

Informe final* del Proyecto GM006
Monitoreo del bentos, nutrientes e isótopos en relación a la salud arrecifal de áreas naturales protegidas del norte de Quintana Roo con mayor vulnerabilidad al cambio de fase arrecifal:
Segunda Etapa

Responsable: Dr. José Domingo Carriquiry Beltrán
Institución: Universidad Autónoma de Baja California
Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Dirección: Carretera Tijuana-Ensenada Km 103, Ensenada, BC, 22860 , México
Correo electrónico: jose_carriquiry@uabc.mx
Teléfono/Fax: 01 (646) 174-46-01 Fax: 01 (646) 174-53-03
Fecha de inicio: Julio 31, 2010.
Fecha de término: Julio 14, 2017.
Principales resultados: Fotografías, hojas de cálculo, informe final.
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Carriquiry, J. D., Villaescusa, J. A., Cupul-Magaña, A. L. y F. A. Rodríguez-Zaragoza. 2017. Monitoreo del bentos, nutrientes e isótopos en relación a la salud arrecifal de áreas naturales protegidas del norte de Quintana Roo con mayor vulnerabilidad al cambio de fase arrecifal: Segunda Etapa. Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. **Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. GM006.** Ciudad de México.

Resumen:

Los arrecifes de coral del Gran Caribe han mostrado signos alarmantes de deterioro acelerado y la reducción en la cobertura de corales ha mostrado ser significativa en regiones costeras con fuerte crecimiento poblacional. Aunque el aumento de nutrientes crea las condiciones propicias para el crecimiento de las algas, comúnmente estos cambios de fase se disparan por efecto de perturbaciones mayores sobre el arrecife de coral como lo son: fenómenos de blanqueamiento, enfermedades o mortalidades masivas causadas a tormentas, huracanes y epidemias. Los eventos catastróficos recientes sufridos por los arrecifes coralinos del Caribe Mexicano con el paso de los huracanes Wilma y Stan, reiteran la urgente necesidad de estudios enfocados a identificar y monitorear las características hidrológicas y del bentos con la finalidad de prevenir, mediante un plan de manejo adecuado, un cambio de fase en estos ecosistemas. En la segunda etapa de este proyecto se propone hacer monitoreo, tanto del bentos arrecifal como de los nutrientes y de parámetros hidrológicos básicos, en el Parque Arrecifal de Isla Mujeres-Cancún-Nizuc y el Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos. Además de los monitoreos del bentos e hidrológicos, se pretende caracterizar isotópicamente las fuentes de nutrientes, los tejidos de los corales y algas carnosas con la finalidad de identificar el origen de los nutrientes en cada área en particular. Finalmente, se continuará aplicando el índice de salud arrecifal propuesto en la primera etapa del proyecto, derivado de los índices ecológicos del bentos con el fin de determinar los sitios que son más vulnerables al cambio de fase.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

Informe Final del Proyecto GM006 (2011-2014)

MONITOREO DEL BENTOS, NUTRIENTES E ISÓTOPOS EN RELACIÓN A LA SALUD ARRECIFAL DE LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DEL NORTE DE QUINTANA ROO CON MAYOR VULNERABILIDAD AL CAMBIO DE FASE ARRECIFAL (2ª ETAPA)

Responsables

Dr. José Domingo Carriquiry Beltrán

Dr. Julio Alberto Villaescusa Celaya

Institución:

Universidad Autónoma de Baja California – Instituto de Investigaciones Oceanológicas, área de Geoquímica Ambiental (Ensenada Baja California)

Participantes:

Dr. Amílcar Cupul Magaña, CUCBA (Puerto Vallarta, Jalisco)

Dr. Fabián Alejandro Rodríguez Zaragoza, CUC (Guadalajara, Jalisco)

M. C. Pedro Castro Castro, IIO – UABC (Ensenada, B. C.)

Colaboradores

Dr. Héctor Reyes Bonilla, UABCS (La Paz, B.C.S)

Ensenada, B.C. junio de 2017

ÍNDICE

	Introducción	4
	Objetivo General Del Proyecto	5
	Objetivos Particulares	6
	Informe final anual de avance	5
1	CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DEL BENTOS (2011 a 2014): PARQUE NACIONAL COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, CANCÚN, NIZUC (PIMCN) Y PARQUE NACIONAL ARRECIFES DE COZUMEL (PNAC).	7
1.1	<i>Introducción</i>	7
1.2	<i>Metodología</i>	7
1.3	<i>Resultados</i>	9
	1.3.1. Análisis global (2011-2014), Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún, Punta Nizuc (PIMCN) y Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos (PNAPM, mayo 2011).	9
	1.3.2. Análisis global (2011-2014), Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC)	12
1.4.	<i>Sumario y conclusión del capítulo.</i>	15
2	CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE PECES (2011, 2014): PARQUE NACIONAL COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, CANCÚN, NIZUC (PIMCN) Y PARQUE NACIONAL ARRECIFES DE COZUMEL (PNAC).	18
2.1.	<i>Introducción</i>	18
2.2.	<i>Método</i>	18
	2.2.1. <i>Esfuerzo de muestreo</i>	18
	2.2.2. <i>Riqueza y biomasa de peces</i>	19
	2.2.3. <i>Análisis estadísticos y ecológicos comunitarios</i>	19
2.3	<i>Resultados</i>	19
	2.3.1. <i>Curvas de acumulación de especies (PNIMCN).</i>	19
	2.3.2. <i>Curvas de acumulación de especies (PNAC)</i>	21
	2.3.3. <i>Riqueza de especies.</i>	22
	2.3.3.1. <i>Descriptorios comunitarios PIMCN.</i>	22
	2.3.3.2. <i>Descriptorios comunitarios PNAC.</i>	28
2.4	<i>Sumario y conclusión del capítulo</i>	32

3	CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA PARQUE NACIONAL COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, CANCÚN, NIZUC (PIMCN) Y PARQUE NACIONAL ARRECIFES DE COZUMEL (PNAC).	34
3.1	<i>Introducción</i>	34
3.2	<i>Métodos</i>	34
3.3	<i>Resultados</i>	35
	<i>3.3.1. Caracterización hidrológica promedio</i>	35
	<i>3.3.1.1. Hidrología promedio, colecta de mayo y noviembre de 2011</i>	35
	<i>3.3.2. Composición isotópica de los nitratos ($\delta^{15}\text{NO}_3$ y $\delta^{18}\text{O}$)</i>	38
	<i>3.3.3. Hidrología promedio, colecta de septiembre de 2012</i>	40
	<i>3.3.4. Hidrología promedio, septiembre de 2013</i>	41
	<i>3.3.5. Hidrología promedio durante mayo y octubre de 2014</i>	42
	<i>3.3.6. Tendencia de nutrientes a largo plazo</i>	45
3.4	<i>Sumario y conclusión del capítulo</i>	48
4.0	<i>Resumen de Productos generados por el Proyecto GM006</i>	49
5.0	<i>Referencias</i>	50

Introducción.

El presente documento representa el reporte final del proyecto “Monitoreo del bentos, nutrientes e isótopos en relación a la salud arrecifal de las áreas naturales protegidas del Norte de Quintana Roo con mayor vulnerabilidad al cambio de fase arrecifal” (2ª ETAPA). Este proyecto, en su segunda etapa, se enfocó en estudiar el efecto de la sobrecarga de nutrientes en los sistemas arrecifales del Norte de Quintana Roo (Fig. 1) y sus consecuencias a mediano plazo sobre la estructura ecológica de la comunidad bentónica y las comunidades de peces, en estos ecosistemas que presentan serios problemas de sobre-crecimiento algal (ej. Steneck y Lang 2003).

El monitoreo de los niveles de nutrientes y las comunidades arrecifales, del bentos y peces, se llevó a cabo en sitios seleccionados de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), del Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc (PIMCN) y, el Parque Nacional Arrecifal de Cozumel (PNAC). El objetivo del monitoreo fue observar la tendencia temporal, y a una mesoescala espacial, de la condición de los arrecifes de coral para entender la magnitud y naturaleza de los cambios que ocurren en estos ecosistemas, así como dar seguimiento al impacto ambiental de las actividades antropogénicas con la meta final de contar con un estudio de línea base que permita proponer alternativas de manejo. El monitoreo incluyó el estudio del bento arrecifal usando la técnica de video-transectos, la estructura de las comunidades de peces, así como los niveles de nutrientes y otros parámetros hidrológicos. Además, este trabajo incluyó el monitoreo isotópico en los tejidos de macroalgas, pastos y el agua circundante a las zonas arrecifales, con el propósito de identificar las potenciales fuentes de nutrientes en cada sitio en particular, ya sea por aportes antropogénicos como los originados por descargas residuales de aguas negras y fertilizantes, o de origen oceánico transportados remotamente (ej. Sammarco et al., 1999; Heikoop et al., 2000ab; Marion et al., 2005; Swart et al., 2005).

A continuación, se describen las actividades generales realizadas durante el transcurso del proyecto y un análisis global de los datos hidrológicos y ecológicos, tanto de bentos como de peces, durante los muestreos realizados en el mes de septiembre entre septiembre de 2011 a octubre de 2014. Estos datos son representativos de la temporada de secas y lluvias en el área de muestreo. Se presentan los objetivos, metas e indicadores de progreso de la propuesta original, así como el cronograma de actividades con el fin de establecer el grado de avance y las actividades que falta por realizarse durante el presente año de proyecto.

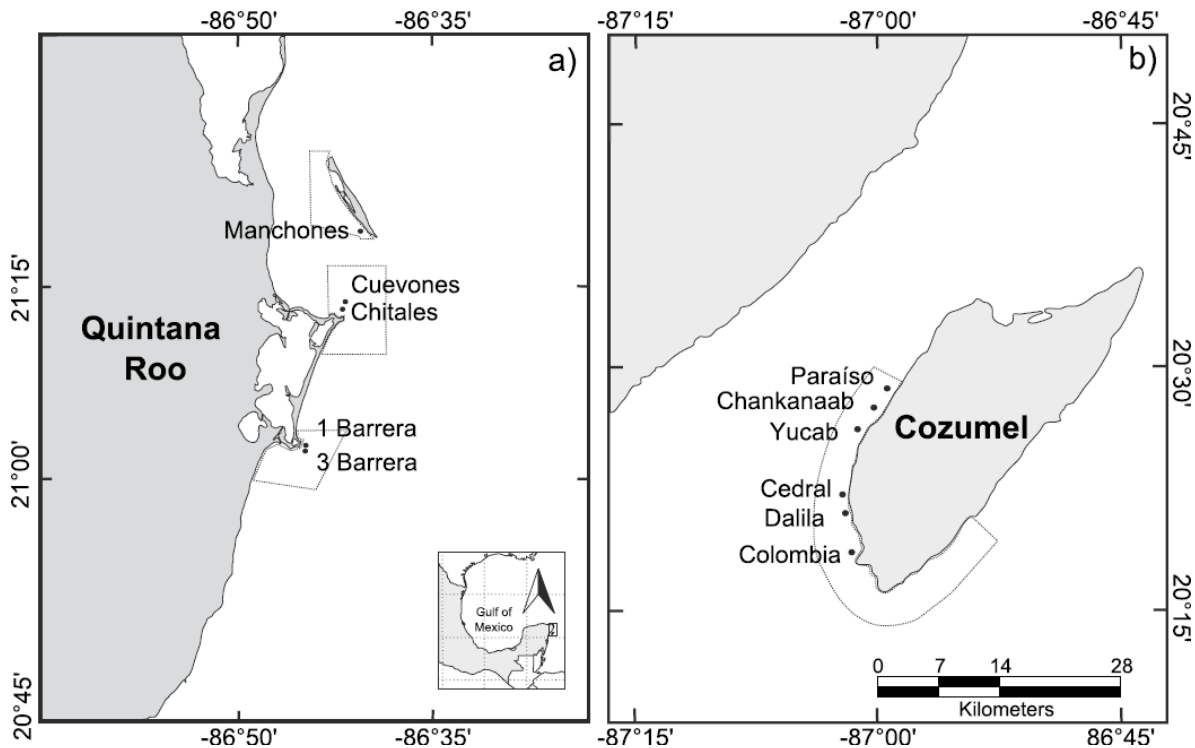


Figura 1. Polígono que incluye las áreas arrecifales estudiadas en este proyecto, a) Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc (PIMCN) y b) Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC).

Objetivo General Del Proyecto

El objetivo general del proyecto es determinar la condición actual o estado de salud, de los arrecifes coralinos de los parques arrecifales de (a) Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc (PIMCN), (b) Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC).

NOTA ACLARATORIA: el objetivo original del proyecto involucraba únicamente el monitoreo hidrológico del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel, debido a un convenio de colaboración en conjunto con el proyecto autorizado por CONABIO (DM007) dirigido por el Dr. Reyes-Bonilla quien aportaba los datos ecológicos del Bentos. Debido a que ese proyecto concluyó el primer año del presente proyecto, y con la finalidad de continuar con el monitoreo ecológico, se acordó con CONABIO incluir el monitoreo bentónico dentro del presente proyecto.

Objetivos Particulares

Segunda Etapa

1. Con base en los resultados de la evaluación de la condición de los arrecifes, seleccionar un número menor de arrecifes, de entre todos los monitoreados, en los que se implementará el Programa de Monitoreo Permanente.
2. Implementar y ejecutar muestreos semestrales que permitieran dar un seguimiento de la condición de los Parques PIMCN, PNAPM y PNAC, con base en el estudio de la calidad del agua.
3. Implementar y ejecutar un muestreo anual que permitan hacer un seguimiento de la condición de los Parques PIMCN y PNAPM, con base en el estudio de las comunidades arrecifales.
4. Revisión bianual de los procedimientos del Plan de Monitoreo implementado.

Informe final anual de avance:

II. Indicadores de avance incluidos en el informe final anual son:

Los productos a se entregan en este reporte final de estudio de manera resumida incluyen: el elenco sistemático actualizado de las especies de corales y peces, las versiones finales de las bases de datos taxonómicas y ecológicas (en EXCEL). Los mapas en el Sistema de Información Geográfica con los datos hidrográficos arrecifales, y las memorias fotográficas (de foto y de video-transecto) de cada uno de los transectos realizados y observaciones al Plan de Monitoreo, ya fueron entregados en cada reporte parcial.

CAPITULO 1

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DEL BENTOS (2011 a 2014): PARQUE NACIONAL COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, CANCÚN, NIZUC (PIMCN) Y PARQUE NACIONAL ARRECIFES DE COZUMEL (PNAC).

1.1 Introducción

La estructura de la comunidad y el porcentaje de cobertura de los distintos componentes bentónicos fueron evaluados siguiendo el método de muestreo de videotransectos (WWF, 2006). Para esto se realizaron cinco video-transectos en cada sitio arrecifal seleccionado en el plan de muestreo. En el Parque Nacional de la costa occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc (PIMCN) se muestrearon seis arrecifes, incluyendo el arrecife de El Farito frente a Isla Mujeres, que fue adicionado como nuevo sitio de muestreo desde el año 2013. El presente informe incluye también el monitoreo del bento arrecifal del PNAC, que anteriormente fue realizado por el Dr. Héctor Reyes Bonilla responsable del proyecto DM007 financiado por la CONABIO (ya finiquitado) y que continúa como colaborador del presente proyecto. Durante la colecta de 2013 y del 2014, se incluyó el muestreo del bentos de las mismas localidades que se muestreaban en el proyecto DM007, agregando una localidad adicional (arrecife La Francesa), a petición de la autoridades del PNAC (Tabla 1.1). Es importante resaltar aquí, que los arrecifes muestreados de manera adicional son parte del acuerdo y compromiso establecido con CONABIO, como alternativa al monitoreo que anteriormente realizábamos en el Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos, sitios que incluía el estudio de dos arrecifes.

1.2 Metodología

Para este estudio se filmaron videos del sustrato bentónico siguiendo un transecto de 50 metros como guía, con una cámara de video de alta resolución en posición totalmente vertical. Con esta técnica, el buzo avanza a una velocidad constante y moderada (para los detalles ver metodología en WWF, 2006. Mejores prácticas de pesca en arrecifes coralinos).

Tabla 1.1. Arrecifes georeferenciados muestreados en la salida de colecta en septiembre de 2013 y mayo - junio de 2014.

Parque	Localidad	Coordenadas geográficas
Parque Nacional Isla Mujeres Cancún Nizuc (PNIMCN)	El Farito	21.2482°N, 86.7514°W
	Manchones	21.1973°N, 86.7259°W
	Cuevones	21.1617°N, 86.7256°W
	Chitales	21.1501°N, 86.7454°W
	El Bajito	21.1403°N, 86.7422°W
	Punta Nizuc	21.0327°N, 86.7781°W
Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC)	Paraíso	20.4705°N, 86.9823°W
	Chankana'ab	20.4407°N, 87.0016°W
	Yucab	20.4206°N, 87.0172°W
	Paso del Cedral	20.3683°N, 87.0286°W
	La francesa	20.3542°N, 87.0261°W
	Dalila	20.3500°N, 87.0282°W
	Colombia	20.3173°N, 87.0233°W

En laboratorio se analizaron y procesaron los videos y las imágenes con detalle. Los video-transectos se procesan congelando la imagen a intervalos de tiempo definidos, en cada una de las imágenes se seleccionan una serie de 13 puntos marcados y distribuidos sistemáticamente en la pantalla del monitor (Fig. 1.1). El intervalo de tiempo entre imágenes se calculó dividiendo el tiempo total del video transecto entre el número determinado de cuadros de imagen. En cada imagen se registraron los grupos bentónicos de la siguiente manera:

1. Grupos morfológicos de corales: submasivos, semiesféricos, cerebriformes, ramosos, incrustante, corales de fuego (hidrocorales), etc., identificando los corales de cada grupo morfológico a nivel de especie.
2. Otros grupos: corales blandos (octocorales), algas (macroalgas, algas calcáreas y turf) y esponjas.
3. Tipo de sustrato: arena, piso calcáreo, escombros y coral muerto.

El porcentaje de cobertura se estimó con base a la siguiente ecuación:

$$C = \left(N_p / 520 \right) \times 100$$

Donde C es el porcentaje de cobertura del grupo o tipo de sustrato y N_p es el número de puntos observados en las 40 imágenes del video-transecto. Con esta información se elaboró la base de datos que se incluye como anexo (archivo electrónico en Excel).

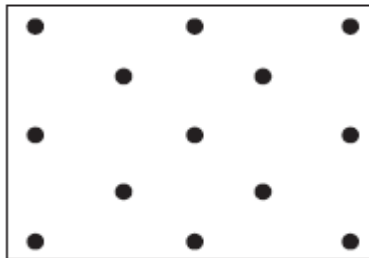


Figura 1.1. Disposición de los puntos en la pantalla para el análisis de cada muestra a lo largo del transecto (tomado de WWF 2006).

1.3. Resultados.

1.3.1. Análisis global (2011-2014), Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún, Punta Nizuc (PIMCN) y Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos (PNAPM, mayo 2011).

El resumen de los datos ecológicos que incluyen el enlistado taxonómico de corales identificados y presencia/ausencia por arrecife, el porcentaje de cobertura de las especies de coral para las localidades muestreadas y el porcentaje promedio de cobertura de los diferentes componentes bentónicos para las localidades muestreadas, se muestran en el Anexo 1. Estos incluyen los resultados para el Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún, Punta Nizuc (PIMCN), Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos (PNAPM, solo durante mayo de 2011) y del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC).

En general, la cobertura de coral (incluyendo escleractinios e hidrocorales), calculada para todo el estudio, fue uno de los componentes bióticos que mostró una cobertura mucho más baja,

comparada con el porcentaje de cobertura que mostraron las macroalgas (excluyendo las algas costrosas coralinas y calcáreas articuladas). Durante la colecta de mayo de 2011, por ejemplo, la cobertura de coral varió entre un mínimo de 2.1% en el arrecife de Bonanza (PNAPM) y un máximo de 9.6% en Punta Nizuc (PIMCN), mientras que el intervalo de cobertura de macroalgas se encontró entre 26.3 y 75.8%. En general, la cobertura de macroalgas en general es muy elevado, siendo Cuevones (75.8%) el sitio más afectado, seguido de Manchones con un 73.3% y Punta Nizuc con la menor cobertura de macroalgas (Fig. 1.2).

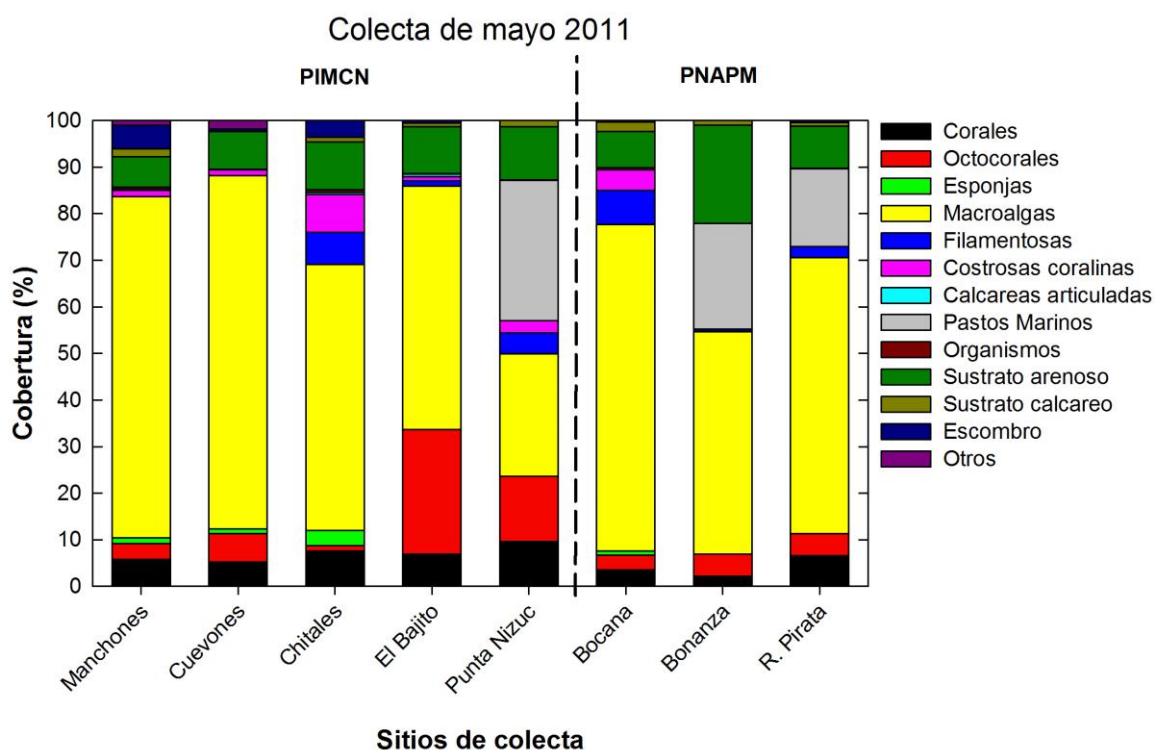


Fig.1.2. Porcentaje promedio de cobertura de los diferentes componentes bentónicos para las localidades muestreadas en el PNIMCN y el PNAPM durante el mes de mayo de 2011.

Durante el muestreo de septiembre de 2013, los porcentajes de cobertura de coral variaron poco, pero los porcentajes de cobertura de macroalgas fueron marcadamente menores a los calculados para 2011. La cobertura de coral varió entre un mínimo 3.1% en Chitales y un máximo de 10% en Manchones, mientras que el porcentaje de cobertura de macroalgas se encontró entre un mínimo de 28.3% en El Bajito y un máximo de 47.2% en Cuevones (Fig. 1.3), que contrasta con la cobertura de macroalgas de 75% calculada en el mismo sitio durante el 2011 (Fig. 1.2).

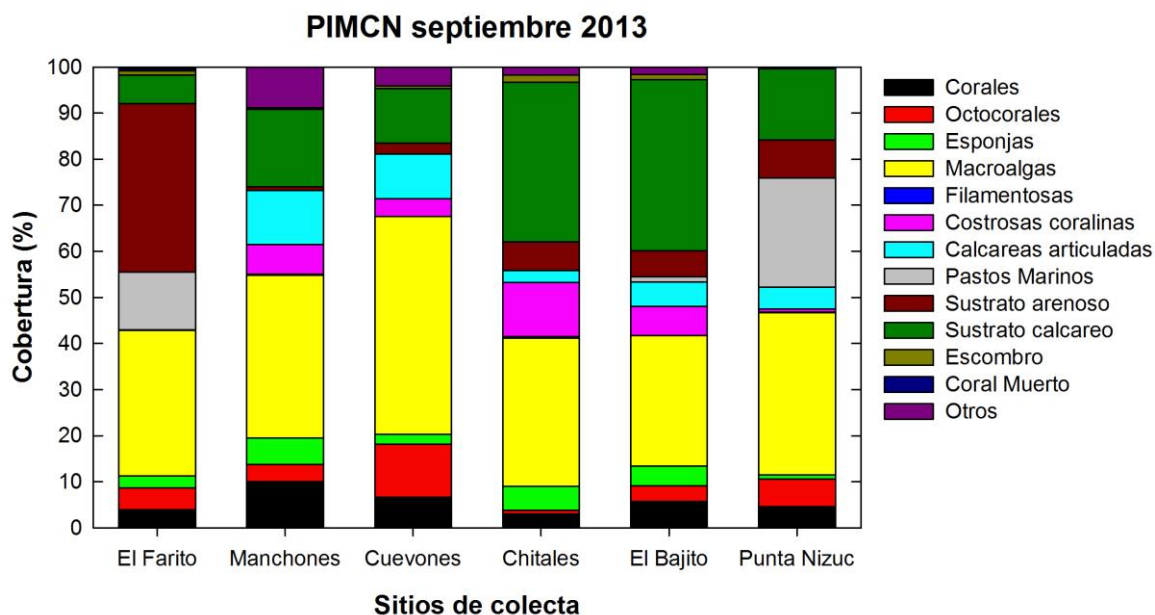


Fig.1.3. Porcentaje promedio de cobertura de los diferentes componentes bentónicos para las localidades muestreadas en el PNIMCN en septiembre de 2013.

En el mes de mayo de 2014, la cobertura de coral fue baja y menos variable, con un mínimo de 2% en el Farito y un máximo de 5.8% en la localidad de El Bajito. En contraste, la cobertura promedio de macroalgas varió entre un mínimo de 36.7% en el arrecife de Chitales y un máximo de 45.8% en El Bajito, aunque el resto de los arrecifes la cobertura promedio de macroalgas fue mayor al 40% (Fig. 1.4).

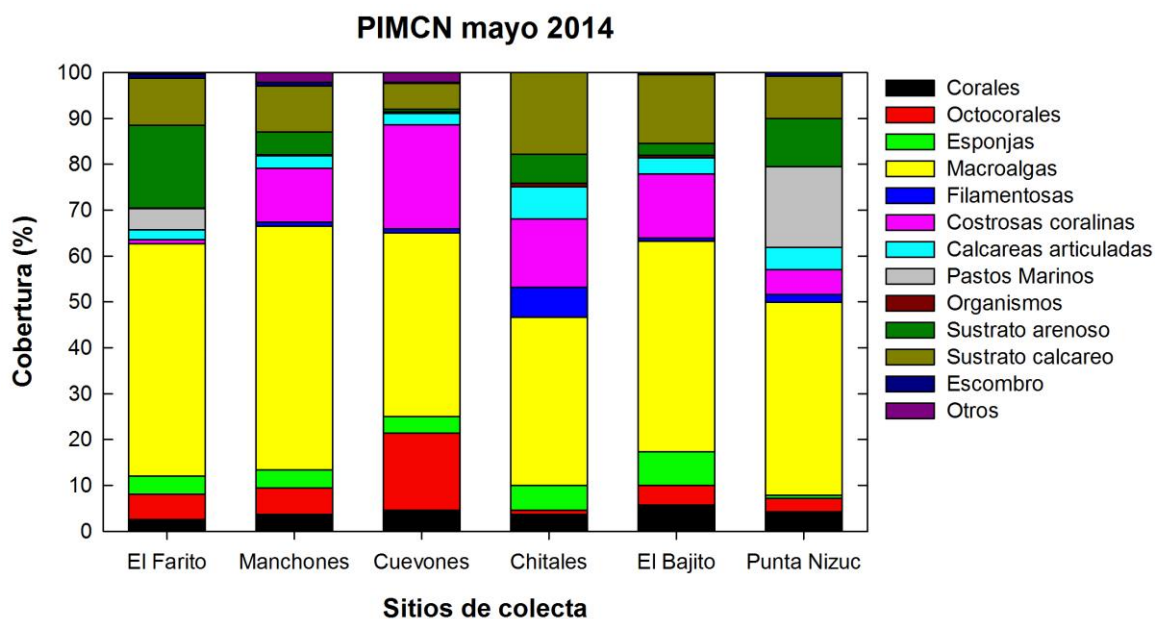


Fig.1.4. Porcentaje promedio de cobertura de los diferentes componentes bentónicos para las localidades muestreadas en el PNIMCN en mayo de 2014.

El otro componente biótico que mostró coberturas importantes en el mes de mayo de 2014, fueron las algas costrosas coralinas (entre 0.7 a 22.7%), particularmente en las localidades de Cuevones (22.7%), Chitales (14.8%) y El Bajito (14%) (Fig. 1.4).

Finalmente, durante el muestreo de octubre de 2014, la cobertura de los componentes del bento mostró que los corales representaron porcentaje menor y poco variable, entre 2.1% en Chitales a un máximo de 5.7% en Punta Nizuc (Fig.1.5). En contraste, la cobertura de macroalgas fue el componente biótico más importante con un porcentaje mínimos de 39.3% en Punta Nizuc hasta un máximo de 64.8% de cobertura en el arrecife de Manchones (Fig. 1.5).

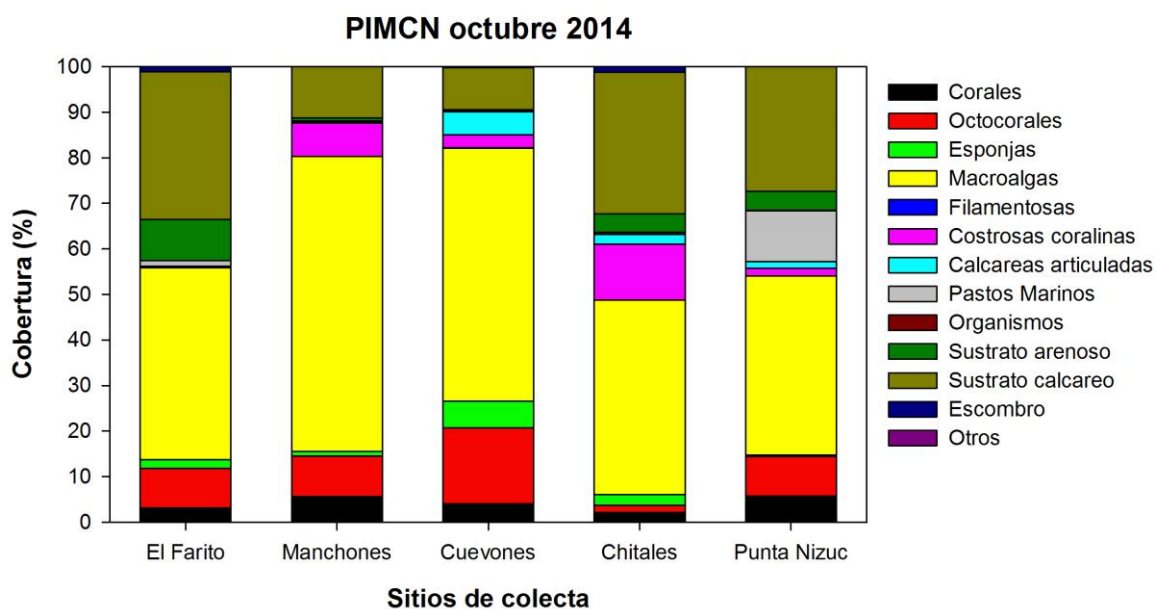


Fig.1.5. Porcentaje promedio de cobertura de los diferentes componentes bentónicos para las localidades muestreadas en el PNIMCN en mayo de 2015.

1.3.2. Análisis global (2011-2014), Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC).

Los componentes bentónicos identificados en los arrecifes muestreados del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC), para todos los muestreos se resumen en las Figuras (1.6. – 1.8). Aun cuando la cobertura de coral en los arrecifes del PNAC en ningún caso excede el 20%, comparativamente los arrecifes de Cozumel presentan coberturas de coral un poco mayores a los

de Cancún. Durante septiembre de 2013, la cobertura de coral varió entre 2.4% para Yucab hasta un 12.9% en Chankana'ab, aunque otros arrecifes del parque presentaron también valores altos de cobertura coralina, tales como Dalila y el arrecife Colombia con un 11.6% y un 11.9%, respectivamente (Fig. 1.6). La cobertura de macroalgas también fue menor a la encontrada en el PIMCN, el área de cobertura de macroalgas alcanzó un mínimo de 8.2% en el arrecife Colombia, y hasta un máximo de 37.9% y 37.8% en El Cedral y Chankana'ab, respectivamente (Fig. 1.6, Tablas del Anexo 1). Aunque la cobertura de macroalgas es comparativamente baja, la cobertura del sustrato calcáreo es relativamente alto, entre 21 a 47%, sumado a la baja cobertura coralina, lo que indica una condición de riesgo para estos arrecifes.

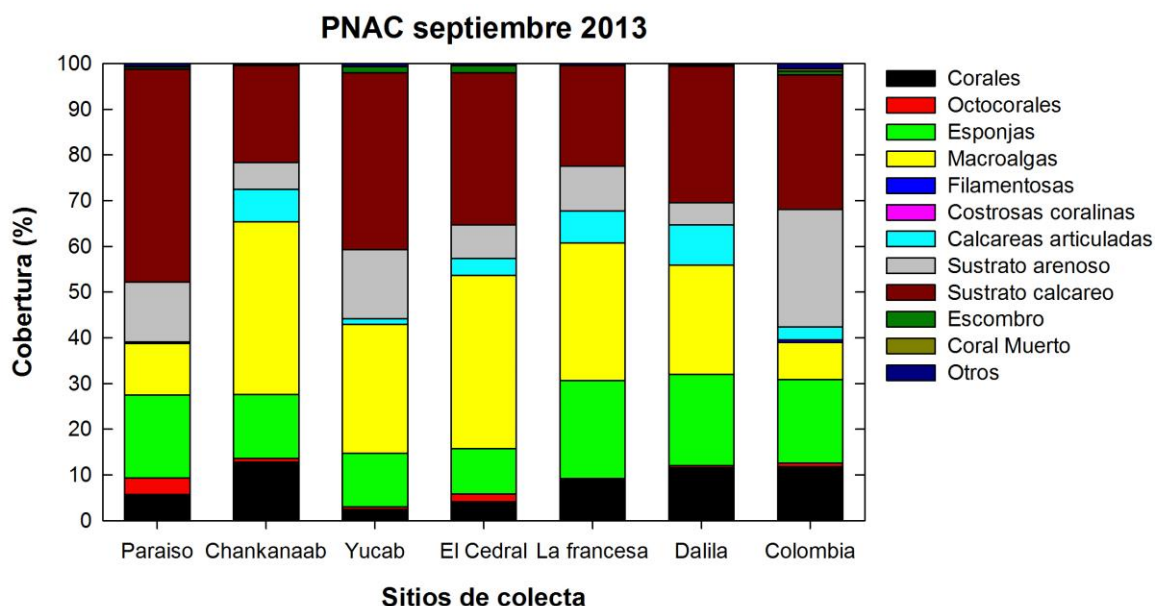


Fig. 1.6. Porcentaje promedio de cobertura de los diferentes componentes bentónicos para las localidades muestreadas en el PNAC durante septiembre de 2013.

Temporalmente, el porcentaje de cobertura bentónica fue poco variables durante el periodo de estudio. Durante mayo de 2014, la cobertura de coral se encontró entre 5%, también en Yucab, y hasta un máximo de 16.3% para Dalila (Fig. 1.7, Tabla del Anexo 1). La cobertura de macroalgas fue más elevada que en septiembre de 2013, encontrando un intervalo entre el 26.4% en el arrecife de Colombia, hasta un 49.1% en Chankana'ab y con valores mayores al 30% en Yucab, La francesa y Dalila (Fig. 1.7, Tabla del Anexo 1).

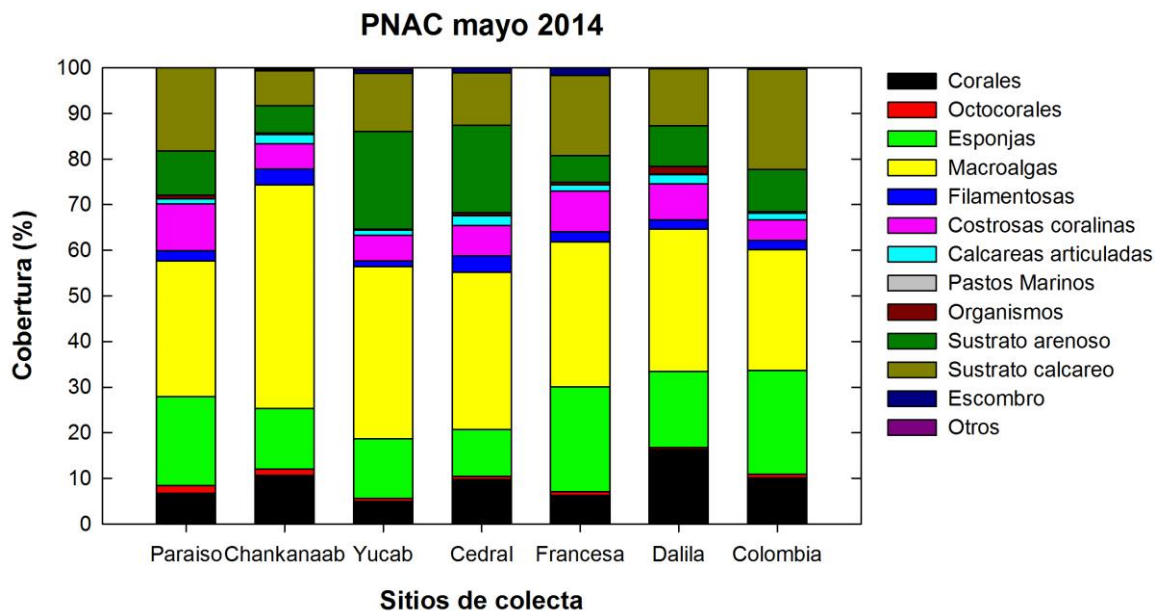


Fig. 1.7. Porcentaje promedio de cobertura de los diferentes componentes bentónicos para las localidades muestreadas en el PNAC durante mayo de 2014.

Por sugerencia del personal del PNAC, durante el muestreo de octubre de 2014 se adicionaron dos sitios nuevos, Colombia profundo y el arrecife de Palancar herradura (Fig. 1.8, Tabla del Anexo 1). De ambos, Colombia profundo se diferenció por presentar la mayor cobertura de coral (17.9%) de los arrecifes estudiados en el PNAC (Fig. 1.8, Tabla del Anexo 1). Por su parte, Palancar herradura también presentó una característica única ya que se encontró con la mayor cobertura de macroalgas (49.3%) del parque, incluso mayor a la calculada en Chankana'ab (46.4%), arrecife que en los muestreos previos se caracterizó por mostrar la mayor cobertura de macroalgas (Fig. 1.6, 1.7, Anexo 1).

Al igual que en los muestreos previos, la cobertura por esponjas (entre 10 y 21%) y de los componentes abióticos (sustrato arenoso y calcáreo, con hasta el 47%) constituyen los siguientes componentes, en orden de importancia, de la cobertura bentónica en el PNAC (Fig. 1.8, Tabla del Anexo 1).

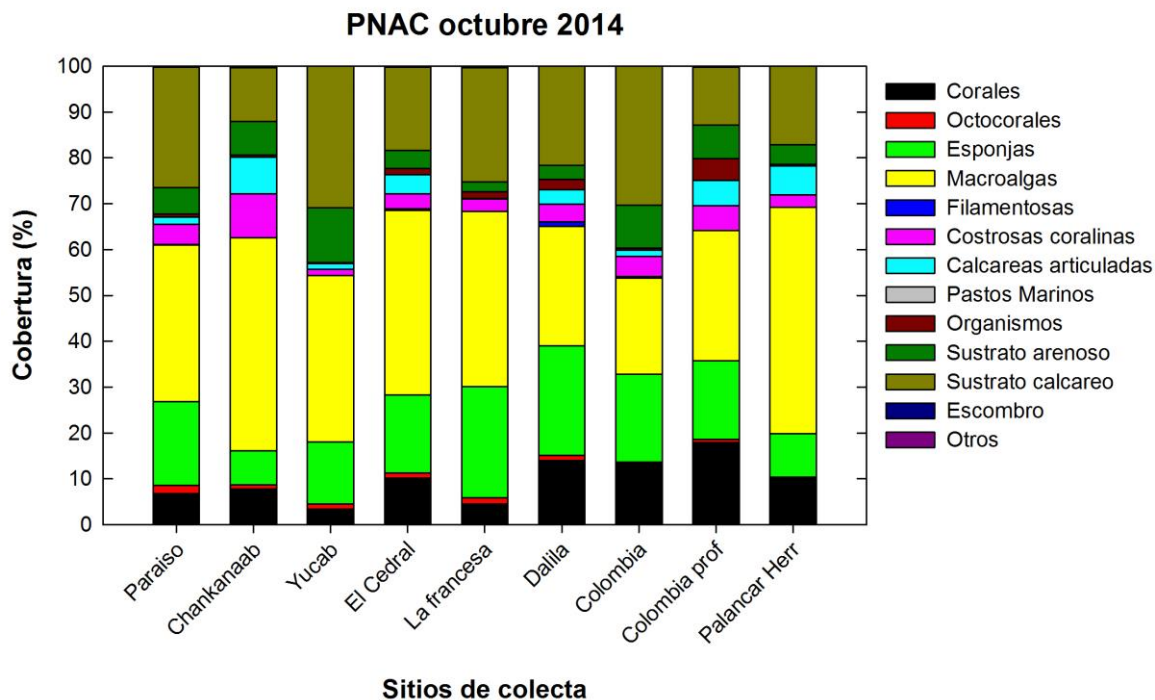


Fig. 1.8. Porcentaje promedio de cobertura de los diferentes componentes bentónicos para las localidades muestreadas en el PNAC durante octubre de 2014.

1.4. Resumen y conclusión del capítulo.

Basados en la cobertura de los diferentes componentes del bento, los arrecifes del PIMCN mostraron una mayor cobertura de macroalgas, comprado con los arrecifes del PNAC. En el transcurso del estudio (mayo de 2011 a octubre de 2014), los arrecifes del PIMCN, pero particularmente el arrecife de Cuevones presentó la mayor cobertura de macroalgas (de ~40 hasta 76%), mientras que la cobertura de macroalgas en el resto de los arrecifes siempre fue mayor al 25%. Al revisar la tendencia temporal, los resultados del muestreo de mayo de 2011 indican una cobertura de macroalgas mayor al 50%, con excepción de Punta Nizuc con un 26%, mientras que durante en el resto de los muestreos este porcentaje de cobertura de macroalgas se mantuvo relativamente elevado, pero por debajo del 50%. Una excepción ocurrió en el muestreo de octubre de 2014, cuando la cobertura de macroalgas se incrementó hasta un 65 y 56% para Manchones y Cuevones, respectivamente.

En contraste con la cobertura de macroalgas, la cobertura de corales en el PIMCN nunca excedió al 10%, a lo largo del estudio. Las coberturas de coral más altas se obtuvieron en el arrecife Manchones con el 10% en septiembre de 2013 y de 9.6% en Punta Nizuc durante mayo de 2011, pero en general,

la cobertura de corales se mantuvo menor al 7% con valores tan bajos como el 2% en El Farito durante la colecta de mayo de 2014, localidad donde la cobertura coralina siempre de las más bajas (de 2 a 3.8%) durante el periodo de estudio. Temporalmente, el sitio del PIMCN que mostró una tendencia negativa más clara en la cobertura de coral fue el arrecife de Chitales, pasando de una cobertura de 7.6% en mayo de 2011 hasta un mínimo de 2.1% en octubre de 2014, mientras que la cobertura coralina de los arrecifes de Cuevones (de 4 a 6.7%) y El Bajito (de 5.7 a 6.9%) variaron poco en el mismo periodo.

Los arrecifes del PNAC, en general presentaron una cobertura de macroalgas menores al 40%, con excepción del arrecife Chankana'ab donde estos porcentajes se excedieron en mayo de 2014 (49%) y octubre de 2014 (46.4%). Los arrecifes con menor cobertura de macroalgas fueron el arrecife de Colombia (entre 8.2 a 26.4%), Dalila (entre 23.8 a 31.2%) y Paraíso (entre 11.3 y 34.1%). Considerando los promedios para todo el Parque, la cobertura de macroalgas en el PNAC fue mayor en octubre de 2014 ($34.6 \pm 8.7\%$) y menor en septiembre de 2013 ($25.3 \pm 11.8\%$). Estas coberturas son comparativamente más bajas que las encontradas en el PIMCN, donde llegaron a valores promedios tan altos de cobertura macroalgal de $56 \pm 19.9\%$ durante mayo de 2011 y de $48.9 \pm 10.9\%$ en octubre de 2014. Por su parte, la cobertura coralina promedio de los arrecifes del PNAC se ha mantuvo prácticamente constante en las colectas de septiembre de 2013 ($8.3 \pm 4.2\%$), mayo de 2014 ($9 \pm 3.8\%$) y octubre de 2014 ($8.6 \pm 4.1\%$). Entre estos, la cobertura coralina de los arrecifes de Paraíso (entre 5.7 y 6.7%) y Yucab (2.4 y 5%) presentaron sistemáticamente coberturas de coral por debajo del promedio.

Con excepción de mayo de 2011 para el PIMCN, donde las coberturas de coral y macroalgas fueron notablemente más elevadas, nuestros resultados muestran un evidente incremento en la cobertura de macroalgas en octubre de 2014 comparado con septiembre de 2013, y esta es conclusión se aplica para ambos parques. Esto implica que las condiciones adecuadas para el sobrecrecimiento de macroalgas se ha incrementado en los últimos años. Se requiere un análisis más detallado de las potenciales causas del incremento algal, ya que las tendencias a largo plazo en la concentración de nutrientes disponibles no muestran una clara tendencia a incrementarse en el periodo de estudio (ver el capítulo 3).

Más allá de las potenciales causas, los sistemas arrecifales del norte de Quintana Roo se encuentran en condición críticas, algunos más que otros, y estos requieren una atención muy especial, debido a que en general presentan una baja cobertura coralina y una alta cobertura de macroalgas.

Particularmente, arrecifes del PIMC como Manchones, Cuevones, Chitales y El Farito donde la razón entre la cobertura de macroalgas y cobertura de coral (M/C) se encuentran entre 10 y 20, es decir hay entre 10 y 20 veces más macroalgas que corales. En contraste, en el PNAC solo el arrecife Yucab presenta bajas coberturas de coral y alta de macroalgas para obtener una razón M/C entre 7.6 y 11.7, que es similar a los arrecifes del PIMCN que se encuentran en condición promedio.

Independiente de estas comparaciones, la elevada cobertura de macroalgas continua siendo la principal señal de alerta para los arrecife del norte del Caribe mexicano. En la mayoría de los arrecifes del PIMCN y en algunos arrecifes del PNAC, la cobertura de macroalgas se encuentra por arriba de lo reportado para los arrecifes del SAM (con un promedio de 35 ± 15 %, Almada-Villela et al. 2003). Estos resultados indican la urgente necesidad de implementar medidas de conservación y manejo para estos arrecifes.

CAPITULO 2

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE PECES (2011, 2014): PARQUE NACIONAL COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, CANCÚN, NIZUC (PNIMCN) Y PARQUE NACIONAL ARRECIFES DE COZUMEL (PNAC).

2.1. Introducción

En esta sección se analiza los resultados del monitoreo ecológico de peces arrecifales de los diferentes arrecifes seleccionados de los parques PNIMCN y PNAC. Para este propósito se aplicó un diseño de muestreo jerárquico anidado balanceado (igual número de transectos por hábitat arrecifal) con el fin de determinar la estructura de los ensamblajes de peces en cada Parque. Los seis hábitats arrecifales muestreados en el PNIMCN fueron El Farito, Manchones y Cuevones (cerca de isla Mujeres), Chitales, El Bajito y Punta Nizuc (cerca de la costa de Cancún-Nizuc); mientras que en el PNAC se muestrearon 7 hábitats arrecifales: Colombia, Dalila, Paso del Cedral, Yucab, Chankana'ab, Paraíso, La Francesa. La colecta de datos se realizó durante noviembre de 2011, septiembre de 2013, mayo y octubre de 2014. Además, durante la colecta de mayo – junio del 2014, se incluyeron tres sitios adicionales en el PNAC; Palancar Jardines, Palancar Herradura y Colombia profundo, con la intención de ser usados como sitios de referencia de arrecifes teóricamente poco impactados.

En cada hábitat arrecifal se realizaron cinco transectos, mediante buceo autónomo, de réplica de 50 x 2 m (100 m² área muestreada), en los que se realizaron censos visuales de peces, para estimar número de especies, abundancia y tallas. En el caso de las tallas, se subdividieron en siete clases de talla a intervalos de 10 cm, tal como se describe en WWF (2006). La profundidad de cada transecto se registró con computadoras de buceo.

2.2. Método

2.2.1. Esfuerzo de muestreo.

En cada colecta, el esfuerzo de muestreo se evaluó empleando curvas de acumulación de especies de peces basadas en un modelo asintótico (rarefacción basada en muestras Mao Tau) y con los estimadores no paramétricos Bootstrap y Jackknife 2. Asimismo, se hicieron curvas de acumulación con el índice de Shannon (base e) y Simpson utilizando 10,000 combinaciones aleatorias sin reemplazo utilizando el programa EstimateS ver. 9.1 (Colwell, 2013).

2.2.2. Riqueza y biomasa de peces

La riqueza específica se evaluó con base en el número de especies. La abundancia y las tallas de peces fueron representadas de manera integral en biomasa, que se calculó usando una función exponencial (Marks y Klomp, 2003):

$$B = aL^b$$

Donde B es la biomasa en gramos, a y b son las constantes de la relación longitud-peso que se tomaron de los trabajos de Claro y García-Arteaga (1994), Marks y Klomp (2003) y FishBase (Frozen y Pauly, 2009). Cuando no fue posible encontrarlas se usaron las constantes de especies similares en forma, tamaño y que además pertenecieran al mismo género.

L es la longitud de la talla promedio ponderada, que se calculó como:

$$L = \left(\sum_{i=1}^n A_i T_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n A_i \right)$$

donde A_i es la densidad de peces por cada intervalo de clase, T_i es la talla promedio de cada de intervalo de clase, que son: 0-10 cm, 11-20 cm, 21-30 cm, 31-40 cm, 41-50 cm, 51-60 cm, y más de 60 cm. La biomasa por individuo en gramos se multiplicó por la abundancia total de individuos para obtener la biomasa bruta, el resultado se dividió entre el número de metros cuadrados muestreados por transecto (100 m²) para expresarla en gramos por metro cuadrado. Esta información se calculó por especie y por ensamblaje de especies de peces.

2.2.3. Análisis estadísticos y ecológicos comunitarios.

Los análisis estadísticos se basaron en pruebas univariadas paramétricas, cuando los datos cumplieron con los supuestos estadísticos paramétricos como presentar una escala de intervalo o proporción, no presentar datos extremos, ajuste a una distribución Gaussiana y poseer homoscedasticidad o igualdad de varianzas (Zar 1996).

2.3. Resultados

2.3.1. Curvas de acumulación de especies (PNIMCN).

Se calcularon y construyeron curvas de acumulación de especies observadas, estimadas e índices de diversidad de Shannon, que fueron incluidas en los reportes de cada colecta. En este caso ejemplificamos con los resultados obtenidos durante la colecta de mayo de 2014, donde se

muestran que el esfuerzo de muestreo en los arrecifes del PNIMCN fue representativo de la riqueza de especies de peces arrecifales (Figs. 2.1 y 2.2). El valor máximo de riqueza esperada (113 especies) se obtuvo con el estimador no paramétrico Jackknife 2, mientras que Bootstrap estimó una riqueza esperada de 89 especies (Fig. 2.1).

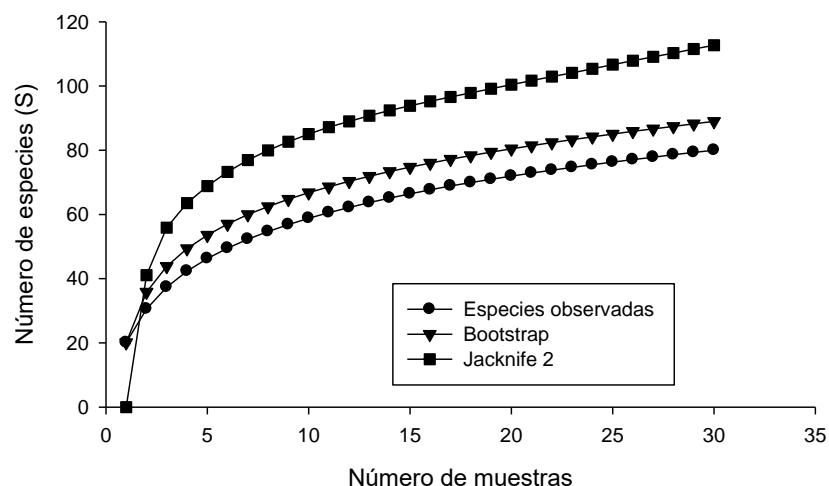


Figura 2.1. Curva de acumulación de especies de peces observadas y especies estimadas con los estimadores no paramétricos Bootstrap y Jackknife 2.

Para el cálculo del esfuerzo de muestreo, la curva de acumulación del valor del índice de Shannon promedio muestra un comportamiento asintótico a partir de la muestra 10 y una gradual reducción de la desviación estándar (Fig. 2.2).

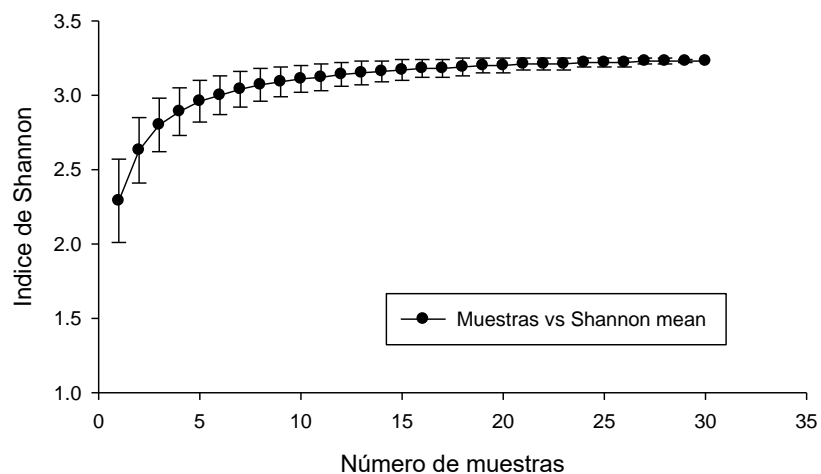


Figura 2.2. Curva de acumulación del Índice de Shannon para evaluar el esfuerzo de muestreo en el PNIMCN.

2.3.2. Curvas de acumulación de especies (PNAC).

Las curvas de acumulación de especies observadas, especies estimadas e índices de diversidad de Shannon muestran que el esfuerzo de muestreo en los arrecifes del PNAC fue representativo de la riqueza de especies de peces arrecifales (Figs. 2.3 y 2.4). El estimador no paramétrico Jackknife 2, estimó en 119 especies el valor máximo de riqueza esperado, mientras que Bootstrap determinó una riqueza esperada de 99 especies (Fig. 2.3).

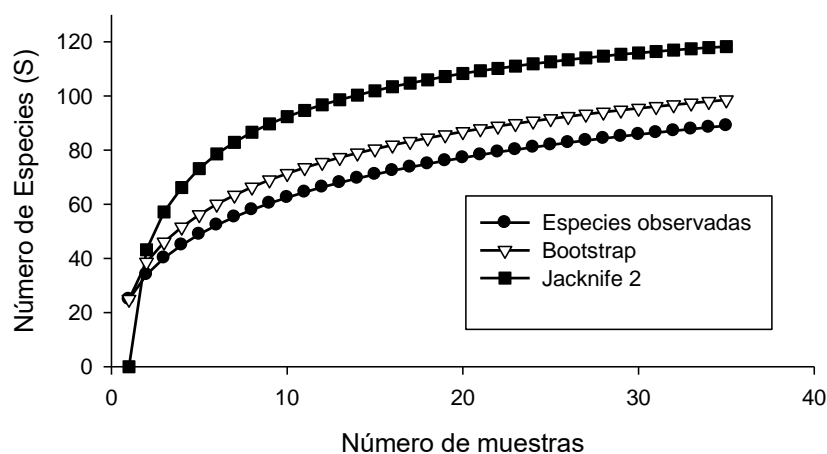


Figura 2.3. Curva de acumulación de especies de peces observadas y curvas de acumulación de especies estimadas con los estimadores no paramétricos Bootstrap y Jackknife 2.

La curva de acumulación del índice de Shannon promedio muestra que a partir de 15 muestras se alcanza el comportamiento asintótico y se reduce la desviación estándar (Fig. 2.4).

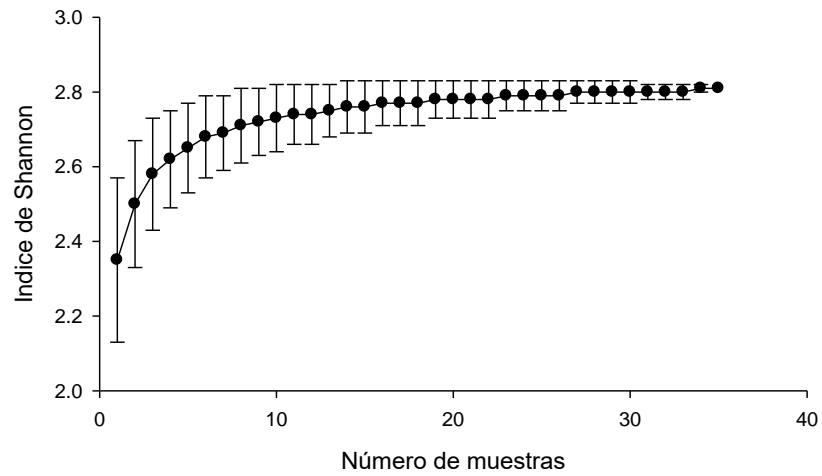


Figura 2.4. Curva de acumulación del Índice de Shannon para evaluar el esfuerzo de muestreo en el PNAC.

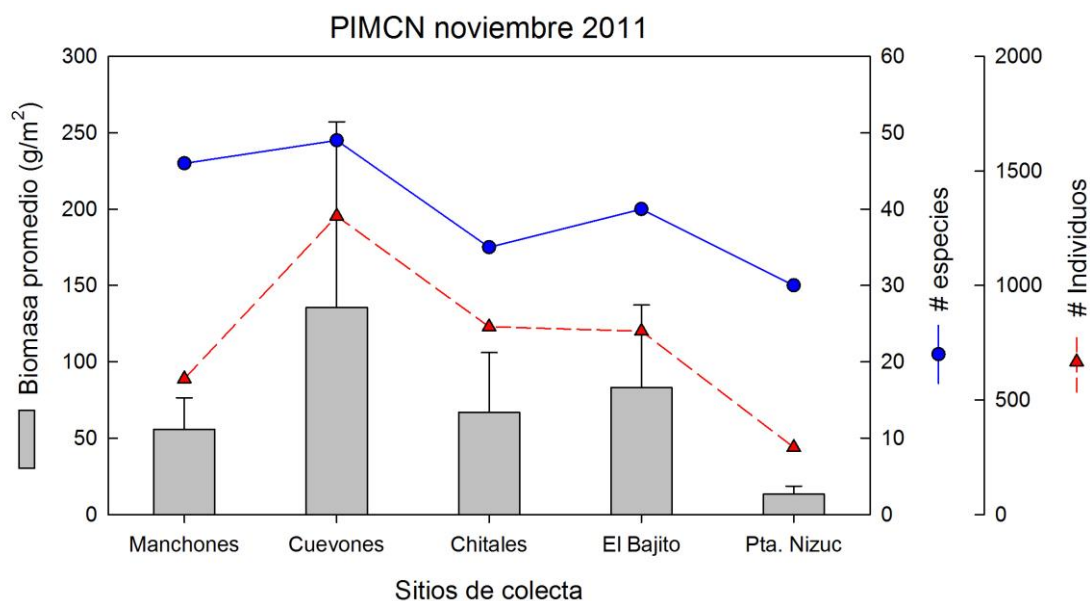
2.3.3. Riqueza de especies.

2.3.3.1. Descriptores comunitarios PIMCN.

Durante noviembre de 2011, el número total de peces registrados para el PNIMCN fue de 3,807 individuos pertenecientes a 75 especies y 25 familias. El arrecife de Cuevones fue el sitio que presentó la mayor biomasa, número de especies y número de individuos, mientras que Punta Nizuc presentó los menores indicadores (Tabla 2.1, Fig. 2.5). Las familias más representadas en el parque fueron Scaridae con nueve especies y Haemulidae, Labridae, Lutjanidae, Pomacentridae con seis especies cada una (Tabla Anexo 2). También el arrecife Cuevones fue donde se encontró la mayor riqueza de especies (S) con 49, mientras Punta Nizuc presentó la menor riqueza con 30 (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Descriptores comunitarios peces de los arrecifes del PIMCN, noviembre 2011.

Sitios	N (# Individuos)	S (# Especies)	Biomasa (g/m ²) ± s.d.
Manchones	592	46	56 ± 21
Cuevones	1303	49	136 ± 122
Chitales	819	35	67 ± 39
El Bajito	800	40	83 ± 54
Pta. Nizuc	293	30	13 ± 5
# individuos	3807		
# especies	75		
# familias	25		

**Figura 2.5.** Biomasa promedio (g/m²) de peces, número de especies y número de individuos por sitio de muestreo durante noviembre de 2011.

En la colecta de septiembre de 2013, el número total de peces registrados para el PNIMCN fue de 4,372 individuos, de 80 especies pertenecientes a 27 familias (Tabla 2.2, Fig. 2.6). Las familias mayoritariamente representadas fueron: Pomacentridae y Scaridae con nueve especies, Haemulidae con ocho, Labridae y Lutjanidae con siete (Anexo 2). De acuerdo con las curvas de acumulación de

especies, las 80 especies registradas representan el 70.8% de la riqueza máxima estimada por el estimador Jackknife 2 y 89.9% de la riqueza mínima estimada por Bootstrap.

Las especies más abundantes fueron: *Abudefduf saxatilis* con 721 individuos contabilizados, *Haemulon flavolineatum* con 549 individuos, *Chromis cyanea* con 355 individuos, *Clepticus parrae* con 343 individuos y *Pempheris schomburgkii* con 306 individuos. Estas cinco especies contribuyen con el 46.8% de la abundancia total. La mayor abundancia de peces por arrecife correspondió a Manchones con 1,377 individuos contabilizados, mientras que la menor abundancia correspondió a Punta Nizuc con 417 individuos contabilizados (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Descriptores comunitarios peces de los arrecifes del PIMCN, septiembre 2013.

Sitios	N (# Individuos)	S (# Especies)	Biomasa (g/m ²) ± sd
El Farito	499	35	105 ± 66
Manchones	1377	43	139 ± 71
Cuevones	884	41	164 ± 161
Chitales	985	46	181 ± 129
El Bajito	709	39	61 ± 41
Punta Nizuc	417	41	65 ± 36
# individuos	4372		
# especies	80		
# familias	27		

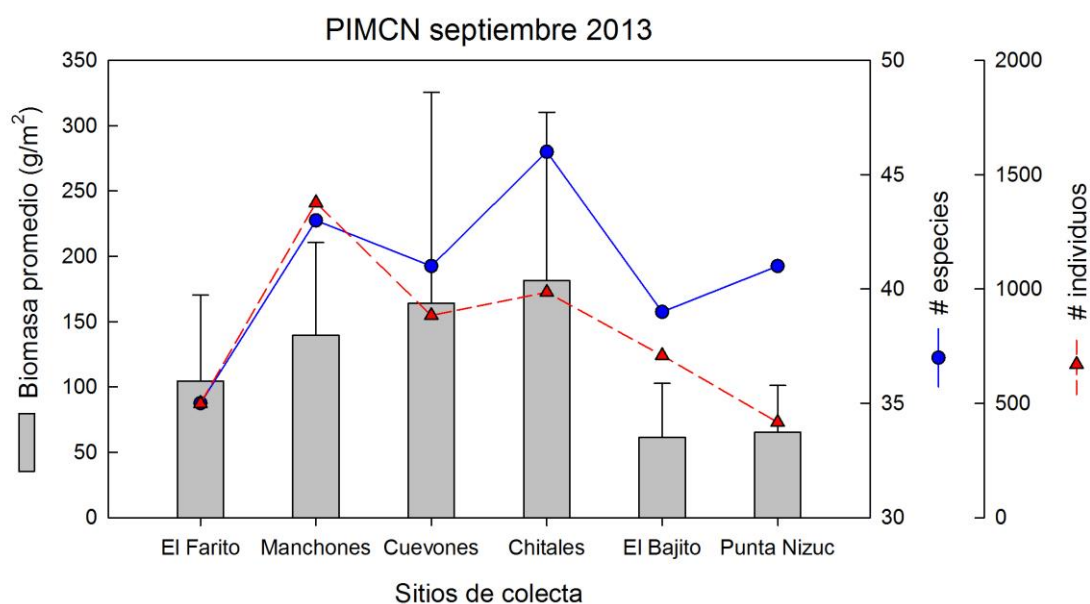


Figura 2.6. Biomasa promedio (g/m²) de peces, número de especies y número de individuos por sitio de muestreo en el PIMCN durante septiembre de 2013.

Durante mayo de 2014, el número total de peces contabilizados para el PNIMCN fue de 5,653 individuos pertenecientes a 75 especies, 42 géneros y 23 Familias (Tabla 2.3). Las familias mejor representadas fueron: Haemulidae y Scaridae con 10 especies, Pomacentridae con nueve, Labridae siete y Lutjanidae con seis (Anexo 2). De acuerdo con las curvas de acumulación de especies, las 75 especies registradas representan el 77.3% de la riqueza máxima estimada por el estimador Jackknife 2 y 91.5% de la riqueza mínima estimada por Bootstrap.

Las especies más abundantes fueron: *Haemulon flavolineatum* con 1,420 individuos contabilizados, *Abudefduf saxatilis* con 406 individuos, *Thalassoma bifasciatum* con 349 individuos, *Chromis cyanea* con 317 individuos y *Acanthurus coeruleus* con 307 individuos (Anexo 2). Estas cinco especies contribuyen con el 49.5% de la abundancia total. La mayor abundancia de peces por arrecife correspondió a Cuevones con 2,074 individuos contabilizados, mientras que la menor abundancia correspondió a El Farito con 468 individuos contabilizados (Tabla 2.3).

La mayor riqueza de especies (S) correspondió a Chitales con 48 especies registradas, mientras que el menor valor de riqueza correspondió a El Farito con 34 especies (Tabla 2.3), sin embargo, no hubo diferencias significativas en la riqueza entre arrecifes ($p > 0.05$).

Tabla 2.3. Descriptores comunitarios peces de los arrecifes del PIMCN, mayo de 2014.

Sitios	N (#Individuos)	S (# especies)	Biomasa (g/m ²) ± sd
El Farito	468	34	192 ± 140
Manchones	789	42	212 ± 139
Cuevones	2074	46	309 ± 111
Chitales	947	48	148 ± 20
El Bajito	807	42	69 ± 80
Punta Nizuc	568	42	381 ± 632
# individuos	5185		
# especies	75		
# familias	23		

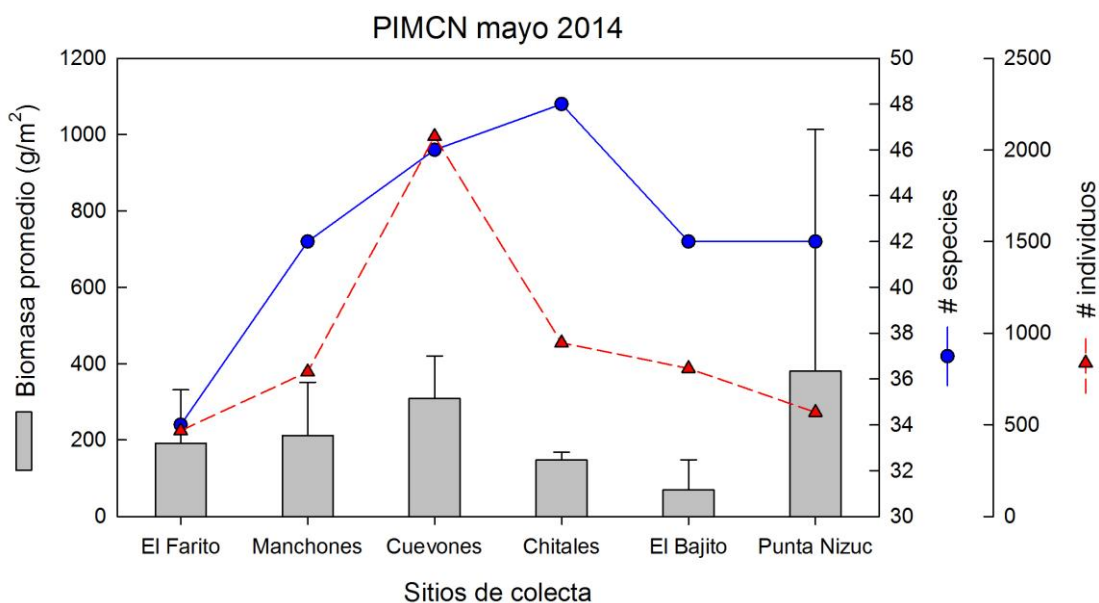
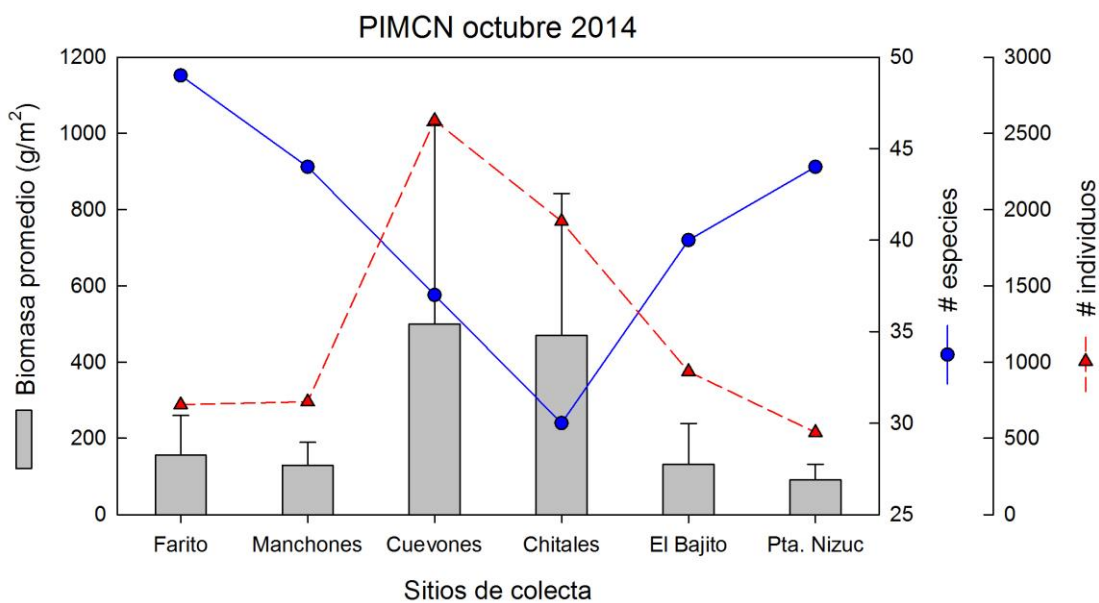


Figura 2.7. Biomasa promedio (g/m²) de peces, número de especies y número de individuos por sitio de muestreo en el PIMCN durante mayo de 2014.

Durante octubre de 2014, el número total de peces registrados en el PNIMCN fue de 7,441 individuos pertenecientes a 85 especies y 29 Familias (Tabla 2.3). El arrecife Cuevones es el sitio con mayor número de individuos censados con 2,584, con mayor biomasa total, pero una baja riqueza de especies (S) con 37; mientras que en el arrecife de Punta Nizuc se contabilizó el menor número de individuos (538), la menor biomasa total, pero una riqueza de especies (S) relativamente alta con 44 (Tabla 2.4, Fig. 2.8). Las familias mejor representadas fueron: Scaridae con 10 especies, Haemulidae y Labridae con nueve especies, Serranidae con ocho especies y Lutjanidae con seis especies (Anexo 2).

Tabla 2.4. Descriptores comunitarios peces de los arrecifes del PIMCN, octubre de 2014.

Sitios	N (#Individuos)	S (# especies)	Biomasa (g/m ²) ± sd
Farito	720	49	156 ± 104
Manchones	739	44	129 ± 61
Cuevones	2584	37	499 ± 522
Chitales	1923	30	470 ± 373
El Bajito	937	40	132 ± 107
Pta. Nizuc	538	44	91 ± 41
# individuos	7441		
# especies	85		
# familias	29		

**Figura 2.8.** Biomasa promedio (g/m²) de peces, número de especies y número de individuos por sitio de muestreo en el PIMCN durante octubre de 2014.

2.3.3.2. Descriptores comunitarios PNAC.

En la colecta de septiembre de 2013, en el PNAC se contabilizaron un total de 8,894 ejemplares de peces pertenecientes a 89 especies, 49 géneros y 26 familias (Tabla 2.5). Las Familias mejor representadas fueron Haemulidae y Pomacentridae con 10 especies, Labridae y Serranidae con nueve, Scaridae con ocho y Lutjanidae con cinco especies. El listado sistemático muestran que la especie más abundante fue *Chromis cyanea* con 2,884 individuos registrados (32.4%), en segundo término están *Thalassoma bifasciatum* con 768 (8.6%) individuos, *Stegastes partitus* con 676 (7.6%) individuos, *S. diencaeus* con 406 (4.6%), *Abudefduf saxatilis* con 404 (4.5%), *Chromis multilineata* con 394 (4.4%) y *Halichoeres garnoti* con 391 (4.3%), estas ocho especies contribuyen con el 66.4% de la abundancia total, mientras que el resto de las especies (81) contribuyen con sólo 33.6% de la abundancia total (Anexo 2). Respecto a la abundancia por arrecife, el valor más alto correspondió a Chankana'ab con 1,843 individuos contabilizados y la menor abundancia se presentó en Colombia con 915 individuos contabilizados (Tabla 2.5, Fig. 2.9).

Tabla 2.5. Descriptores comunitarios peces de los arrecifes del PNAC, septiembre de 2013.

Sitios	N (# Individuos)	S (# Especies)	Biomasa (g/m2) ± sd
Paraíso	1503	42	130 ± 67
Chankanaab	1843	53	355 ± 317
Yucab	934	40	109 ± 67
El Cedral	1137	47	188 ± 91
La francesa	1571	46	278 ± 167
Dalila	991	45	67 ± 18
Colombia	915	45	83 ± 37
# individuos	8894		
# especies	89		
# familias	27		

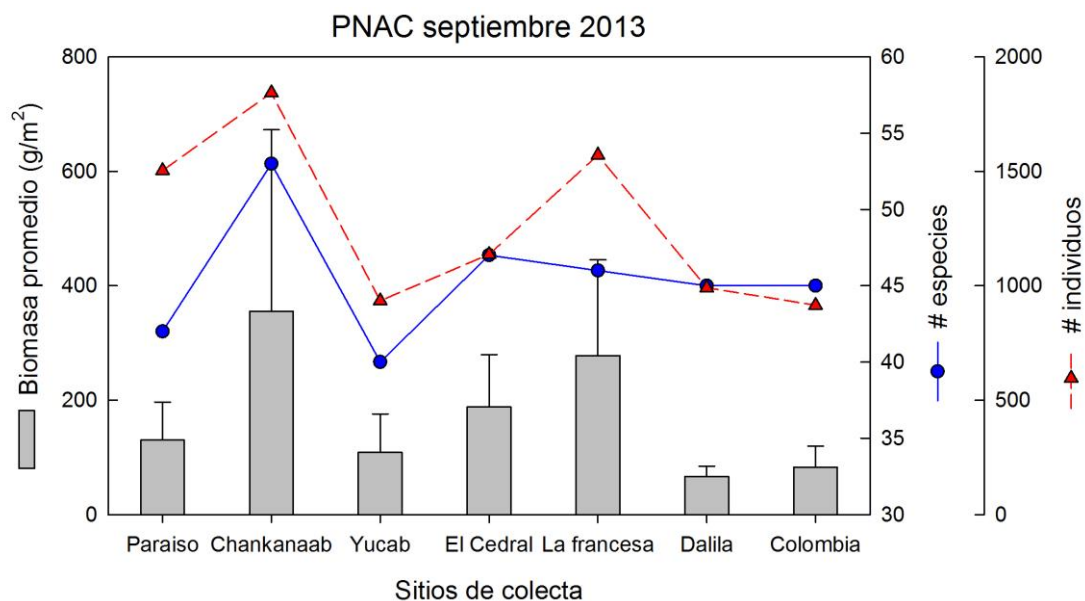


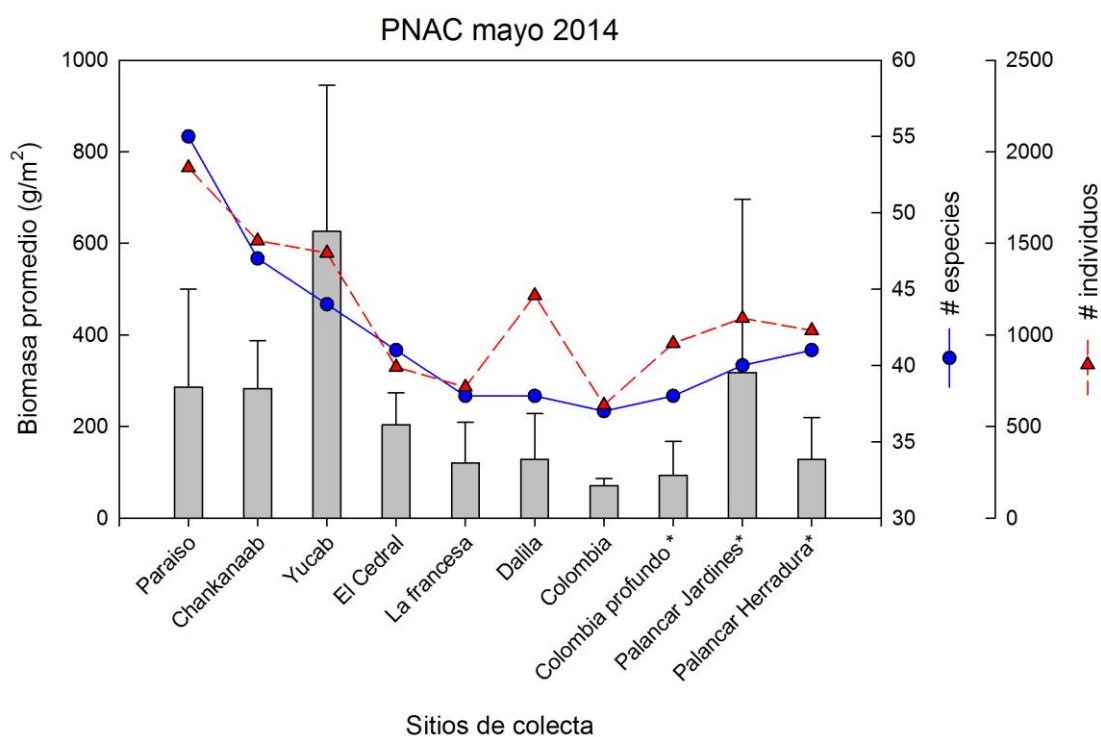
Figura 2.9. Biomasa promedio (g/m²) de peces, número de especies y número de individuos por sitio de muestreo en el PNAC durante septiembre de 2013.

En el muestreo de mayo de 2014, se registraron un total de 11,314 ejemplares de peces pertenecientes a 86 especies, 48 géneros y 27 familias (Tabla 2.6). Las Familias mejor representadas fueron Haemulidae con 11 especies, Scaridae con 10 especies, Pomacentridae y Serranidae con ocho especies y Labridae con seis especies (Anexo 2). La especie más abundante fue *Chromis cyanea* con 3,263 individuos contabilizados (28.8%), en orden de importancia le siguieron *Clepticus parrae* con 1,673 (14.8%), *Thalassoma bifasciatum* con 1,132 (10%) y *Stegastes partitus* con 901 (8.0%) individuos contabilizados. Estas cuatro especies contribuyen con el 61.6% de la abundancia total, mientras que el resto de las especies (82) contribuyen con sólo 38.4% de la abundancia total. Con relación a la abundancia por arrecife, el valor más alto correspondió a Paraíso con 1,913 individuos contabilizados y la menor abundancia se presentó en Colombia con 617 individuos contabilizados (Tabla 2.9).

Con el esfuerzo de muestreo realizado, las 86 especies registradas representan el 78.9% de la riqueza máxima esperada con el estimador Jackknife 2 y el 91.5% de la riqueza mínima esperada con Bootstrap. La riqueza total de especie (S) por arrecife presentó diferencias significativas ($F = 3.558$; $p = 0.003$), las diferencias se presentaron entre Paraíso y Colombia, Paraíso y Dalila, Paraíso y La francesa, Paraíso y Colombia Profundo, Paraíso y Palancar Herradura; el valor más alto de S fue para Paraíso con 55 especies y el más bajo correspondió a Colombia con 37 especies (Tabla 2.6, Fig. 2.10)

Tabla 2.6. Descriptores comunitarios peces de los arrecifes del PNAC, mayo de 2014.

Sitios	N (#individuos)	S (#especies)	Biomasa (g/m ²) ± sd
Paraiso	1913	55	286 ± 214
Chankanaab	1514	47	283 ± 105
Yucab	1447	44	626 ± 319
El Cedral	824	41	204 ± 70
La francesa	715	38	121 ± 89
Dalila	1215	38	129 ± 99
Colombia	617	37	71 ± 16
Colombia profundo *	954	38	93 ± 75
Palancar jardines*	1091	40	317 ± 379
Palancar herradura*	1024	41	128 ± 92
# individuos	11314		
# especies	86		
# familias	27		

**Figura 2.10.** Biomasa promedio (g/m²) de peces, número de especies y número de individuos por sitio de muestreo en el PNAC durante mayo de 2014.

Finalmente, durante la colecta de octubre de 2014 en el PNAC, el número total de individuos contabilizados fue de 8,481, agrupados en 80 especies de 22 familias (Tabla 2.7). El arrecife Chankana'ab fue el sitio que presentó un mayor número de individuos con 1,774 (21% del total), el mayor número de especies (S) con 53, pero ocupó el tercer sitio en cuanto a la biomasa de peces, después del arrecife de El Cedral y el arrecife Paraiso (Tabla 2.7, Fig. 2.11). En contraste, el arrecife Colombia mostró los indicadores más bajos con el menor número de ejemplares contabilizados con 617, la menor riqueza de especies (S) con 37 y la menor biomasa (Tabla 2.7, Fig. 2.11). Las familias mejor representadas fueron Pomacanthidae con 11 especies, Haemulidae con 10 especies, Serranidae con nueve especies y Scaridae con ocho especies (Anexo 2).

Tabla 2.7. Descriptores comunitarios peces de los arrecifes del PNAC, octubre de 2014.

Sitios	N (#Individuos)	S (# especies)	Biomasa (g/m²) ± s.d.
Paraiso	1534	45	325 ± 237
Chankana'ab	1774	53	236 ± 130
Yucab	914	41	114 ± 70
El Cedral	1352	41	368 ± 226
La francesa	768	41	123 ± 48
Dalila	1522	40	137 ± 58
Colombia	617	37	71 ± 16
# individuos	8481		
# especies	80		
# familias	22		

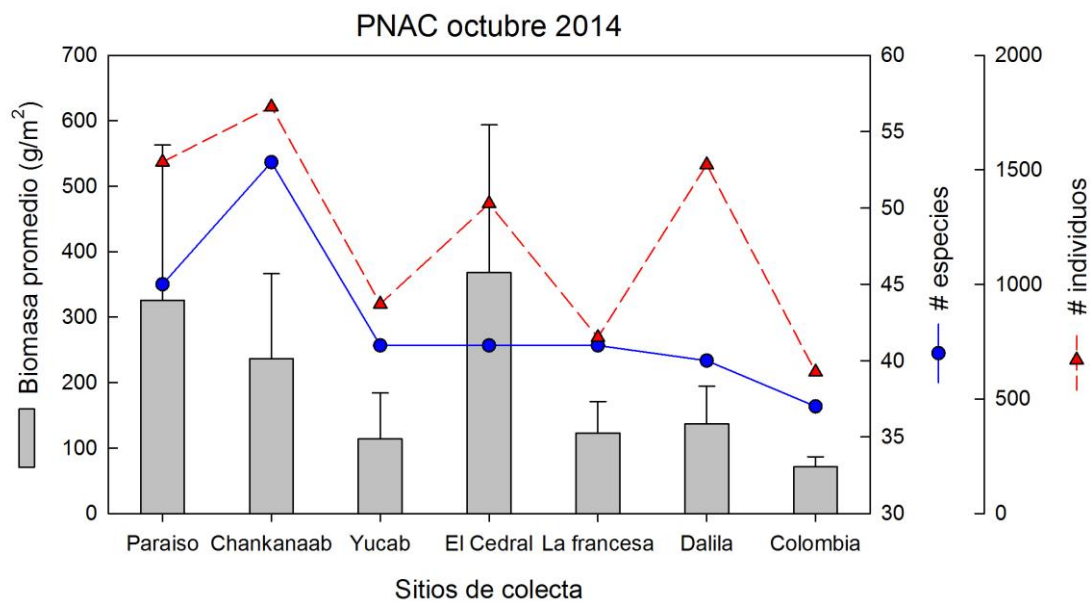


Figura 2.11. Biomasa promedio (g/m²) de peces, número de especies y número de individuos por sitio de muestreo en el PNAC durante octubre de 2014.

2.4. Sumario y conclusión del capítulo.

El número total de peces contabilizados para el PNIMCN durante el periodo de estudio entre noviembre de 2011 y octubre de 2014 fue de 21,772 individuos. Comparativamente fue durante la colecta de octubre de 2014 cuando se contabilizó el mayor número de individuos con 7,441, el mayor número de especies con 85 agrupadas en 29 familias. En contraste, durante la colecta de noviembre de 2011, se registraron 3,807 individuos agrupadas en 75 especies y 25 familias. Las familias de peces más comunes o representativas en el PIMCN variaron con la fecha de colecta. En noviembre de 2011 las familias mejor representada en el parque fueron Scaridae con nueve especies y Haemulidae, Labridae, Lutjanidae, Pomacentridae con seis especies cada una. Durante septiembre de 2013, las familias Pomacentridae y Scaridae contabilizaron nueve especies, Haemulidae con ocho, Labridae y Lutjanidae con siete. En mayo de 2014, las familias Haemulidae y Scaridae con 10 especies, Pomacentridae con nueve, Labridae siete y Lutjanidae con seis y, finalmente, en octubre de 2014, la familia Scaridae contabilizó 10 especies, Haemulidae y Labride con nueve especies, Serranidae con ocho especies y Lutjanidae con seis especies.

Por otro lado, en el PNAC se registraron 11,314 ejemplares de peces pertenecientes a 86 especies, 48 géneros y 27 familias. Las familias mejor representadas fueron Haemulidae (11 especies),

Scaridae (10 especies), Pomacentridae y Serranidae (ocho especies) y Labridae (seis especies). La especie más abundante fue *Chromis cyanea* (3,263 individuos o el 28.8% del total), *Clepticus parrae* (1,673 ejemplares; 14.8%), *Thalassoma bifasciatum* (1,132; 10%) y *Stegastes partitus* (901 ejemplares; 8.0%). Estas cuatro especies contribuyen con el 61.6% de la abundancia total, mientras que el resto de las especies (82) contribuyen con sólo 38.4% de la abundancia total. La abundancia por arrecife mostró el valor más alto en Paraíso (1,913 individuos) y la menor abundancia se encontró en Colombia (617 individuos). Las 86 especies registradas representan el 78.9% de la riqueza máxima esperada y el 91.5% de la riqueza mínima esperada. La riqueza total de especie (S) por arrecife mostró el valor más alto en Paraíso (55 especies) y el más bajo en Colombia (37 especies). El índice de diversidad de Shannon varió entre 4.04 (Paso del Cedral) a 3.27 (Dalila).

CAPITULO 3

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA PARQUE NACIONAL COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, CANCÚN, NIZUC (PIMCN) Y PARQUE NACIONAL ARRECIFES DE COZUMEL (PNAC).

3.1. Introducción

Se obtuvieron y reportan los datos hidrológicos básicos de temperatura, salinidad, nutrientes (nitratos + nitritos, amonio, fosfatos y silicatos y oxígeno disuelto) para las colectas de mayo de 2011, noviembre de 2011, septiembre de 2012, septiembre de 2013 y en junio y octubre de 2014. De manera comparativa también se integran los datos hidrológicos de la primera fase del proyecto (Proyecto DM012) que incluye las colectas de noviembre de 2006 y mayo de 2007. En el caso del oxígeno disuelto, los resultados obtenidos muestran niveles cercanos a la saturación en casi todas las estaciones hidrográficas y muy poca variabilidad espacial. Como en los casos anteriores, debido a las bajas concentraciones típicas de nitritos, pero también de manera rutinaria, los resultados generados en el laboratorio de Geociencias Ambientales de nuestro Instituto (IIO-UABC), se reporta la concentración de la suma de nitratos más nitritos (nitritos + nitratos). Esto facilita el análisis y la generación de resultados en el autoanalizador Skalar San Plus, ya que ahorra un paso de reducción y es posible analizar todos los nutrientes reportados aquí en una sola secuencia. Por esta razón, en este reporte se incluye en una columna la suma de ambas especies de nitrógeno inorgánico, más el amonio y la suma del total de las especies reportadas como Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID).

3.2. Métodos

Los parámetros hidrológicos fueron medidos *in situ* utilizando una sonda multiparámetros marca YSI modelo 556 MPS, utilizando los sensores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Salinidad (adimensional) y Oxígeno disuelto (mg/L), calibrada de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Para el análisis de nutrientes se tomaron 50 mL de agua de mar filtrada en el campo a través de un filtro de fibra de vidrio (GF/C) de 25 mm de diámetro. Después de filtradas, las muestras fueron preservadas con una solución de HgCl_2 . En el laboratorio, el análisis de nutrientes se realizó en analizador de flujo segmentado Skalar San Plus. Los límites de detección promedio del método fueron de $0.09 \mu\text{M}$ (nitratos + nitritos), $0.07 \mu\text{M}$ (amonio), $0.03 \mu\text{M}$ (fosfatos) y $0.21 \mu\text{M}$ (silicatos). Como control de calidad se utilizó agua de mar certificada MOOS-2 (National Reserch Council of Canada) obteniendo una exactitud del 100%.

3.3. Resultados

3.3.1 Caracterización hidrológica promedio.

Los datos hidrológicos totales generados durante todas las colectas mencionadas, se incluyen como anexos en archivos Excel, donde se cada localidad de colecta se encuentra georeferenciada y separada por Parque.

3.3.1.1. Hidrología promedio, colecta de mayo y noviembre de 2011.

Durante la colecta de mayo de 2011, la concentración promedio (± 1 D.S.) de NID para la región del Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc (PIMCN) (excluyendo Laguna Nichupté) fue de $3.25 \pm 2.59 \mu\text{M}$, mientras que, en el interior de Laguna Nichupté, la concentración promedio de NID es mucho más elevada, llegando a $10.7 \pm 5.77 \mu\text{M}$ (Tabla 3.1). Esta diferencia está claramente influenciada por las altas concentraciones de amonio en el interior de la laguna ($9.18 \pm 6.06 \mu\text{M}$), comparadas con las observadas en las zonas arrecifales ($0.91 \pm 0.44 \mu\text{M}$) (Tabla 3.1). La marcada diferencia de concentración de NID entre ambos ecosistemas sugiere que intercambio de la Laguna con el sistema arrecifal es muy limitado. Sin embargo, es interesante notar que la concentración promedio de NID en el PIMCN es ahora cercana al doble de lo encontrado durante mayo de 2007 (NID de $1.50 \pm 0.65 \mu\text{M}$); de la misma manera, la concentración de NID el interior de Laguna Nichupté es ahora un poco más del doble de lo medido en mayo de 2007 de $4.18 \pm 1.98 \mu\text{M}$. Estos primeros resultados son la primera señal de que las condiciones ambientales ahora son diferentes a las de 2007.

En los arrecifes del Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos (PNAPM), la concentración de NID promedio ($2.58 \pm 1.16 \mu\text{M}$) fue ligeramente más bajo que el observado en PIMCN, lo que indica la similitud ambiental de ambos sistemas. A diferencia de lo observado en el PIMCN, la concentración de NID promedio en el PNAPM durante mayo de 2011 es prácticamente igual a la medida en mayo de 2007 ($2.15 \pm 0.84 \mu\text{M}$), lo que indica que las fuentes de nitrógeno se han mantenido estables, al menos para esta época del año.

Finalmente, la concentración de NID promedio para el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC) ($1.80 \pm 1.05 \mu\text{M}$) en mayo de 2011 fue aún más baja que el medido en los otros parques de la costa norte del Caribe Mexicano. Similarmente al PNAPM, la comparación de la concentración promedio de NID en mayo de 2011, con la obtenida durante mayo de 2007 ($1.61 \pm 1.96 \mu\text{M}$), sugieren que, durante esta época del año, las fuentes de nitrógeno inorgánico parecen no haber variado en los últimos años.

Además del nitrógeno inorgánico, los fosfatos son los otros nutrientes que juegan un papel clave en la productividad primaria y podrían ser un factor limitante en el crecimiento de macroalgas en las zonas arrecifales. Sin embargo, las concentraciones promedio de fosfatos son extremadamente bajas y menores a 0.4 μM para todas las aéreas estudiadas, incluyendo Laguna Nichupté (Tabla 3.1). Estos bajos niveles de fosfatos, sumados a la limitada disponibilidad de nitrógeno inorgánico disponible, pueden explicar también las bajas concentraciones promedio de clorofilas que, con excepción de Laguna Nichupté donde llegan a 1.22 ± 0.67 mg/L, en general son menores a 0.4 mg/L en las aguas superficiales de toda la zona arrecifales (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Resumen de los resultados de los parámetros hidrológicos obtenidos para la colecta del mes de mayo de 2011. La concentración de NID (μM) es igual a la suma de todas las especies nitrógeno inorgánico disuelto.

Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancun, Punta Nizuc (PIMCN)									
Parámetro	NID (μM)	Nitratos +Nitritos	Amonio (μM)	Fosfatos (μM)	Silicatos (μM)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Salinidad	Clorofilas (mg/L)	Oxígeno (mg/L)
Media	3.25	2.33	0.91	0.25	7.90	27.7	36.6	0.19	6.41
D.S.	2.59	2.43	0.44	0.03	3.71	0.25	0.05	0.07	0.62
Mínimo	1.11	0.51	0.46	0.19	3.79	27.3	36.5	0.10	5.27
Máximo	9.66	9.20	2.17	0.29	19.3	28.2	36.7	0.30	7.71
Laguna Nichupté (Incluida Laguna Bojórquez)									
Media	10.7	1.55	9.18	0.31	14.2	30.3	36.9	1.22	6.61
D.S.	5.77	1.10	6.06	0.10	6.20	0.80	1.10	0.67	1.16
Mínimo	3.35	0.17	1.27	0.24	5.57	28.4	35.5	0.30	4.74
Máximo	19.9	4.91	18.8	0.70	32.2	31.6	40.1	2.70	9.77
Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos (PNAPM)									
Media	2.58	1.60	0.98	0.28	7.11	29.3	36.4	0.25	6.87
D.S.	1.16	1.15	0.45	0.06	1.75	0.44	0.27	0.22	0.52
Mínimo	0.80	0.24	0.49	0.24	3.61	28.5	35.6	0.10	6.20
Máximo	4.95	3.73	1.89	0.47	9.18	30.1	36.8	0.90	7.85
Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC)									
Media	1.80	1.17	0.63	0.27	7.36	28.9	35.3	0.17	7.42
D.S.	1.05	1.04	0.29	0.03	3.87	0.58	5.03	0.29	0.93
Mínimo	0.58	0.17	0.00	0.20	4.00	27.0	11.2	0.00	4.42
Máximo	4.33	3.89	1.20	0.33	24.2	30.3	36.5	1.10	9.64

Los resultados promedio de los parámetros hidrográficos para la colecta de noviembre de 2011 se muestran en la Tabla 3.2. Estos incluyen los resultados para nitratos + nitritos, amonio, la suma de las especies de nitrógeno inorgánico (NID), fosfatos, silicatos, temperatura y salinidad. Al igual que en el caso de mayo, aquí nos enfocamos en resaltar el comportamiento del NID.

Tabla 3.2. Resumen de los resultados de los parámetros hidrológicos obtenidos para la colecta del mes de noviembre de 2011. La concentración de NID (μM) es igual a la suma de todas las especies nitrógeno inorgánico disuelto.

<i>Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancun, Punta Nizuc (PIMCN)</i>							
Parámetro	NID (μM)	Nitratos +Nitritos (μM)	Amonio (μM)	Fosfatos (μM)	Silicatos (μM)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Salinidad
Media	2.25	0.97	1.27	0.26	5.59	26.1	36.5
D.S.	1.89	0.53	1.70	0.06	2.01	0.95	0.31
Mínimo	0.69	0.20	0.33	0.17	2.99	25.1	36.04
Máximo	8.67	2.06	7.45	0.43	8.78	28.2	36.98
<i>Laguna Nichupté (Incluida Laguna Bojórquez)</i>							
Media	11.8	3.00	8.82	0.31	8.59	25.2	26.0
D.S.	6.82	1.76	5.58	0.06	2.82	1.26	1.52
Mínimo	2.67	0.61	1.39	0.20	4.12	24.1	23.5
Máximo	25.1	7.02	19.3	0.48	16.6	28.3	28.0
<i>Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC)</i>							
Media	2.20	0.93	1.27	0.28	6.78	26.5	36.3
D.S.	2.18	1.04	1.63	0.07	5.91	0.59	0.17
Mínimo	0.52	0.20	0.16	0.20	2.15	25.4	36.0
Máximo	9.03	4.04	7.45	0.44	25.1	27.6	36.6

Durante la colecta de noviembre 2011, la concentración promedio del NID en el PIMNC fue de $2.25 \pm 1.89 \mu\text{M}$ mostrando un amplio rango de variabilidad entre 0.69 a $8.67 \mu\text{M}$ (Tabla 3.2). Estos valores son ligeramente más bajos, comparados con mayo de 2011 (Tabla 3.1), pero igualmente variables en ambos periodos del año. Al comparar la concentración promedio de NID de noviembre de 2011, muestra un incremento aproximado de tres veces comparado con la concentración promedio medida en noviembre de 2006 ([NID] de $0.86 \pm 0.30 \mu\text{M}$). Estos resultados confirman la tendencia observada al comparar los meses de mayo y apoyan la hipótesis de que en el PIMCN la disponibilidad de nutrientes se ha incrementado en años recientes. Similarmente que en las zonas arrecifales, la concentración promedio de NID en el interior de Laguna Nichupté durante invierno ($11.8 \pm 6.82 \mu\text{M}$, Tabla 3.2) es muy similar a la obtenida para mayo (Tabla 3.1), e igualmente variables. En concordancia con lo observado en todos los muestreos previos realizados en Laguna Nichupté, la especie de nitrógeno dominante es el amonio, lo que indica una elevada disponibilidad de material orgánico y la circulación restringida en el interior de la laguna.

En el invierno de 2011, la concentración promedio de NID de $2.20 \pm 2.18 \mu\text{M}$ (Tabla 3.2.) en el PNAC fue un poco más alta que la medida en mayo de 2011 ($1.80 \pm 1.05 \mu\text{M}$, Tabla 3.1) y mucho más variable (intervalo entre 0.52 a $9.03 \mu\text{M}$, Tabla 3.2). Esta alta variabilidad está influenciada por los

altos valores de nitratos + nitritos obtenidos en la salida de cenote en la costa de Chankana'ab (4.04 μM) y los valores anormalmente altos de amonio en el arrecife Dalila (de 7.45 μM Anexo 3 Tablas Excel). Con excepción de los sitios mencionados y los niveles de NID medidos en Caleta (de 6.75 μM), el resto de las localidades muestra niveles de NID relativamente bajos y siempre dominados por el amonio.

Similarmente a lo observado en mayo de 2011, pero también en los muestreos previos de 2006 y 2007, el fosfato muestra valores muy bajos en todas las zonas arrecifales, incluyendo en el interior de Laguna Nichupté, donde la concentración promedio de fosfatos ($0.31 \pm 0.06 \mu\text{M}$) son muy similares a las medidas en el PIMCN ($0.26 \pm 0.06 \mu\text{M}$) y a las del PNAC ($0.28 \pm 0.07 \mu\text{M}$). Estos resultados muestran que, de los nutrientes esenciales, el fosfato ha mantenido siempre niveles bajos y poco variables, lo que sugiere que, de haber una limitante para la productividad primaria, podría ser el fosfato quien mantenga un control a largo plazo.

3.3.2. Composición isotópica de los nitratos ($\delta^{15}\text{NO}_3$ y $\delta^{18}\text{O}$)

Los resultados del estudio hidrológico en las zonas arrecifales del Caribe Mexicano indican que los niveles de nitrógeno inorgánico disuelto son relativamente bajos y no muestran una tendencia definida que indique una fuente bien diferenciada. Con el propósito de investigar con más a detalle las potenciales fuentes de NID, se seleccionaron muestras de agua de mar para ser analizadas por su composición isotópica de nitrógeno y de oxígeno de los nitratos ($\delta^{15}\text{NO}_3$ y $\delta^{18}\text{O}$), debido a que estos son utilizados como trazadores del origen y/o de los procesos que ocurren en el medio y que afectan el ciclo natural del nitrógeno. La selección de las muestras fue complicada debido principalmente a las bajas concentraciones típicas de nitratos en las aguas de las ANP y las limitaciones analíticas respecto a la sensibilidad de los métodos existentes. Seleccionamos un laboratorio que contara con la capacidad de analizar estos trazadores isotópicos, utilizando los métodos más sensibles y generara resultados confiables (IsoLab, Departamento de Ciencias de la Tierra y del Espacio, Universidad de Washington, EUA). Para la selección de muestras consideramos las zonas arrecifales con una concentración relativamente alta nitratos, que resultaron en un total de 11 muestras colectadas de manera muy cuidadosa y manteniéndolas en congelación todo el tiempo. Los resultados obtenidos del $\delta^{15}\text{NO}_3$ y $\delta^{18}\text{O}$ de los nitratos se muestran de manera resumida en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Composición isotópica de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$, ‰ vs aire), oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$, ‰ vs SMOW) y concentración de nitratos disueltos en muestras de agua de mar de algunos sitios seleccionados por su concentración de nitratos en los Parques estudiados.

Estación	$\delta^{15}\text{NO}_3$ (‰)	d.s.	$\delta^{18}\text{O-NO}_3$ (‰)	d.s.	$[\text{NO}_3]$ μM	d.s.	Localidad
IM07	6.54	0.64	18.6	0.63	1.30	0.11	PIMCN - Manchones
PN15	1.80	0.42	16.6	0.23	0.99	0.38	PIMCN - Punta Nizuc
LN08	4.52	0.66	3.35	0.37	3.68	1.82	L. Nichupté - PTAN (La Zeta)
LN19	6.46	NA	6.70	NA	1.76	NA	L. Nichupté - Canal Sigfrido
CZ14	6.78	0.50	8.63	1.32	3.88	1.31	PNAC - Caleta

De acuerdo con el laboratorio (IsoLab, UW), de las 11 muestras enviadas, solo fue posible generar datos confiables en 5 de ellas, argumentado que la concentración de nitratos en el resto de las muestras fue muy bajas para generar una buena reproducibilidad, aun cuando se utilizó el método de desnitrificación bacterial, que es el más sensible que existe actualmente (Sigman et al., 2001). Un análisis del total de los resultados muestra que el límite de cuantificación del método, es decir la composición isotópica es reproducible cuando la concentración de NO_3 es $\geq 1 \mu\text{M}$, lo cual es poco frecuente en el Caribe Mexicano (ver la sección de hidrología de nutrientes).

De las cinco estaciones reportadas aquí, dos corresponden al PIMCN (Manchones y Punta Nizuc), dos al interior de Laguna Nichupté (LN08 y LN19) y solo una a PNAC (La Caleta). Con excepción de Punta Nizuc, que muestra $\delta^{15}\text{NO}_3$ de 1.80‰, los otros dos sitios arrecifales muestran valores muy consistentes de 6.54‰ (IM07) y 6.78‰ (CZ14) (Tabla 3.3). Usando solo los datos de zonas arrecifales (IM07, PN15 y CZ14) de la Tabla 3.3, el $\delta^{15}\text{NO}_3$ promedio es de $5.04 \pm 2.8\%$, que resultó ligeramente más alto que el promedio medido en la zona costera de Akumal ($\delta^{15}\text{NO}_3 = 4.1 \pm 1.1\%$, Mutchler et al., 2007). Además de los sitios arrecifales considerados en la Tabla 3.3, los resultados de $\delta^{15}\text{NO}_3$ de los arrecifes Cuevones ($\delta^{15}\text{NO}_3 = 5.08 \pm 0.54\%$) y Chitales ($\delta^{15}\text{NO}_3 = 1.64 \pm 0.48\%$) (ambos en el PIMCN), presentaron una buena precisión en el $\delta^{15}\text{NO}_3$ ($<0.6\%$), pero quedaron fuera de la Tabla 3.3, debido a la mala precisión del $\delta^{18}\text{O}$ de los nitratos. Al incluir estos dos resultados al promedio calculado previamente, entonces el $\delta^{15}\text{NO}_3$ promedio para los arrecifes del norte de Quintana Roo sería de $4.37 \pm 2.5\%$. Este valor es entonces más cercano al $\delta^{15}\text{NO}_3$ medido al sur de esta área por Mutchler et al. (2007), pero mucho más variable. Estos resultados indican que la composición isotópica del nitrógeno en los nitratos oceánicos en esta región se encuentra en valores aproximados entre 4 y 5‰.

3.3.3. Hidrología promedio, colecta de septiembre de 2012.

Los parámetros hidrológicos, incluidos nutrientes, medidos en los arrecifes del norte de Quintana Roo, durante septiembre de 2012 se muestran en la Tabla 3.4. Como es de esperarse por los bajos valores de salinidad, la concentración más alta de nitratos + nitritos se encontró en sistema lagunar Nichupté – Bojórquez ($1.5 \pm 1 \mu\text{M}$); mientras que la concentración promedio de estas especies de nitrógeno fueron bajas y muy similares en el PIMCN ($0.4 \pm 0.4 \mu\text{M}$) y en el PNAC ($0.5 \pm 1 \mu\text{M}$) (Tabla 3.4). Al igual que los resultados obtenidos en muestreos previos, la mayor contribución al nitrógeno inorgánico disuelto (NID) fue el amonio. La concentración de amonio fue marcadamente mayor en el sistema lagunar Nichupté – Bojórquez ($10.1 \pm 5.2 \mu\text{M}$), comparado con el PIMCN ($2.4 \pm 1.5 \mu\text{M}$) y el PNAC ($2.3 \pm 1.3 \mu\text{M}$) durante septiembre de 2012 (Tabla 3.4). Estas concentraciones de amonio contribuyen con el 87% del NID en el PIMCN y en el sistema lagunar Nichupté – Bojórquez; mientras que el PNAC, la concentración promedio de amonio contribuye con el 81% del NID promedio (Tabla 3.4).

Además del nitrógeno, la concentración promedio de fosfatos fue generalmente muy baja y muy similar para todas las áreas, siendo de $0.2 \pm 0.04 \mu\text{M}$, $0.2 \pm 0.06 \mu\text{M}$ y de $0.3 \pm 0.06 \mu\text{M}$, para el PIMCN, el sistema lagunar Nichupté – Bojórquez y el PNAC, respectivamente (Tabla 3.4). Finalmente, el sistema lagunar Nichupté – Bojórquez muestra las mayores concentraciones promedio de silicatos ($11.8 \pm 5.7 \mu\text{M}$), seguido del PNAC donde la concentración de silicatos es relativamente alta y muy variable ($7.7 \pm 6.8 \mu\text{M}$) y del PIMCN donde la concentración promedio de silicatos es menor y menos variable ($3.4 \pm 1.9 \mu\text{M}$) (Tabla 3.4).

El resto de parámetros hidrológicos, como en muestreos previos, muestra poca variabilidad. La temperatura superficial promedio del agua fue muy similar en el PIMCN ($28.5 \pm 0.6^\circ\text{C}$), y en el sistema lagunar Nichupté – Bojórquez ($28.5 \pm 0.4^\circ\text{C}$), pero ligeramente mayor en el PNAC ($29.8 \pm 1.5^\circ\text{C}$) (Tabla 3.4). La salinidad mostró valores muy similares en el PIMCN (35 ± 2) y en el PNAC (35 ± 3), pero menor en el sistema lagunar Nichupté – Bojórquez (29.1 ± 3.2), lo que parece ser un efecto directo de los escurrimientos de agua dulce durante el periodo de lluvias. Esta laguna también presenta los valores promedio más bajos de oxígeno disuelto ($4.9 \pm 0.8 \text{ mg/L}$), comparado con el PIMCN ($6 \pm 0.5 \text{ mg/L}$) y el PNAC ($5.5 \pm 1.3 \text{ mg/L}$) (Tabla 3.4), lo que sugiere un consumo más activo de material orgánico proveniente de las marismas alrededor de la laguna, proceso que puede incrementarse también por los escurrimientos de agua dulce durante este periodo.

Tabla 3.4. Resumen de los resultados de los parámetros hidrológicos obtenidos para la colecta del mes de septiembre de 2012. La concentración de NID (μM) es igual a la suma de todas las especies nitrógeno inorgánico disuelto.

Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún, Punta Nizuc (PIMCN)								
Parámetro	NID (μM)	Nitratos +Nitritos (μM)	Amonio (μM)	Fosfatos (μM)	Silicatos (μM)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Salinidad	Oxígeno (mg/L)
Media	2.76	0.35	2.41	0.22	3.37	28.49	35.02	6.01
D.S.	1.71	0.44	1.48	0.04	1.90	0.58	1.96	0.51
Min	1.46	0.09	1.22	0.15	1.39	27.14	27.66	4.34
Max	6.65	2.03	5.89	0.28	7.30	29.20	35.88	6.68
Laguna Nichupté (Incluida Laguna Bojórquez)								
Media	11.55	1.48	10.06	0.21	11.80	28.47	29.13	4.87
D.S.	5.98	1.05	5.22	0.06	5.67	0.38	3.21	0.82
Min	2.37	0.20	2.00	0.05	1.96	27.96	20.13	2.71
Max	21.40	3.29	18.27	0.30	26.95	29.43	35.08	6.18
Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC)								
Media	2.83	0.53	2.31	0.26	7.71	29.79	35.03	5.54
D.S.	2.02	1.02	1.33	0.06	6.82	1.47	3.00	1.27
Min	1.09	0.09	0.99	0.15	2.31	27.55	24.47	2.11
Max	9.33	4.29	5.69	0.39	30.57	35.40	38.37	7.78

3.3.4. Hidrología promedio, septiembre de 2013.

Durante septiembre de 2013, la concentración promedio (± 1 D.S.) del nitrógeno inorgánico disuelto total (NID) medida en las estaciones de colecta en el PIMCN (excluyendo Laguna Nichupté), fue de $2.99 \pm 2.29 \mu\text{M}$ (Tabla 3.5), mientras que en el interior de la Laguna Nichupté fue casi 3 veces mayor y mucho más variable ($9.93 \pm 16.6 \mu\text{M}$, Tabla 3.5). Al igual que los muestreos previos, este estudio muestra claramente que el amonio es la principal especie de nitrógeno inorgánico disuelto, en los sistemas arrecifales del norte del Caribe mexicano. La concentración de amonio fue marcadamente mayor en el sistema lagunar Nichupté – Bojórquez ($10.1 \pm 5.2 \mu\text{M}$) y contribuye con el 50.5% del NID promedio. En contraste, las concentraciones de amonio en los sitios de colecta del PIMCN ($2.4 \pm 1.5 \mu\text{M}$) y el PNAC ($2.3 \pm 1.3 \mu\text{M}$) son muy similares (Tabla 3.5), pero la contribución del amonio al NID total es mayor, comprado con la Laguna Nichupté, llegando al 87% del NID en el PIMCN y al 81% en el PNAC (Tabla 3.5). De la misma manera que los muestreos previos, durante la colecta de septiembre de 2013, la concentración promedio de fosfatos fue muy baja y muy similar para todas las áreas, siendo de $0.2 \pm 0.04 \mu\text{M}$, $0.2 \pm 0.06 \mu\text{M}$ y de $0.3 \pm 0.06 \mu\text{M}$, para el PIMCN, el sistema lagunar Nichupté – Bojórquez y el PNAC, respectivamente (Tabla 3.5). Finalmente, el sistema lagunar Nichupté – Bojórquez muestra las mayores concentraciones promedio de silicatos ($11.8 \pm$

5.7 μM), seguido del PNAC donde la concentración de silicatos es relativamente alta y muy variable ($7.7 \pm 6.8 \mu\text{M}$) y del PIMCN donde la concentración promedio de silicatos es menor y menos variable ($3.4 \pm 1.9 \mu\text{M}$). El resto de los parámetros hidrológicos, como la temperatura, salinidad y el contenido de oxígeno fue poco variable. Una excepción es la salinidad en Laguna Nichupté (23 ± 4.66), que muestra el efecto de los escurrimientos de las lluvias, fue significativamente menor a la salinidad medida en las áreas arrecifales

Tabla 3.5. Resumen de los resultados de los parámetros hidrológicos obtenidos para la colecta del mes de septiembre de 2013. La concentración de NID (μM) es igual a la suma de todas las especies nitrógeno inorgánico disuelto.

<i>Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancun, Punta Nizuc (PIMCN)</i>								
Parámetro	NID (μM)	Nitratos +Nitritos (μM)	Amonio (μM)	Fosfatos (μM)	Silicatos (μM)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Salinidad	Oxígeno (mg/L)
Media	2.99	0.68	2.31	0.20	7.23	28.05	36.35	6.53
D.S.	2.29	0.64	2.27	0.02	1.31	0.33	0.16	0.70
Min	0.28	0.11	0.07	0.17	4.79	27.09	36.11	5.52
Max	7.73	2.27	7.63	0.24	10.06	28.46	36.58	7.80
<i>Laguna Nichupté (Incluida Laguna Bojórquez)</i>								
Media	9.93	4.92	5.01	0.43	15.20	27.98	23.56	6.66
D.S.	16.6	14.9	4.94	1.08	11.2	0.35	4.66	0.83
Min	1.14	0.39	0.48	0.03	2.40	27.52	11.32	5.32
Max	75.8	68.2	17.0	5.00	37.5	28.82	36.25	8.27
<i>Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC)</i>								
Media	3.02	1.02	2.00	0.22	6.37	28.77	35.18	5.98
D.S.	2.73	1.23	2.45	0.06	3.36	0.89	4.39	0.84
Min	0.25	0.18	0.07	0.13	1.99	25.10	17.06	2.44
Max	9.07	5.19	8.06	0.47	17.94	29.98	36.56	6.80

3.3.5. Hidrología promedio durante mayo y octubre de 2014.

Durante la colecta de mayo junio de 2014, la concentración promedio (± 1 D.S.) de NID para los sitios dentro de los polígonos del PIMCN (también excluyendo Laguna Nichupté) fue de $1.01 \pm 0.83 \mu\text{M}$, mientras que en el interior de Laguna Nichupté la concentración promedio de NID es mucho más elevada y más variable, de $4.80 \pm 4.81 \mu\text{M}$ (Tabla 3.6). Esta diferencia se explica por las altas concentraciones de amonio en el interior de la laguna Nichupté ($3.8 \pm 4.66 \mu\text{M}$), comparadas con las medidas en las zonas arrecifales del PIMCN ($0.91 \pm 0.44 \mu\text{M}$) (Tabla 3.6). Similar a las colectas previas, existe una clara diferencia en la concentración de NID entre ambos ecosistemas, lo que indica que el intercambio de agua entre Laguna Nichupté con el sistema arrecifal es muy limitado. Esta misma diferencias entre ecosistemas se observa con el resto de los nutrientes, particularmente el amonio que constituye la especie dominante de nitrógeno inorgánico disuelto en el Caribe

mexicano. La concentración promedio de amonio en el PIMCN fue de $0.58 \pm 0.59 \mu\text{M}$ y es mayor, aunque menos variable que la suma de nitratos + nitritos ($0.43 \pm 0.70 \mu\text{M}$) (Tabla 3.6). Comparando los valores de amonio en el polígono del parque, sin embargo, es casi 7 veces menor a los valores medidos en el interior de la Laguna Nichupté ($3.88 \pm 4.66 \mu\text{M}$) (Tabla 3.6). Esta misma diferencia entre ambos ecosistemas se observa con el resto de los nutrientes; las concentraciones de fosfatos ($0.24 \pm 0.03 \mu\text{M}$), y los silicatos ($5.71 \pm 4.03 \mu\text{M}$) son menores en el PIMCN comparados a los medidos en el interior de la Laguna Nichupté, de $0.35 \pm 0.14 \mu\text{M}$ y de $14.13 \pm 4.91 \mu\text{M}$, para fosfatos y silicatos, respectivamente (Tabla 3.6). Estas diferencias pueden ser consecuencias del aporte de aguas de escurrimientos y subterráneas, como lo indica las menores salinidades y contenido de oxígeno en el interior de la laguna, cuando se compara con las zonas arrecifales del exterior (Tabla 3.6).

A diferencia de lo observado en otros años, la concentración de NID promedio para el PNAC ($2.15 \pm 2.82 \mu\text{M}$) en mayo de 2014 fue cerca de dos veces mayor a lo observado en el PIMCN. Esta diferencia, sin embargo, se es consecuencia de la una reducción significativa en la concentración del amonio observada en el PIMCN durante la presente colecta de mayo del 2014, comparada con otros años, ya que la concentración de NID en el PNAC ha permanecido relativamente constante en los últimos años (ver abajo). Al igual que en el PIMCN, la concentración de amonio ($1.57 \pm 1.94 \mu\text{M}$) es mucho mayor a la concentración de nitratos + nitritos ($0.59 \pm 1.92 \mu\text{M}$), contribuyendo con un 73% del NID total en los arrecifes de Cozumel (Tabla 3.6). En contraste con las especies de NID, la concentración fosfatos ($0.23 \pm 0.03 \mu\text{M}$) en los arrecifes de Cozumel son prácticamente iguales a los medidos en el PIMCN, mientras que los silicatos son ligeramente mayores ($8.63 \pm 6.82 \mu\text{M}$) en el PNAC, comparados con los medidos en el PIMCN (Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Resumen de los resultados de los parámetros hidrológicos obtenidos para la colecta del mes de mayo de 2014. La concentración de NID (μM) es igual a la suma de todas las especies nitrógeno inorgánico disuelto.

Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancun, Punta Nizuc (PIMCN)

Parámetro	NID (μM)	Nitratos +Nitritos (μM)	Amonio (μM)	Fosfatos (μM)	Silicatos (μM)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Salinidad	Oxígeno (mg/L)
Media	1.01	0.43	0.58	0.24	5.71	27.12	36.60	6.10
D.S.	0.83	0.70	0.59	0.03	4.03	0.59	0.22	0.50
Min	0.10	0.04	0.06	0.19	2.21	25.60	36.21	5.47
Max	3.09	2.84	2.19	0.33	14.28	28.10	36.89	7.45
<i>Laguna Nichupté (Incluida Laguna Bojórquez)</i>								
Media	4.80	0.91	3.88	0.35	14.13	27.00	31.24	5.39
D.S.	4.81	0.95	4.66	0.14	4.91	0.40	3.44	0.61
Min	0.35	0.05	0.08	0.22	2.97	26.20	19.52	4.02

Max	22.28	3.52	22.09	0.91	21.88	27.51	36.34	6.39
Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC)								
Media	2.15	0.59	1.57	0.23	8.63	28.19	35.69	5.98
D.S.	2.82	1.92	1.94	0.06	6.82	0.55	3.71	0.78
Min	0.10	0.04	0.06	0.17	2.52	26.13	19.59	2.72
Max	11.01	9.82	8.66	0.44	33.36	29.20	36.92	6.85

En la colecta de octubre de 2014 no se observan cambios significativos en las tendencias en la concentración de nutrientes y otros parámetros hidrológicos, comparado con los resultados de los últimos años. La concentración promedio del NID (± 1 D.S.) de $2.57 \pm 1.26 \mu\text{M}$ (Tabla 3.7), fue más de dos veces mayor a la medida durante mayo de este mismo año ($1.01 \pm 0.86 \mu\text{M}$, Tabla 3.6), pero ligeramente menor a la medida durante septiembre de 2013 ($2.99 \pm 2.29 \mu\text{M}$, Tabla 3.5). Estas diferencias sugieren que la concentración de nitrógeno se incrementa por efecto de los escurrimientos durante la temporada de lluvias. De la misma manera, el efecto de los escurrimientos también se observa en Laguna Nichupté, en donde la concentración promedio de NID ($9.73 \pm 4.02 \mu\text{M}$, Tabla 3.7) es más del doble que el NID total medido en mayo del mismo año ($4.80 \pm 4.81 \mu\text{M}$, Tabla 3.6). Sin embargo, en el PNAC no se observan diferencias entre ambas épocas del año, la concentración de NID es relativamente más baja ($2.68 \pm 1.62 \mu\text{M}$, Tabla 3.7) al NID medido en Cancún y muy similar al promedio del PNAC medido durante mayo de 2014 ($2.15 \pm 2.82 \mu\text{M}$, Tabla 3.6). En congruencia con los resultados de muestreos previos, el amonio continúa siendo la principal especie de nitrógeno disuelto, este contribuye con el 75, 78 y 70% del NID total en el PIMCN, Laguna Nichupté y el PNAC, respectivamente (Tabla 3.7). A diferencia del nitrógeno, los fosfatos y silicatos han variado muy poco a lo largo del estudio, particularmente los fosfatos que mantienen niveles bajos (promedios de 0.2 y $0.26 \mu\text{M}$, entre el 2011 y 2014).

Tabla 3.7. Resumen de los resultados de los parámetros hidrológicos obtenidos para la colecta del mes de octubre de 2014. La concentración de NID (μM) es igual a la suma de todas las especies nitrógeno inorgánico disuelto.

Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancun, Punta Nizuc (PIMCN)								
Parámetro	NID (μM)	Nitratos +Nitritos (μM)	Amonio (μM)	Fosfatos (μM)	Silicatos (μM)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Salinidad	Oxígeno (mg/L)
Media	2.57	0.64	1.93	0.23	5.43	28.26	36.34	6.95
D.S.	1.26	0.30	1.21	0.02	1.03	0.21	0.07	0.63
Min	1.21	0.31	0.90	0.19	3.82	27.80	36.13	5.76
Max	6.04	1.19	5.42	0.28	7.02	28.52	36.42	8.37
Laguna Nichupté (Incluida Laguna Bojórquez)								
Media	9.73	2.11	7.62	0.32	11.70	27.80	25.31	7.46
D.S.	4.02	1.17	3.13	0.37	4.03	0.54	4.75	0.97

Min	2.52	0.47	1.77	0.16	5.46	26.94	9.09	6.07
Max	16.55	5.42	12.73	1.86	18.77	28.90	30.12	9.29
Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC)								
Media	2.68	0.79	1.88	0.25	6.43	28.15	36.02	6.24
D.S.	1.62	0.98	1.11	0.05	3.90	0.22	1.68	0.65
Min	0.85	0.21	0.63	0.19	2.86	27.38	28.37	4.17
Max	7.51	4.27	4.67	0.36	19.68	28.46	36.52	7.30

3.3.6. Tendencia de nutrientes a largo plazo

Con el propósito de conocer la tendencia a largo plazo en la concentración nutrientes de los dos parques nacionales de la costa norte del Caribe Mexicano (PIMCN y PNAC) y Laguna Nichupté, se compararon gráficamente los resultados de nutrientes en los muestreos desde noviembre de 2006 hasta octubre de 2014 (Fig. 3.1). Aunque en esta figura se incluyen todas las colectas y estas corresponden a periodos de lluvias y secas, es interesante notar una tendencia general bien definida de los nutrientes a largo plazo, con algunas diferencias estacionales que parecen ser menores.

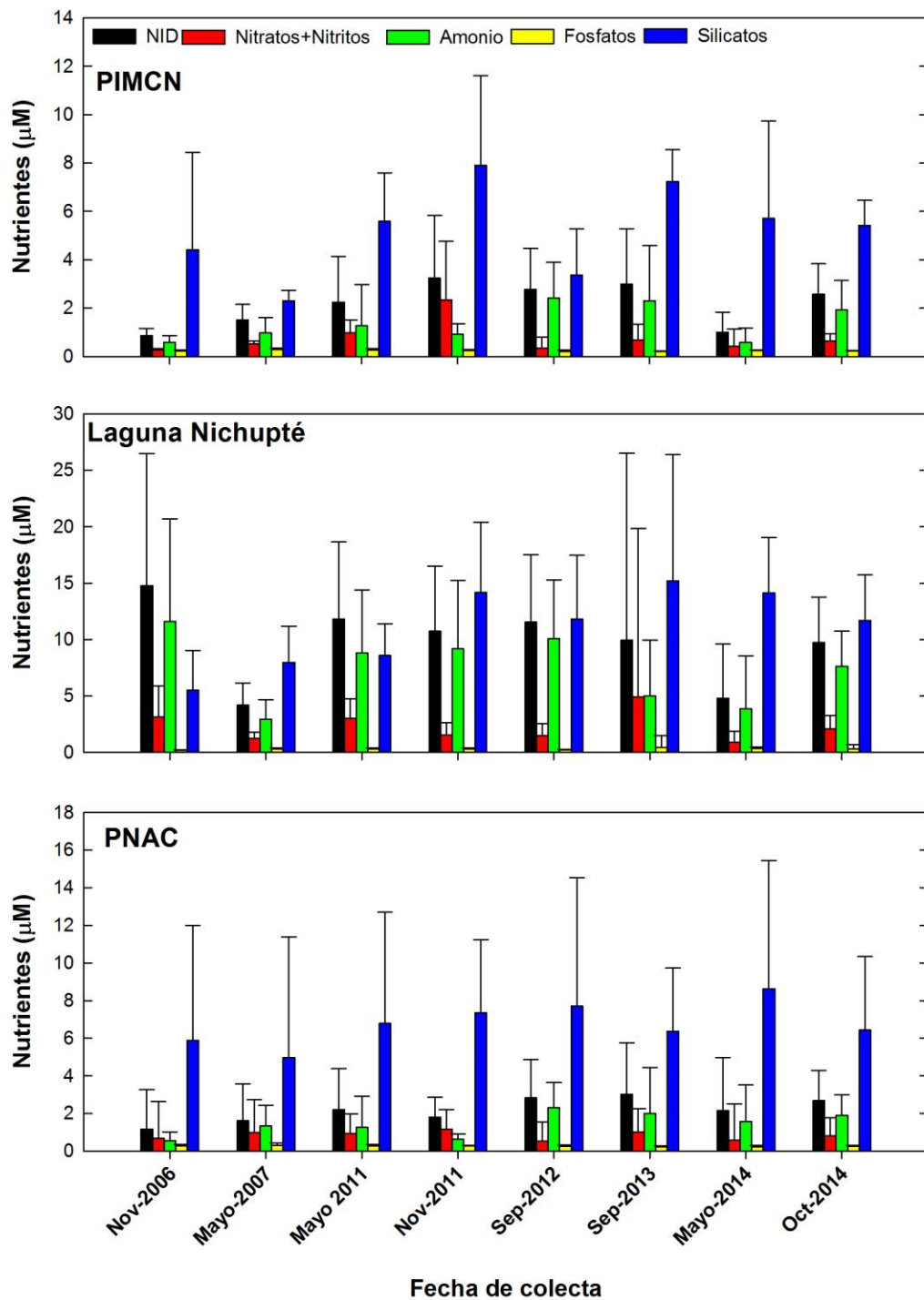


Figura 3.2. Comparación a largo plazo de la concentración promedio de nutrientes (± 1 D.S.) para el PIMCN (A), Laguna Nichupté (B) y el PNAC (C), que incluye todas las colectas.

Además del nitrógeno inorgánico, los fosfatos son los otros nutrientes que juegan un papel clave en la productividad primaria y podrían ser un factor limitante en el crecimiento de macroalgas en las zonas arrecifales. Sin embargo, la concentración promedio de fosfatos es bastante baja ($\leq 0.3 \mu\text{M}$) y homogéneas en todos los sitios y fechas de colectas, incluyendo Laguna Nichupté. Esto es típico de plataformas carbonatadas, donde los sedimentos pueden constituir un sumidero de fosfatos (ej. Lapointe et al., 2004, 2009). Debido a que las bajas concentraciones de fosfatos y que los silicatos, aunque variables, no son nutrientes limitantes para el crecimiento de las macroalgas, en este resumen no enfocaremos a revisar el comportamiento de las especies de nitrógeno.

El NID muestra una tendencia a incrementarse en el PIMCN a partir de 2006 ($\sim 1 \mu\text{M}$ en promedio) alcanzando los valores promedio más altos ($\sim 3 \mu\text{M}$) en noviembre de 2011, manteniéndose alrededor de ese valor en las colectas de septiembre de 2012, 2013 y octubre de 2014, para después caer a niveles de $1 \mu\text{M}$ de NID en mayo de 2014 (Tabla 3.1, Fig. 3.2), valor muy similar al medido en diciembre de 2006 (Fig. 3.2). Estos valores son altos comparados con sitios impactados por nutrientes antropogénicos (por ejemplo los cayos de Florida con valores promedio de $\sim 2 \mu\text{M}$, Lapointe et al. 2004), y aún nuestros valores más bajos de $1 \mu\text{M}$ se considera una concentración umbral que podrían mantener una biomasa de macroalgas sin limitación por nitrógeno (Lapointe et al., 2004).

En el interior de Laguna Nichupté, los valores promedio de NID son significativamente más altos comparados con el área arrecifal, y esta tendencia se ha mantenido a lo largo de todo el periodo estudiado (Fig. 3.1). Estos promedios han variado entre un mínimo de $\sim 5 \mu\text{M}$ en mayo de 2007 y mayo de 2014, hasta promedios cercanos a $\sim 15 \mu\text{M}$ en noviembre de 2006 (Fig. 3.1). Al igual que las zonas arrecifales, el amonio es la especie de nitrógeno más importante en el interior de la laguna, en proporciones mayores de 5:1, con la notable excepción de la colecta de septiembre de 2013, donde los promedios de amonio y de nitratos + nitritos fueron similares (Fig. 3.1). Como hemos mencionado antes, el contraste en las concentraciones de NID dentro y fuera de la laguna, indica que, afortunadamente Laguna Nichupté no parece exportar nitrógeno a las zonas arrecifales.

La tendencia general de los promedios de NID en los arrecifes de Cozumel muestran valores típicamente bajos ($< 2 \mu\text{M}$), durante el periodo de noviembre de 2006 hasta noviembre de 2011, mostrando un incremento ($> 2 \mu\text{M}$) en noviembre de 2012, noviembre de 2013, y en mayo y octubre de 2014 (Fig. 3.1). Como en el caso del PIMCN, el NID promedio en el PNAC es alto comparativamente con los cayos de Florida y suficiente para mantener una biomasa de macroalgas sin limitaciones, al menos de nitrógeno (Lapointe et al. 2004).

Similarmente a lo observado desde los muestreos previos de 2006 y 2007, el fosfato muestra siempre valores muy bajos en todas las zonas arrecifales, incluyendo en el interior de Laguna Nichupté, donde los la concentración promedio de fosfatos son muy similares a las medidas en ambos Parques (PIMCN y PNAC, Fig. 3.2). Los resultados del comportamiento a largo plazo de los nutrientes esenciales, muestran que el fosfato ha mantenido siempre niveles bajos y poco variables, lo que sugiere que el fosfato podría ser el nutriente limitante para la productividad primaria, y el que mantiene un control del sobre-crecimiento de algas a largo plazo.

3.4. Sumario y conclusión del capítulo.

Los resultados obtenidos en las colectas desde mayo el 2011 hasta octubre de 2014, confirman que el amonio constituye la especie dominante de del nitrógeno inorgánico disuelto (NID), en las áreas arrecifales de norte del Caribe mexicano. Las tendencias generales a largo plazo de los nutrientes muestran un claro incremento del NID, desde el 2006 hasta alcanzar una meseta de $\sim 3 \mu\text{M}$ desde noviembre de 2011 hasta septiembre de 2013, para posteriormente disminuir a valores cercanos a $1 \mu\text{M}$ en mayo de 2014. Los valores promedio de NID en el PIMCN, para el periodo 2011 a 2013, son un poco más del doble de los medidos en los años 2006 y 2007, lo que indica que un incremento en los aportes y disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, los resultados del 2014 muestra que la disponibilidad del NID en los arrecifes del norte del Caribe mexicano son altamente variables. En general, nuestros resultados de nutrientes no muestran una evidencia clara de eutrofización en las zonas arrecifales del Caribe Mexicano. Los niveles de nutrientes, con excepción del NID, muestran valores generalmente bajos y dentro de lo esperado para zonas arrecifales del océano (Koop *et al.*, 2001). Por el contrario, las variaciones a largo plazo del NID indican que, aún las concentraciones más baja (de $1 \mu\text{M}$ en promedio), son suficientes para mantener el crecimiento de la biomasa observada de macroalgas en esta región (Lapointe *et al.* 2004). Por otro lado, aunque el NID mantenga en niveles suficientes para mantener esta productividad de macroalgas, es posible que los bajos niveles de fosfatos ($\leq 0.3 \mu\text{M}$) podría ser un factor limitante para su crecimiento en estos arrecifes (Lapointe *et al.*, 2004, 2009).

Como hemos mencionado previamente, los niveles de nutrientes no reflejan claramente un incremento significativo en la columna de agua; sin embargo, el estudio ecológico del bento de este mismo proyecto muestra que existe un claro sobrecrecimiento de macroalgas en la mayoría de los arrecifes estudiados. Mantener esta productividad requiere de una fuente constante de nutrientes a los arrecifes. Aunque los nutrientes oceánicos son típicos de zonas oligotróficas que caracterizan los arrecifes de coral, claramente existen otras fuentes de nutrientes que son más difíciles de

evaluar. Por un lado, los datos generados previamente de $\delta^{15}\text{N}$ en macroalgas y corales (típicamente $<5\text{ ‰}$) en este estudio no muestran evidencias concluyentes de aportes antropogénicos directos (típicamente con un $\delta^{15}\text{N}>10\text{ ‰}$), por lo que las fuentes indirectas pueden ser más importantes en estas áreas. Una de estas fuentes potenciales son las filtraciones de aguas subterráneas, a través de “ojos de agua” (spings), que en el Caribe mexicano constituyen el principal mecanismo de aportes terrestres de nutrientes a la zona costera del norte y occidente de la Península de Yucatán (Herrera-Silveira et al., 2002). Se ha demostrado que este mecanismo aporta cantidades significativas de nitrógeno y fósforo a la columna de agua, aunque como lo muestran los resultados de este estudio, estos aportes no se reflejan claramente en la columna de agua.

4. Resumen de Productos generados por el Proyecto GM006.

Capítulo de libro:

Carriquiry, J.D., Barranco-Servín, L.M., Villaescusa, J.A., Camacho-Ibar, V.F., Reyes-Bonilla, H., and Cupul-Magaña, A.L., 2013. Conservation and sustainability of Mexican Caribbean coral reefs after 40 years of human-caused environmental degradation. In: S.E. Silvern and S.S. Young (Ed.) *Environmental Change and Sustainability*. InTech Open Science Pub. 41 Madison Av., 31st Fl., Manhattan, NY, 10010, USA., (ISBN: 980-953-307-806-4), pp. 29-51. www.intechopen.com

Artículo científico

Barranco L.M., Carriquiry J.D., Rodríguez-Zaragoza F.A., Cupul-Magaña A.L., Villaescusa J.A., Calderón-Aguilera, L.E., 2016. Spatiotemporal variations of coral cover in the northern Mesoamerican Reef System, Yucatan Penninsula (2006–2012). *Scientia Marina*, doi: 10.3989/scimar.04294.23A.

Congresos:

Carriquiry J.D., Villaescusa J.A., Barranco-Servín L.M., Camacho-Ibar V.F., Cupul-Magaña A.L. y Rodríguez-Zaragoza F.A., 2013. Perspectivas ecológicas, hidrológicas e isotópicas sobre un posible riesgo de cambio de fase en los arrecifes coralinos del Caribe Mexicano. VII Congreso Mexicano de Arrecifes Coralinos y I Congreso Panamericano de Arrecifes de Coral. 8-12 octubre, 2013. Mérida, Yucatán, México.

Carriquiry J.D., Villaescusa J.A., Barranco-Servín L.M., Castro-Castro P.G, Cupul-Magaña A.L., Rodríguez-Zaragoza F.A., Reyes-Bonilla H., 2012. Sobrecrecimiento de algas en los arrecifes coralinos del Caribe Mexicano y el riesgo de un cambio de fase: ¿efectos naturales o antropogénicos? II Workshop Antropicosta Iberoamérica 2012. 14-16 noviembre, 2012. Montevideo, Uruguay.

Recursos humanos (Tesistas):

Linda Margarita Barranco Servín. Estado de Conservación de los Arrecifes de Coral del Norte Del Caribe Mexicano. Doctorado en Oceanografía Costera. Facultad de Ciencias Marinas-Instituto de Investigaciones Oceanológicas, U.A.B.C. Examen: enero 2016.

Mariana Berenice Reyna Fabián. Estado de Conservación y Sostenibilidad de los Arrecifes Coralinos de dos Áreas Marinas Protegidas del Norte de Quintana Roo, México. Maestría en Oceanografía Costera. Facultad de Ciencias Marinas-Instituto de Investigaciones Oceanológicas, U.A.B.C. Examen: enero 2015.

Rodríguez Madrigal Teresa. Análisis del Estado de Salud de las Áreas Naturales Protegidas del Norte de Quintana Roo. Maestría en Oceanografía Costera. Facultad de Ciencias Marinas-Instituto de Investigaciones Oceanológicas, U.A.B.C. Examen: enero 2013.

Mendoza Villanueva Daniel. Dinámica del Nitrógeno en Hábitats Costeros del Mar Caribe, Quintana Roo. Maestría en Oceanografía Costera. Facultad de Ciencias Marinas-Instituto de Investigaciones Oceanológicas, U.A.B.C. Examen: 28 de enero 2013.

5. Referencias.

Colwell R.K. 2013. *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9.* Persistent URL<purl.oclc.org/estimates>

Frozen, R. and D. Pauly Editors. 2009. *FishBase.* World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org

Heikoop J.M., Dunn J.J., Risk M.J., Tomascik T., Schwarcz H.P., Sandeman I.M. and Sammarco P.W., 2000a. $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ of coral tissue show significant Inter-reef variation. *Coral Reefs* 19,189-193.

Heikoop J.M., Risk M.J., Lazier A.V., Edinger E.N., Jompa J., Limmon G.V., Dunn J.J., Browne D.R., Schwarcz H.P., 2000b. Nitrogen-15 signals of anthropogenic nutrient loading in reef corals. *Marine Pollution Bulletin.* 40,628-636.

Koop, K., Booth D., Broadbents A., Brodie J., Bucher D., Capone D., Colls J., Dennison W., Erdman M., Harrison P., Hoegh-Guldberg O., Hutchings P., Jones G.B., Larkum A.W.D., O'neil J., Steven A., Tentori E., Ward S., Williamson J. Yellowless D. 2001. ENCORE: The effect of nutrient enrichment on coral reefs. Synthesis of results and conclusions. *Marine Pollution Bulletin* 42, 91-120.

Lapointe B.F., Barile P.J., Matzie W.R., 2004. Anthropogenic nutrient enrichment of seagrass and reef communities in the Lower Florida Keys: discrimination of local versus regional nitrogen sources. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 308, 23–58.

Lapointe B.E., Langton R., Bedford B.J., Potts A.C., Day O., Hu Ch., 2009. Land-based nutrient enrichment of the Buccoo Reef Complex and fringing coral reefs of Tobago, West Indies. *Marine Pollution Bulletin* 60, 334–343.

Marion, G.S., Dunbar, R.B., Mucciarone, D.A., Kremer J.N., Lansing, J.S., Arthawiguna. 2005. Coral skeletal $\delta^{15}\text{N}$ reveals isotopic traces of an agricultural revolution. *Marine Pollution Bulletin* 50:931-944.

Marks, K.W. and Klomp, K.D. 2003. Fish biomass conversion equations. *Atoll Research Bulletin* 496: 625-628.

- Mutchler, T., Dunton K.H., Townsend-Small A., Fredriksen S., Rasser M.K., 2007. Isotopic and elemental indicators of nutrients sources and status of coastal habitats in the Caribbean Sea, Yucatan Peninsula, Mexico. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 74, 449-457.
- Sammarco P.W., Risk M.J., Schwarcz H.P., Heikoop J.M., 1999. Cross-continental shelf trends in coral $\delta^{15}\text{N}$ on the Great Barrier Reef: further consideration of the reef nutrient paradox. *Marine Ecology Progress Series*, 180:131-138.
- Sigman D.M., Casciotti K.L., Andreani, M., Barford C., Galanter M., Bohlke J.K., 2001. A bacterial method for the nitrogen isotopic analysis of nitrate in seawater and freshwater. *Analytical Chemistry*, 73, 4145-4153.
- Swart P.K., Saeid A., Lamb K., 2005. Temporal and spatial variation in the $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of coral tissue and zooxanthellae in *Montastrea faveolata* collected from the Florida reef tract. *Limnology and Oceanography* 50(4): 1049-1058.
- WWF 2006. *Mejores prácticas de pesca en arrecifes coralinos. Guía para la colecta de información que apoya el manejo de Pesquerías Basado en Ecosistemas*. WWF México/Centroamérica. 81 pp.
- Zar, J.H. 1996. *Biostatistical Análisis*. Third Edition. Prentice Hall. NW, USA.