en la Figura 12 y definir la estructura termohalina que prevalecieron durante las campañas.



a)

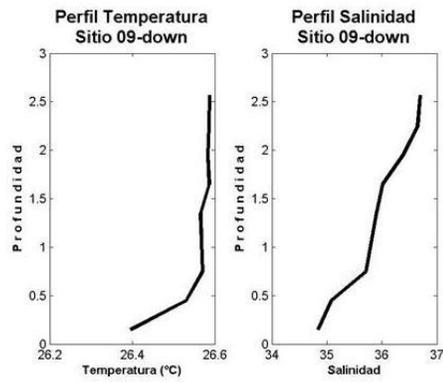
b)



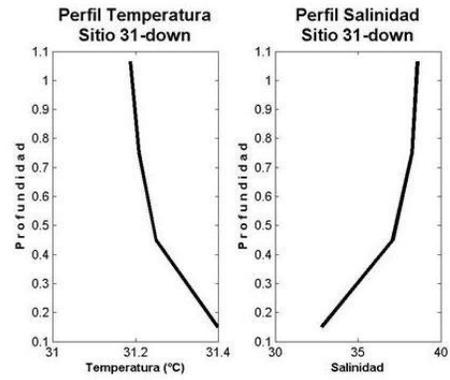
c)

d)

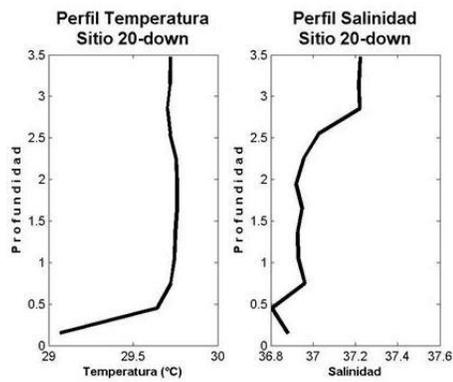
Figura 9. Perfiles preliminares de Temperatura y Salinidad con respecto a la profundidad en 4 sitios de la laguna Yalahau durante abril 2015; a) en la boca, b) en la cabeza, c) y d) en la parte central de la laguna.



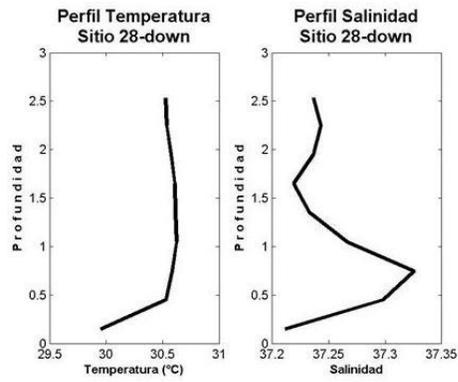
a)



b)

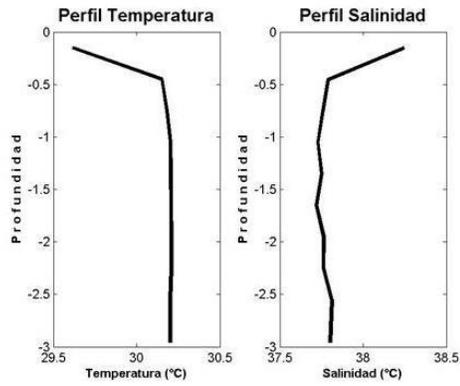


c)

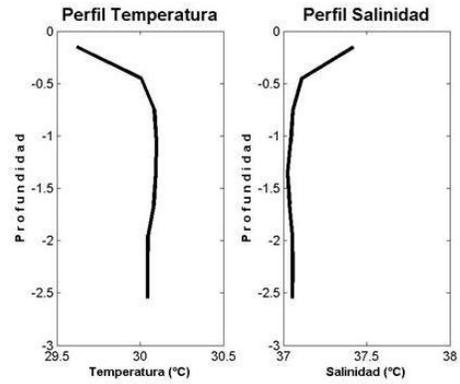


d)

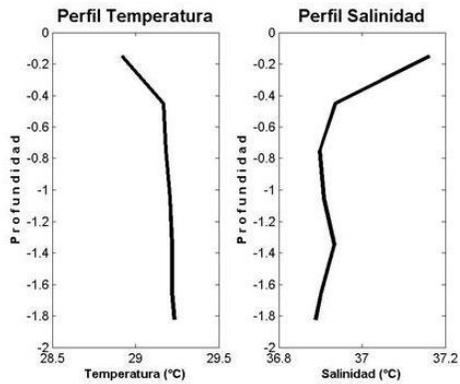
Figura 10. Perfiles preliminares de Temperatura y Salinidad con respecto a la profundidad en 4 sitios de la laguna Yalahau durante julio 2015; a) en la boca, b) en la cabeza, c) y d) en la parte central de la laguna.



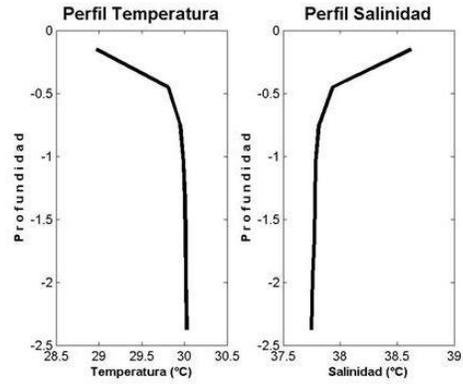
a)



b)



c)



d)

Figura 11. Perfiles preliminares de Temperatura y Salinidad con respecto a la profundidad en 4 sitios de la laguna Yalahau durante agosto 2015; a) en la boca, b) en la cabeza, c) y d) en la parte central de la laguna.

Laguna Yalahau Abril 2015
Perfiles verticales Boca

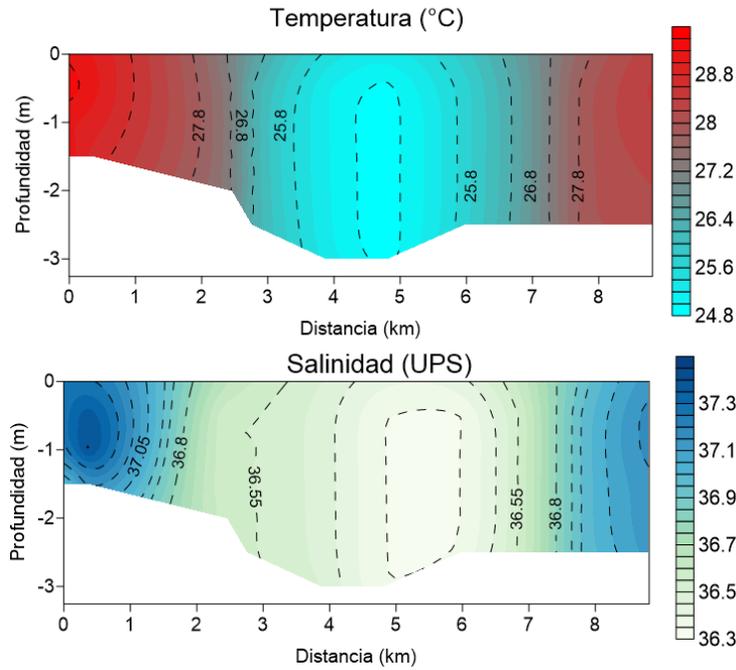


Figura 12. Estructura termohalina de la laguna. Sección entrada de la laguna

Laguna Yalahau Abril 2015
Perfiles verticales Laguna

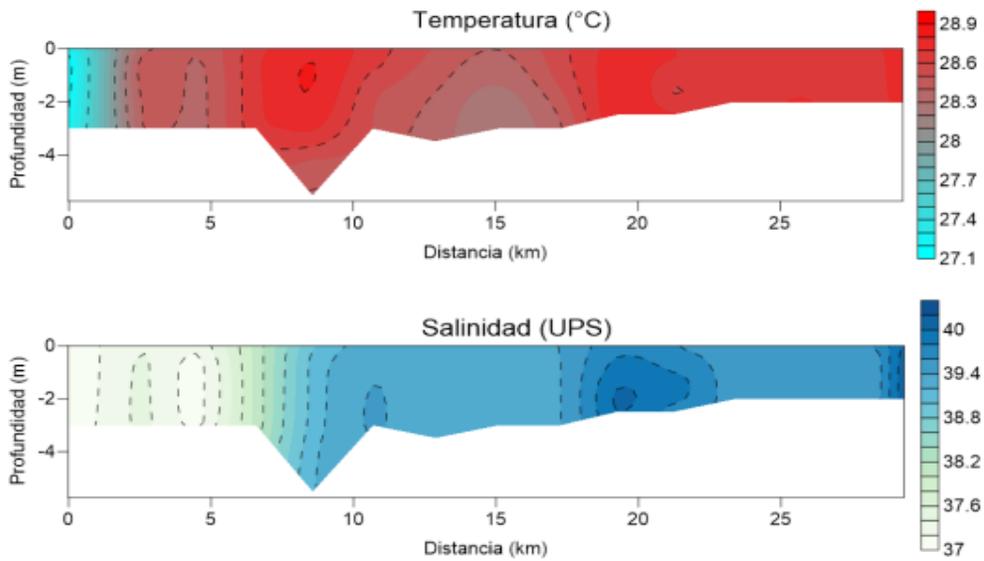


Figura 13. Estructura termohalina de una sección a lo largo de la laguna Yalahau durante abril 2015.

En las series de tiempo de temperatura, nivel del agua y conductividad se observa que la variabilidad en la laguna parece ser dominada por oscilaciones diurnas y por eventos de periodos mayores relacionados con el paso de fenómenos meteorológicos tales como tormentas y nortes. En la Figura 14 se observa un ejemplo de la serie de tiempo de la temperatura y de la presión de uno de los sensores colocado en la cabeza de la laguna.

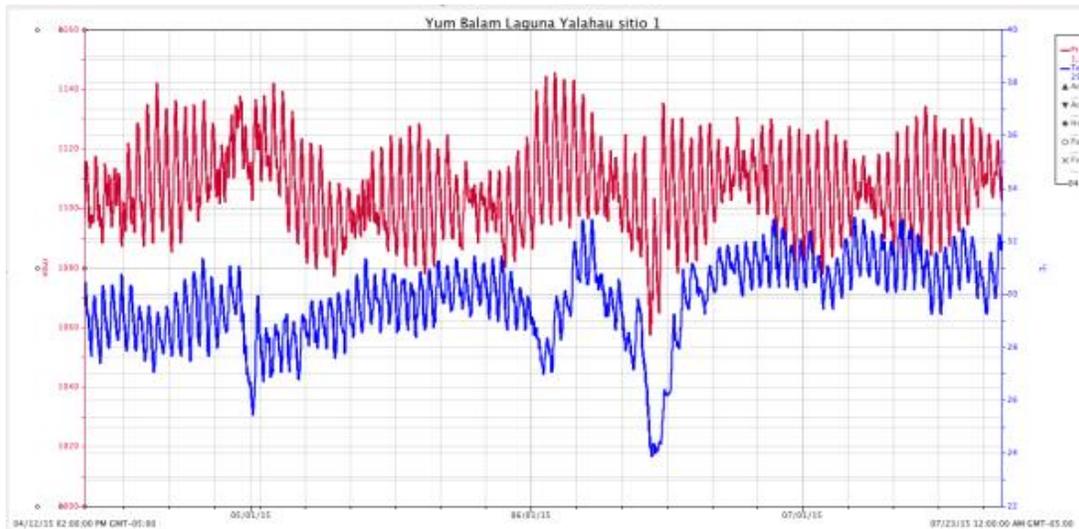


Figura 14. Serie de tiempo de temperatura (azúl) y presión (rojo) de uno de los sensores colocados en la cabeza de la laguna Yalahau. La serie abarca del 12 de abril al 23 de julio 2015.

Trabajo de campo y de laboratorio por realizar

Realizar un reporte de las estadísticas básicas descriptivas de las variables observadas. Generar los gráficos de la estructuras termohalinas. Salida de campo para recuperar los sensores. Analizar la serie de tiempo del nivel del agua y temperatura del sensor recuperado.

Referencias

- Aguilar Salazar, F. A., F. Arreguín Sánchez, J. A. Sánchez y J. D. Martínez Aguilar. 1993. Mortalidad por pesca y tamaño de la población de la corvina pinta *Cynoscion nebulosus* (Cuvier) de Holbox, Quintana Roo, México. *Ciencias Marinas*, 19(3) 307-319.
- Aguilar-Salazar, F., J.A. González-Iturbe, A. Senties-Granados, M. Rueda, J. Herrera-Silveira, I. Olmsted, F. Remolina-Suárez, J. Martínez-Aguilar, R. Figueroa-Paz y F. Figueroa-Paz. 2003. Batimetría, variables hidrológicas, vegetación acuática sumergida y peces de la laguna Yalahau, Quintana Roo, México. Instituto Nacional de la Pesca, México, 22 p.
- CONANP. 2013. Anteproyecto Programa de manejo del área natural protegida con la categoría de área de protección de flora y fauna Yum Balam. http://www.cofemermir.gob.mx/mir/formatos/MIR_ImpactoModeradoView.aspx
- DOF, 1994. DECRETO por el que se declara como área natural protegida, con carácter de área de protección de flora y fauna, la región conocida como Yum Balam, ubicada en el Municipio de Lázaro Cárdenas, Estado de Quintana Roo. 6 de Junio de 1994
- Flores Castrejón, R. y Aguilar Salazar, F. 2003. El reclutamiento de los peces en la pesquería multiespecífica de la laguna de Yalahau, Quintana Roo. Informe final para para el Programa de pequeñas donaciones a organizaciones no Gubernamentales del fondo para el medio ambiente mundial. Mex/98/g52.
- García-Hernández, V. y U. Ordoñez-López. 2007. Efecto de la complejidad estructural de *Thalassia testudinum* sobre la distribución y abundancia de peces juveniles de *Lagodon rhomboides*. In: *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 59:373-378.
- García-Hernández, V., U. Ordoñez-López y M.E. Vega-Cendejas. 2008. Recuperación de la ictiofauna juvenil después del impacto del Huracán “Wilma” en un Área Natural Protegida. In: *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 60, pp. 475-480.
- Herrera-Silveira, J. A. 2006. Lagunas costeras de Yucatán (SE, MÉXICO): Investigación, diagnóstico y manejo. *Ecotropicos*, 19(2):94-108
- Herrera-Silveira, J.A., J. Ramírez-Ramírez y A. Zaldivar-Jiménez. 1998. Overview and characterization of the hydrology and primary producer community of selected coastal

- lagoons of Yucatán, México. *Aquatic Ecosystem Health and Management Society* 1: 353-372.
- Herrera-Silveira, J.A., M.A. Pech Cárdenas, T. O. Cortes Balán, I. Osorio, y M. Linares. 2014. Caracterización de la calidad del agua de Isla Holbox de acuerdo a su estado trófico: época de lluvias 2013. Informe Técnico, CINVESTAV, 242 p.
- Hueter, R.E., J.L. Castillo-Géniz, J.F. Márquez-Farías y J.P. Tyminski. 2007. The use of Laguna Yalahau, Quintana Roo, Mexico as a primary nursery for the blacktip shark. In *Shark Nursery Grounds of the Gulf of Mexico and the East Coast of the United States* (C. McCandless, N. Kohler and H.L. Pratt, eds.). American Fisheries Society Symposium 50:345-364.
- INEGI. 2010. Censo de Población y Vivienda.
- Jiménez-Sabatini, T., F. Aguilar-Salazar, J. de D. Martínez-Aguilar, R. Figueroa-Paz y C. Aguilar-Cardozo. 1998. Una Visión Pesquera Sobre la laguna de Yalahau en el Área de Holbox, Quintana Roo, México. Federación Regional de Sociedades Cooperativa de la Industria Pesquera del Estado de Quintana Roo. Instituto Nacional de Pesca. México, 33p
- Kennish, J.M. y H.W. Paerl . 2010. Coastal Lagoons: Critical Habitats of Environmental Change. CRC PressINC. 558 p.
- Morales-López, N., E. Pérez-Díaz y T. Brule. 2007. Análisis espacio temporal de los ensamblajes de peces presentes en áreas de pastos marinos en la laguna de Yalahau, Quintana Roo, México. En: *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 59, pp. 383-390.
- Ordoñez-López, U. y V.D. García-Hernández. 2005. Ictiofauna juvenil asociada a *Thalassia testudinum* en laguna Yalahau, Quintana Roo. *Hidrobiológica* 15(2 especial):195-204.
- Perry, E., G. Velásquez-Oliman y L. Marín. 2002. The hydrogeochemistry of the karst aquifer system of the northern Yucatan Peninsula, Mexico. *International Geology Review* 44: 191-221.
- Salazar-Vallejo, S. 2002. Huracanes y biodiversidad costera tropical. *Revista de Biología Tropical* 50(2):415-428.

Tran, K.C., D.S. Valdés-Lozano, J. Euán, E. Real y E. Gil. 2002. Status of water quality at Holbox Island, Quintana Roo State, Mexico. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 5: 173-189.

Apéndice 1

HOBO U20 Water Level

El HOBO U20 Water Level es un instrumento que permite monitorear cambios en el nivel de agua y temperatura. Puede implementarse para diferentes sistemas: rios, lagos, humedales, zonas de marea y aguas subterráneas.

Especificaciones

- Rango de operación (presión): 0-207 kPa (0 a 30 psia); aproximadamente de 0 a 9 m (0 a 30 pies) de profundidad del agua a nivel del mar, o de 0 a 12 m (0 a 40 pies) de agua a 3.000 m (10.000 pies) de altitud.
- Rango de operación (temperatura): -20° a 50°C (-4° a 122°F).
- Batería: 2/3 AA, 3,6 voltios de litio.
- Vida de batería (en zonas templadas): hasta 5 años considerando su uso para registrar datos cada 1 minuto o más.
- Memoria: 64K (aprox. 21,700 registros de presión y temperatura).



CASTAWAY-CTD

El CastAway-CTD está diseñado para realizar perfiles verticales de temperatura, salinidad y presión en la columna de agua, además de guardar la posición geográfica ya que tiene un GPS integrado. También realiza un pre-procesamiento automático, lo que permite al



usuario consultar en tiempo real en su pantalla las variables de:

- Salinidad (hasta los 42 PSU)
- Temperatura (-5 A 45°C)
- Conductividad (0-100,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$)
- Densidad (990 a 1035 kg/m^3)
- Profundidad (0 a 100 m)
- Velocidad de sonido (1400 –1730 m/s)
- Posición GPS

CastAway miniCTD

Se utilizó el CastAway miniCTD para consultar gráficos en tiempo real de las variaciones en profundidad, temperatura y salinidad de los diferentes puntos georeferenciados de la Laguna Conil.

El modo de uso para este equipo consistió en:

1. Activar el sensor y esperar señal satelital para registrar posición geográfica
2. Seleccionar en la pantalla digital con el lápiz interactivo del miniCTD la opción de realizar perfil
3. Deslizar lenta y constantemente el sensor a lo largo de la columna de agua hasta llegar al fondo y subir a la misma velocidad
4. Mantener en la superficie, fuera del agua, el sensor y seleccionar en la pantalla digital con el lápiz interactivo del miniCTD la opción de finalizar perfil
5. Revisar en la pantalla digital las gráficas generadas en tiempo real digital del miniCTD.

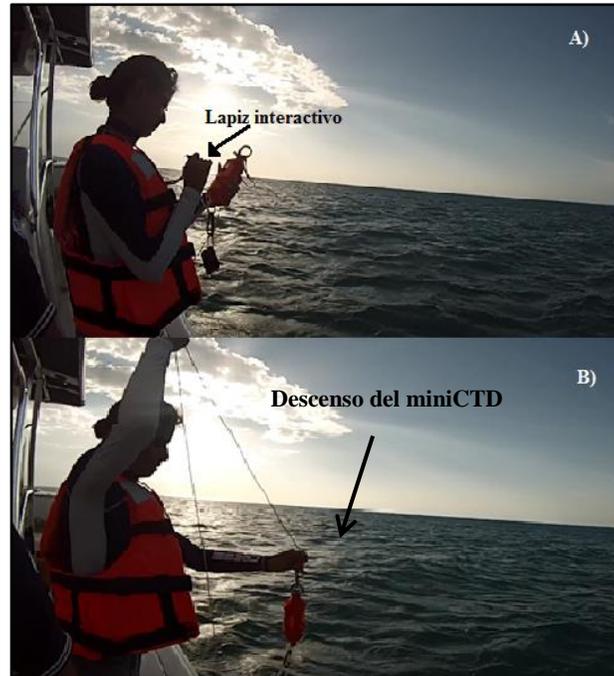


Figura A1. Implementación en campo del instrumento oceanográfico CastAway miniCTD. **A)** Uso del lápiz interactivo para activar sensor y **B)** deslizamiento del sensor para realizar perfil vertical en el sitio de monitoreo.

SBE19plus V2 SeaCAT

El SBE19plus V2 SeaCAT es un instrumento oceanográfico que permite medir conductividad, temperatura y presión, con sensores adicionales de oxígeno disuelto y pH, a razón de 4 datos por segundo, proporcionando robustez en los datos, alta precisión y resolución, facilidad de uso para una amplia gama de aplicaciones de investigación, monitoreo y de ingeniería.

Especificaciones de los sensores básicos:

- Conductividad de 0 a 9 S/m
- Temperatura -5 a +35°C
- Presión de 0 a 7000 m
- Memoria 64 Mbyte



Agradecimientos

Agradecemos las facilidades otorgadas por la CONANP para la realización de este proyecto, en particular a su personal Denisse Ángeles Solís por el apoyo logístico y por su participación durante la campaña de observaciones. Al capitán de la CONANP José Antele Marcial por su participación, y por la invaluable experiencia y conocimiento local compartido durante los días de muestreo a pesar de las inconvenientes condiciones de oleaje.

	Contacto:
	<p>Dra. Laura Carrillo El Colegio de la Frontera Sur Ave. Centenario km 5.5 Chetumal, Quintana Roo C.P. 77014 +52 983 8350440 lcarrillo@ecosur.mx</p>
 <p data-bbox="386 913 669 945">Oceanografía ECOSUR</p>	<p>Oceanografía ECOSUR</p>