

Informe final* del Proyecto GQ002

Monitoreo de la condición trófica de la columna de agua de los ambientes costeros del Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizúc: Segunda Etapa

Responsable: Dr. Jorge Alfredo Herrera Silveira
Institución: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida
Departamento de Recursos del Mar
Dirección: Carretera Antigua a Progreso Km 6, Cordemex, Mérida, Yuc, 97310 , México
Correo electrónico: jherrera@mda.cinvestav.mx
Teléfono/Fax: (999) 942 9462 Fax: (999) 9812334
Fecha de inicio: Octubre 15, 2008.
Fecha de término: Mayo 20, 2015.
Principales resultados: Informe final, Hojas de cálculo.
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Herrera-Silveira, J. A., Cortés Balán, T. O., Ramírez Ramírez, J., y I. Osorio 2015. Monitoreo de la condición trófica de la columna de agua de los ambientes costeros del Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizúc: Segunda Etapa. Proyecto Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida. **Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. GQ002**, México D.F.

Resumen:

En el Golfo de California los arrecifes son mayoritariamente rocosos. En ellos podemos distinguir varios hábitats como son áreas cubiertas por sargazo, bloques, paredes, manglares, áreas arenosas, rodolitos entre otros, siendo las comunidades de coral un hábitat considerado raro, representando menos del 5% del área total. En el área de Loreto e islas circundantes el desarrollo de áreas de coral es escaso. Se tiene información, principalmente de peces, que nos indica que hay asociaciones características en hábitat coralino y en paredes en la región de Espíritu Santo. El proyecto persigue determinar, mediante un monitoreo sistemático de 5 años, la tendencia hacia la recuperación estructural y funcional del área primaria de impacto producido por el encallamiento del buque tanque Lázaro Cárdenas II de PEMEX, así como del área de impacto secundaria posterior a la finalización de la limpieza de pedacera coralina sobre los corales vivos. Para ello se obtendrán una serie de indicadores como la tasa de reclutamiento de nuevos corales sobre los módulos y área primaria; tasa de crecimiento y supervivencia de coral en el área primaria, secundaria y testigos, cuantificación de la colonización de los módulos y sustrato del área primaria por epibiontes no coralinos El Parque Nacional "Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizúc" (Parque Cancún), Quintana Roo, incluye diferentes ecosistemas costeros que incluyen praderas de pastos marinos, aguas costeras someras, lagunas arrecifales, aguas marinas y arrecifes de coral, los cuales se encuentran entre los de mayor presión por turismo y sujeto a múltiples fuente de impacto. A través de este proyecto se implementó un monitoreo en los tres polígonos del Parque Nacional "Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizúc". Se caracterizó la calidad trófica de la columna de agua y se encontró que las estaciones costeras presentan niveles de eutrofización mayores a las marinas y que el polígono de Punta Nizúc tiene los niveles de eutrofización más altos del Parque. Se generó el marco de referencia básico de calidad del agua con lo cual se pretende que sean apoyadas acciones tendientes a favorecer la calidad del agua, no sólo para mantener las actividades náutico-turísticas de la zona, sino con énfasis en la integridad de los procesos ecológicos responsables de la alta biodiversidad de los sistemas acuáticos del Parque Cancún.

-
- * 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.



CINVESTAV-IPN



CONABIO

Nombre del proyecto:

“MONITOREO DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DE LA COLUMNA
DEL AGUA DE LOS AMBIENTES COSTEROS DEL PARQUE
MARINO COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, PUNTA
CANCÚN Y PUNTA NIZUC: SEGUNDA ETAPA”.

**Proyecto GQ002
Informe Final**

Coordinador Técnico del Proyecto:

Dr. Jorge A. Herrera Silveira

Participantes:

M. en C. T. Octavio Cortés Balán.

Biol. Javier Ramírez Ramírez.

M. en C. Iliana Osorio.

Septiembre 2014

CONTENIDO ÍNDICE	PÁGINA
1. Introducción	3
2. Antecedentes	5
3. Métodos	7
4. Resultados	12
4.1. Monitoreo	12
4.1.1. Isla Mujeres	13
4.1.1.1. Estaciones marinas	13
4.1.1.2. Estaciones costeras	16
4.1.2. Punta Cancún	18
4.1.2.1. Estaciones marinas	18
4.1.2.2. Estaciones costeras	20
4.1.3. Punta Nizuc	22
4.1.3.1. Estaciones marinas	22
4.1.3.2. Estaciones costeras	24
4.2. Diagnostico	27
4.2.1. Isla Mujeres	28
4.2.2. Punta Cancún	32
4.2.3. Punta Nizuc	36
5. Conclusiones	41
6. Literatura citada	43

1. Introducción

Las características geohidrológicas, oceanográficas y ecológicas regionales de la Península de Yucatán (PY), han favorecido a: que tenga un acuífero muy vulnerable a la contaminación de todo tipo, que esta contaminación tenga como destino final las costas, y que los ecosistemas que ofrecen múltiples servicios ambientales a la sociedad hayan sido impactados o estén en riesgo de serlo. Ejemplos de esto se reflejan en cambios de calidad del agua en lagunas costeras y en la zona marina de diferentes puntos de la PY (Herrera-Silveira, 2006), aumento en la frecuencia de los florecimientos algales nocivos “mareas rojas” (Álvarez-Góngora *et. al.*, 2006), cambios de la vegetación acuática sumergida (Carruthers, *et. al.*, 2005; Herrera-Silveira *et. al.*, 2008), y aumento de macroalgas sobre los arrecifes de coral (Huitron, com. pers., 2008).

Uno de los principales usos que se desprende de los servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas costeros de la PY, y en especial del estado de Quintana Roo es el turismo, el cual está basado en el atractivo escénico de sus playas y belleza de sus aguas, y a lo cual habría que agregar a los arrecifes de coral que mucho dependen de la calidad de estas aguas.

Sin embargo, el agua por ser un elemento que se encuentra en continuo movimiento tanto vertical como horizontal, se convierte en un componente de conectividad entre los ecosistemas, y en el caso de la Península de Yucatán es mucho más notorio. En lo general, el proceso se inicia con las precipitaciones que se infiltran rápidamente al acuífero debido a la naturaleza cárstica del sustrato de la Península de Yucatán. Durante esta infiltración el agua transporta los contaminantes de las aguas residuales de las actividades agropecuarias, desarrollos urbanos y turísticos, ya que la gran mayoría de la infraestructura de estas actividades y desarrollos no cuenta con sistemas de tratamiento de sus aguas residuales. Ya en el acuífero el agua sigue la trayectoria hacia el mar, descargando en los ecosistemas de la zona costera tanto en forma difusa a través de fracturas de la roca, como a través de manantiales costeros (Fig. 1).

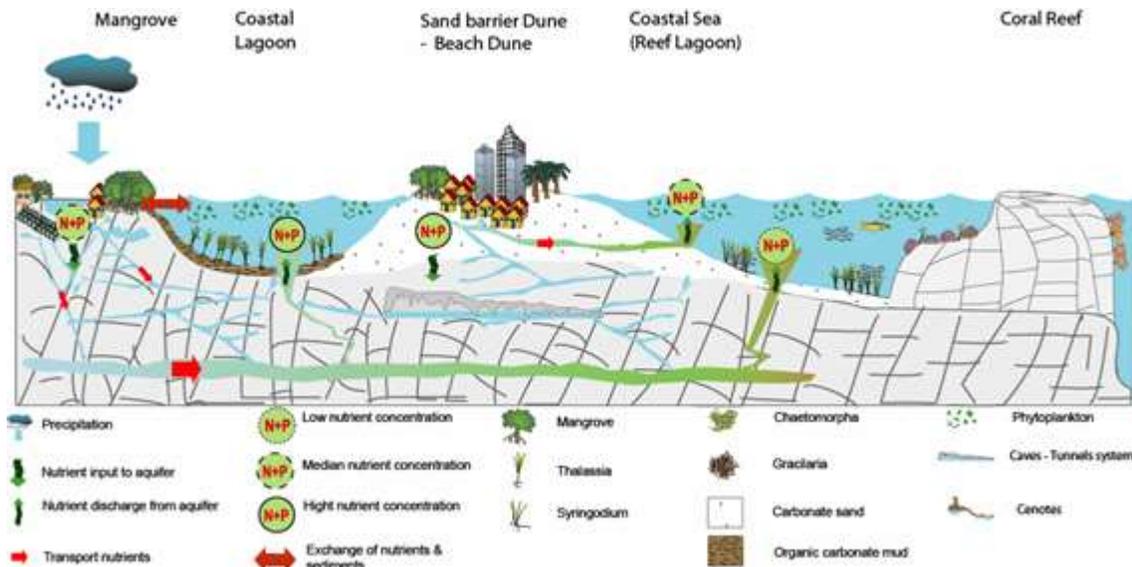


Figura 1. Diagrama conceptual de las variables y procesos tanto de causa como de efecto del deterioro de la calidad del agua en costas del Caribe mexicano.

En el caso específico de la zona de Cancún, debido a los indicios de impacto principalmente en el sistema lagunar Nichupté-Bojórquez y a las intensas actividades en zonas específicas de la costa de Cancún e Isla Mujeres, se decidió por parte de la SEMARNAT la creación del Parque Marino Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc (1996), cuyo objetivo principal es la de coadyuvar al manejo sustentable de la zona.

Debido a que el elemento natural que domina es el agua, y que no se contaba con la información básica para aplicar acciones de manejo o seguimiento que favorezcan esa tarea de desarrollo sustentable, y con el conocimiento de los antecedentes de contaminación orgánica de algunos de los ecosistemas acuáticos adyacentes al parque (Reyes y Merino, 1991), se consideró necesario generar el marco de referencia básico para apoyar las acciones que permitan ofrecer la calidad del agua suficiente, no sólo para mantener las actividades náutico-turísticas de la zona, sino con énfasis en la integridad de los procesos ecológicos responsables de la riqueza de flora y fauna de los sistemas acuáticos del Parque Marino (Cortés-Balán 2006).

La calidad del agua se determina al identificar una serie de características, que están asociadas con los contaminantes o con procesos que sirven como indicadores para poder calificarla, todo ello para determinar los valores máximos permisibles que ejerzan presión a la vida acuática o que permita al ser humano emplear el agua para su uso y

consumo, cualquiera que éste sea (recreativo, agrícola, industrial, consumo ó contacto directo, etc.) (Herrera-Silveira *et. al.*, 1998).

En el caso específico del Parque Marino de Cancún, diferentes indicadores señalan los riesgos al deterioro de la calidad del agua, principalmente por aportes de nutrientes inorgánicos disueltos que favorecen al proceso de eutrofización (Herrera-Silveira *et. al.*, 2008).

Las consecuencias generalizadas de la eutrofización a nivel ecológico han sido: la pérdida de superficie de pastos marinos, incremento de clorofila-a, proliferación de macroalgas o epífitos sobre los pastos, reducción de luz de la columna de agua, cambios de comunidades planctónicas dominadas por diatomeas a dominadas por flageladas, reducción de vegetación acuática sumergida, bajo nivel de oxígeno disuelto, florecimientos masivos de fitoplancton que en algunas ocasiones puede ser nocivo, con lo cual se trasladan sus efectos a la calidad del agua, a la trama trófica y pesquerías, con cambios en repartición de producción primaria, por ultimo las consecuencias no deseadas llegan a la población humana en forma de enfermedades infecciosas (Eipstein, 1998).

Los objetivos de este programa el cual inicio en 2001 con apoyos del CONACYT y de la CONANP a través del Parque Marino, y ahora con recursos de la CONABIO, son los de llevar a cabo la caracterización, el diagnóstico y dar seguimiento al monitoreo de la calidad del agua de los Polígonos del Parque Marino. La caracterización y diagnóstico se pueden revisar en Herrera-Silveira *et. al.*, 2008a, mientras que en el presente documento se realiza el monitoreo. Este documento puede ser de utilidad como marco metodológico y antecedente para otras áreas costeras, sean éstas protegidas o no, con lo cual se coadyuvaría a la definición de las acciones de conservación, saneamiento, rehabilitación, y en última instancia de manejo sustentable de áreas costeras expuestas a uso turístico intensivo con bases técnicas sólidas.

2. Antecedentes

El estudio de calidad del agua de los polígonos del Parque Marino Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, se inició en el año 2001 a través del proyecto denominado: *Hidrología y Calidad del agua del Parque Marino Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, Quintana Roo.*, bajo el financiamiento del SISIERRA-CONCyT. En este proyecto los muestreos fueron bimensuales durante un ciclo anual (enero a noviembre), en cuyas estaciones de muestreo se midieron variables físicas y químicas tales como: salinidad, temperatura,

transparencia, fluorescencia (clorofila-a “in vivo”) y adicionalmente al muestreo de las variables antes mencionadas, se tomaron muestras superficiales de cada una de las estaciones previamente establecidas con el fin de conocer las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos y clorofila-a de la columna de agua, con esta información se procedió a identificar el estado trófico de cada uno de los polígonos que conforman el Parque Marino de Cancún.

El seguimiento de las características del agua e indicadores de la condición trófica de los polígonos del Parque Marino de Cancún, se han realizado a través de proyectos de calidad del agua y de pastos marinos apoyados por la CONANP a través del Parque Marino, por lo que considerando todos los muestreos que se han realizado, el grupo de trabajo del Laboratorio de Producción Primaria del CINESTAV-IPN, Unidad Mérida, cuenta con 40 muestreos por polígono, **incluyendo las épocas de nortes y secas del 2014**, el número de estaciones por polígono ha sido de: 15 estaciones en Isla Mujeres (12 costeras y 3 marinas), 18 estaciones en Punta Cancún (8 costeras y 10 marinas) y 16 estaciones en Punta Nizuc (10 costeras y 6 marinas), el número total de muestras analizadas es de >1981 y el número total de análisis que se han realizado hasta la fecha es de >19,232.

El parque Marino se localiza en la Península de Yucatán, al noreste del Estado de Quintana Roo, frente a las costas de los municipios de Isla Mujeres y Benito Juárez, dentro de las aguas marinas costeras del Mar Caribe, con una superficie de 8,673 hectáreas distribuidas en tres polígonos. En cada polígono del Parque Marino Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc se establecieron redes de estaciones poniendo énfasis en las zonas de mayor interés ecológico y recreativo (áreas costeras). En el polígono Isla Mujeres se tienen 15 estaciones, en el polígono de Punta Cancún 18 estaciones y en el polígono de Punta Nizuc 16 estaciones (Fig. 2), todas ellas georeferenciadas.

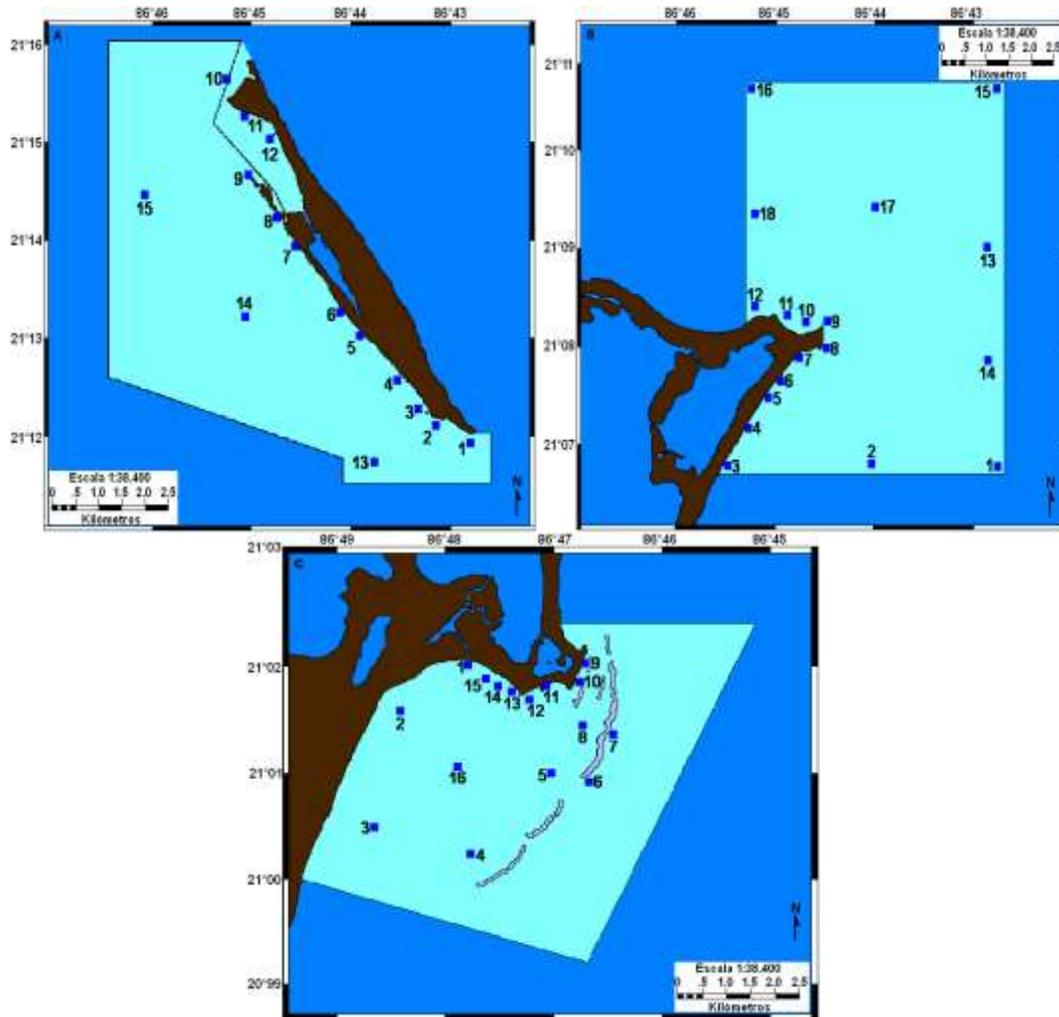


Figura 2. Ubicación de las estaciones discretas en los polígonos a) Isla Mujeres, b) Punta Cancún y c) Punta Nizuc del Parque Cancún.

3. Métodos

Se realizaron mediciones “in situ” de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto con una sonda multiparámetrica YSI 6600 (Fig. 3) y el coeficiente de extinción de luz con un irradiómetro Licor LI-1000 con sensor esférico. Por otra parte se tomaron muestras de agua (2 litros) a nivel superficial con una botella tipo VanDorn. Esta muestra se empleó para las determinaciones de las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos y clorofila-a, ya que estas variables han demostrado su importancia como descriptoras de las condiciones de estado trófico de los polígonos durante el desarrollo de los diferentes proyectos. Cada muestra fue transferida a botellas de plástico inerte color ámbar conservándolas en frío hasta su análisis en el laboratorio.



Figura 3. Sonda multiparámetrica YSI 6600.

En el laboratorio se procedió a filtrar 1 litro de agua en membranas Millipore de 0.45 μm de tamaño de poro para la determinación de clorofila-a. El volumen filtrado se empleó para los análisis de nutrientes que serán todos ellos de tipo colorimétrico utilizando un espectrofotómetro (en nuestro caso fue Spectronic Genesys 2) (Fig. 4) de ancho de banda de 2 nm.



Figura 4. Espectrofotómetro Spectronic Genesys 2

Las técnicas para los análisis de laboratorio han sido ampliamente utilizadas en investigación y monitoreo de zonas costeras, forman parte de los análisis que la EPA de E.U.A., hace para la determinación de calidad del agua de sus ecosistemas costeros. La descripción detallada de las técnicas de análisis se pueden encontrar en Strickland y Parsons (1972) y en Parsons *et. al.*, 1984, a continuación se hace una descripción general:

Amonio (NH_4): por el método que se basa en la formación de color azul por la reacción de hipoclorito de sodio y fenol con el amonio en un medio alcalino en presencia de nitroprusiato de sodio, como catalizador, esta reacción es de mucha sensibilidad permitiendo detectar valores de hasta 0.1 $\mu\text{mol/l}$. La extinción del azul de indofenol

formado con el amonio se mide por espectrofotometría a 640 nm utilizando una celda de 1 cm.

Nitratos (NO_3): de acuerdo al método de reducción a nitritos, la cual se lleva a cabo al pasar la muestra a través de una columna de cadmio-cobre (Fig. 5). Una vez que se hayan reducido los nitratos se lleva a cabo la diazotización con sulfanilamida y naftil para formar el colorante azoico de los nitritos, esta reacción es de mucha sensibilidad permitiendo detectar valores de hasta $0.05 \mu\text{mol/l}$, cuya extinción se mide espectrofotométricamente utilizando una celda de 1 cm a 543 nm de longitud de onda.

Nitritos (NO_2): por medio del método de la formación de un color rosa producido a un pH de 2.0 a 2.5 por el acoplamiento del ácido sulfanílico diazotizado con N (1-Naftil) etilendiamina diclorhidratado, esta reacción es de mucha sensibilidad permitiendo detectar valores de hasta $0.01 \mu\text{mol/l}$, cuya extinción se mide espectrofotométricamente utilizando una celda de 1 cm a 543 nm de longitud de onda.

El **fósforo reactivo soluble** (fosfato) (PO_4): se determina según el método basado en la reacción de estos compuestos con el molibdato de amonio en un medio ácido, continuando con una reducción del ácido fosfomolibdico a través de una mezcla de ácido ascórbico y tártrato de antimonio y potasio. El color desarrollado es azul y su intensidad está en función de la concentración de fosfatos, esta reacción es de mucha sensibilidad permitiendo detectar valores de hasta $0.03 \mu\text{mol/l}$. La extinción de molibdato azul se mide con el espectrofotómetro a 885 nm.

La determinación de **silicato** (SiO_4) en el agua se basa en la formación del ácido silicomolibdico, que al igual que el fosfato, cuando una muestra es tratada con reactivo de molibdato en un medio ácido, se forma un complejo químico que desarrolla color azul que es proporcional a la concentración de sílice, esta reacción es de mucha sensibilidad permitiendo detectar valores de hasta $0.1 \mu\text{mol/l}$. La extinción se mide espectrofotométricamente a 810 nm con una celda de 1 cm.



Figura 5. Método de reducción a nitritos a través de una columna de cadmio-cobre.

Los análisis de la **clorofila-a** (Cl-a) en la columna de agua se realizan por medio de la extracción con acetona al 90% de acuerdo a las descripciones de Jeffrey *et. al.*, 1997, cuya técnica incluye entre algunos pasos, los filtros de ester celulosa que se solubilizan con 10 ml de acetona al 90% (Fig. 6) en unos tubos para centrifuga con tapa de rosca, después se dejan reposar durante 24 horas en la oscuridad y posteriormente se centrifugan a 2,500 rpm durante 15 minutos (Fig. 7). A continuación con la ayuda de una pipeta Pasteur se llenan las celdas de cuarzo de 1 cm de paso de luz y se lee la absorbancia de cada muestra a las siguientes longitudes de onda: 750, 663, 664, 665, 647, 645, 630, 510, 480 y 430 nanómetros, con un espectrofotómetro marca Spectronic modelo Génesis 2 (Fig. 8).



Figura 6. Colocación de filtros de ester celulosa con acetona al 90% para la extracción de la clorofila-a.



Figura 7. Colocación de tubos con muestras de clorofila-a en la centrifuga.



Figura 8. Espectrofotómetro donde se realiza la lectura de absorbancias.

Considerando las recomendaciones de la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América (EPA 1992), en el caso de los Polígonos del Parque Marino de Cancún, estos valores de referencia se estimaron de la siguiente manera: con los datos colectados en cada polígono durante el periodo de estudio (2001-2005; sin considerar las condiciones que dejó el huracán Willma), se procedió a calcular la mediana, el primer y el tercer cuartil de cada una de las variables analizadas, lo que dio como resultado los valores de referencia para las estaciones marinas y costeras de los polígonos de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, los cuales se pueden observar en las tablas 1 a la 6. En el caso específico del oxígeno disuelto el primer cuartil se considera como malo ■, los valores comprendidos entre el primer y tercer cuartil incluyendo la mediana se considera normal ■, y el tercer cuartil se considera bueno ■, para las variables como Nitrógeno Orgánico Disuelto (DIN), Fósforo Reactivo Soluble (FRS), Sílice Reactivo Soluble (SiRS) y Clorofila-a (Cl-a), el primer cuartil se considera como bueno ■, los valores comprendidos entre el primer y tercer cuartil incluyendo la mediana se considera normal ■ y el tercer cuartil se considera malo ■.

Tabla 1. Valores de Referencia de las estaciones marinas del polígono Isla Mujeres.

	1er Cuartil	Mediana	3er Cuartil
Oxígeno Disuelto (mg/l)	< 3	3 - 7	> 7
DIN (µmol/l)	< 1.76	1.76 - 3.0	> 3
FRS (µmol/l)	< 0.06	0.06 - 0.2	> 0.2
SiRS (µmol/l)	< 0.8	0.8 - 5.6	> 5.6
Cl-a (mg/m ³)	< 0.23	0.23 - 0.33	> 0.33

Tabla 2. Valores de Referencia de las estaciones costeras del polígono Isla Mujeres.

	1er Cuartil	Mediana	3er Cuartil
Oxígeno Disuelto (mg/l)	< 3	3 - 7	> 7
DIN (µmol/l)	< 3	3 - 4.4	> 4.4
FRS (µmol/l)	< 0.16	0.16 - 0.24	> 0.24
SiRS (µmol/l)	< 2.5	2.5 - 8.3	> 8.3
Cl-a (mg/m ³)	< 0.3	0.3 - 0.6	> 0.6

Tabla 3. Valores de Referencia de las estaciones marinas del polígono Punta Cancún.

	1° Cuartil	Mediana	3° Cuartil
Oxígeno Disuelto (mg/l)	< 3	3 - 7	> 7
DIN (µmol/l)	< 3	3 - 4	> 4
FRS (µmol/l)	< 0.04	0.04 - 0.07	> 0.07
SiRS (µmol/l)	< 1.4	1.4 - 2.5	> 2.5
Cl-a (mg/m³)	< 0.2	0.2 - 0.3	> 0.3

Tabla 4. Valores de Referencia de las estaciones costeras del polígono Punta Cancún.

	1° Cuartil	Mediana	3° Cuartil
Oxígeno Disuelto (mg/l)	< 3	3 - 7	> 7
DIN (µmol/l)	< 3.8	3.8 - 5.6	> 5.6
FRS (µmol/l)	< 0.04	0.04 - 0.15	> 0.15
SiRS (µmol/l)	< 1.7	1.7 - 4	> 4
Cl-a (mg/m³)	< 0.25	0.25 - 0.4	> 0.4

Tabla 5. Valores de Referencia de las estaciones marinas del polígono Punta Nizuc.

	1° Cuartil	Mediana	3° Cuartil
Oxígeno Disuelto (mg/l)	< 3	3 - 7	> 7
DIN (µmol/l)	< 1.5	1.5 - 25	> 2.5
FRS (µmol/l)	< 0.1	0.1 - 0.2	> 0.2
SiRS (µmol/l)	< 2.15	2.15 - 6.5	> 6.5
Cl-a (mg/m³)	< 0.25	0.25 - 0.35	> 0.35

Tabla 6. Valores de Referencia de las estaciones costeras del polígono Punta Nizuc.

	1° Cuartil	Mediana	3° Cuartil
Oxígeno Disuelto (mg/l)	< 3	3 - 7	> 7
DIN (µmol/l)	< 3.5	3.5 - 4.2	> 4.2
FRS (µmol/l)	< 0.1	0.1 - 0.25	> 0.25
SiRS (µmol/l)	< 3	3 - 8.5	> 8.5
Cl-a (mg/m³)	< 0.3	0.3 - 0.4	> 0.4

De acuerdo a los intervalos de referencia específico para cada variable, se considero importante el resultado de este análisis como una regla de decisión.

4. Resultados

4.1. Monitoreo

Al analizar los resultados de las variables en las diferentes épocas climáticas en los años de muestreo en los diferentes polígonos: Isla Mujeres (Figs. 9 y 10), Punta Cancún (Figs. 11 y 12) y Punta Nizuc (Figs. 13 y 14), y al comparar con los valores de referencia se observó que existe un alto grado de sensibilidad en estos intervalos, además de que confirma que las técnicas empleadas son apropiadas y sobre todo robustas y confiables, ya que se pudieron detectar los cambios que se están dando en las diferentes épocas y años de muestreo.

De acuerdo a los intervalos de referencia, sólo en algunos muestreos se rebasa el límite máximo, ya que en general, los valores de las distintas variables de los polígonos se mantienen entre los límites que definen una condición “regular” y “buena” del agua de acuerdo a los valores de referencia específicos para cada sitio (Tablas 1 a 6).

En general, se observa que en los tres polígonos hay un patrón de variación estacional de las concentraciones de las diferentes variables, adicionalmente, se detecta con claridad el efecto de eventos de gran magnitud como los huracanes -decremento de Oxígeno Disuelto y el aumento de las concentraciones de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN), Fósforo Reactivo soluble (FRS), Sílice Reactivo soluble (SiRS) y Clorofila-a (Cl-a)-, tal y como sucedió durante el paso del Huracán Willma en la época de lluvias del 2005, y el aporte de nutrientes vía descargas de las lagunas interiores o filtraciones de la infraestructura turística.

A continuación se describen los cambios relevantes de la variación temporal y podrán servir de referencia en el programa de monitoreo.

4.1.1. Isla Mujeres

4.1.1.1. Estaciones marinas

El oxígeno disuelto presentó una condición estable durante todo el período del 2008-2014, manteniendo una condición normal durante 7 años. En la época de nortes, el valor mínimo de oxígeno (5.50 mg/l) se registró en el 2008 y en el 2014 tuvo un ligero aumento de 6.21, mientras que en la época de secas en el 2008 se registró un valor de 6.63 mg/l y en el año 2014 el valor fue menor (5.55 mg/l) (Fig. 9a).

El DIN en la época de nortes ha presentado un aumento en sus concentraciones, que van de 0.89 $\mu\text{mol/l}$ en el 2008 a 1.70 $\mu\text{mol/l}$ en el 2014, pasando de una condición buena a una normal; a diferencia de la época de secas en donde el valor registrado en el 2008

(2.03 $\mu\text{mol/l}$) presenta una disminución (0.69 $\mu\text{mol/l}$) en el 2014, cambiando de esta manera de una condición normal a una buena (Fig. 9b).

Como se aprecia en la figura 9c los valores de FRS han sufrido un ligero incremento en sus concentraciones durante la época de nortes, que van de 0.04 a 0.15 $\mu\text{mol/l}$ del 2008 al 2014, y en la época de secas presentan una disminución de 0.20 a 0.16 $\mu\text{mol/l}$ (2008-2014), manteniendo una condición normal en ambas épocas.

En relación a las concentraciones promedio de Sílice Reactivo Soluble (Fig. 9d), en nortes y secas del 2008 al 2014, la tendencia es un decremento con una condición normal, con valores que van de 2.40 a 1.91 $\mu\text{mol/l}$ en la época de nortes, y de 8.93 a 1.61 $\mu\text{mol/l}$ en secas.

La clorofila-a, cuyo comportamiento se puede observar en la figura 9e presentó una disminución de valores del 2008 al 2014, que va de 0.27 a 0.25 mg/m^3 en la época de nortes, manteniendo una condición normal y durante la época de secas presenta valores que van de 0.41 a 0.22 mg/m^3 , cambiando su condición de mala a buena.

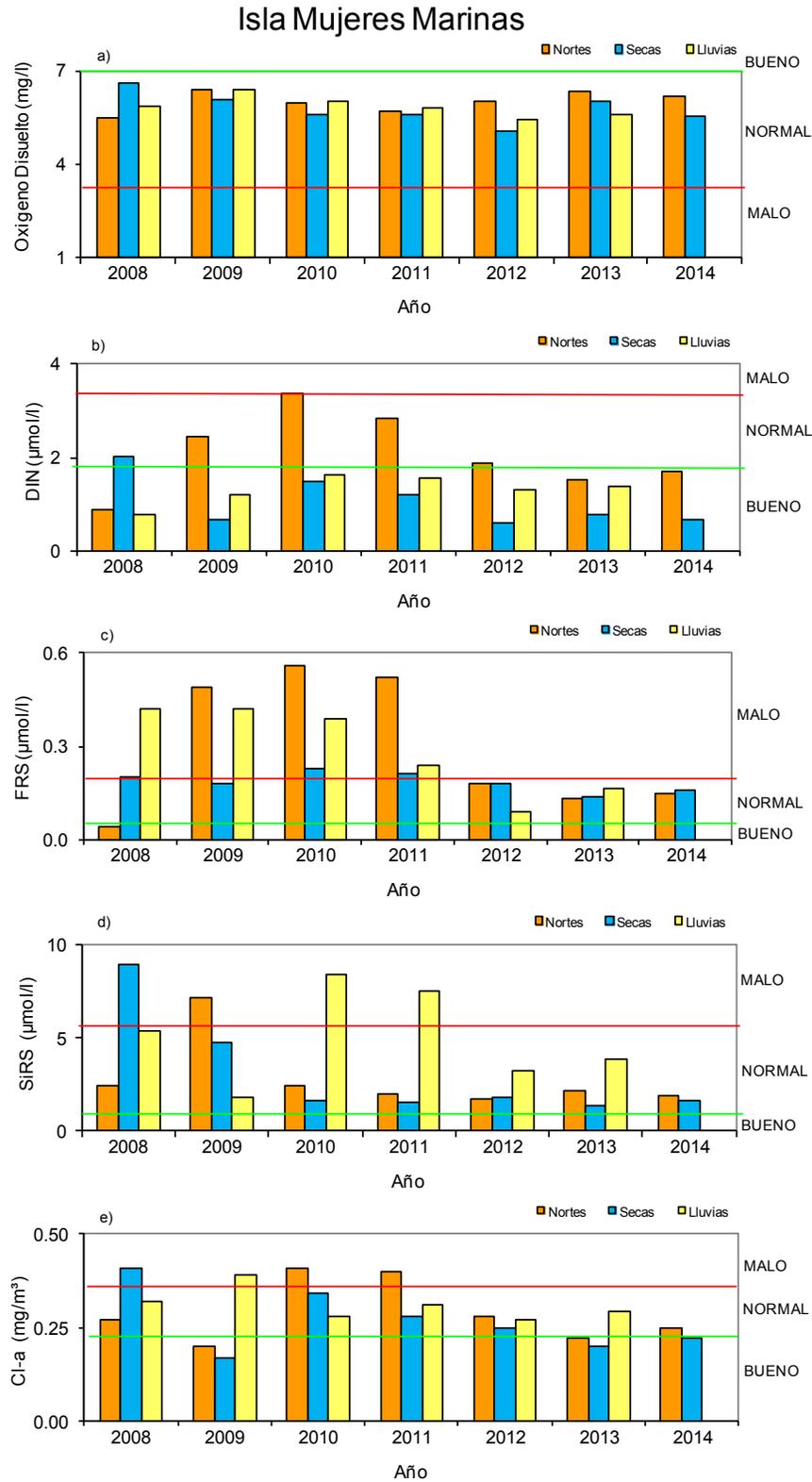


Figura 9. Distribución de a) Oxígeno disuelto, b) Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN), c) Fósforo Reactivo Soluble (FRS), d) Sílice Reactivo Soluble (SiRS) y e) Clorofila-a (Cl-a) en las estaciones marinas en el polígono de Isla Mujeres en el periodo de estudio.

4.1.1.2. Estaciones costeras

En la figura 10a, se aprecia que las concentraciones promedio de oxígeno han mantenido un comportamiento homogéneo en todo el período (2008-2014), con valores de 6.00 mg/l en el 2008 y de 6.46 mg/l en el 2014 (nortes), y de 6.89 en el 2008, y 5.67 en el 2014 mg/l (secas) con una condición “normal” en los tres casos.

Por lo que respecta al DIN (nitrógeno inorgánico disuelto = $\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$), esta variable registro un aumento en la época de nortes, pasando de una condición buena a normal; mientras que en la época de secas sus valores disminuyeron cambiando de una condición mala registrada en el año 2008, a una condición buena para el 2014 (Fig. 10b).

El análisis de la figura 10c mostró una tendencia que presentó el Fósforo Reactivo Soluble, en donde las concentraciones aumentaron del 2008 al 2014 pasando de una condición buena a una mala en la época nortes, mientras que en la de secas la condición mala se mantuvo constante.

El SiRS se ha mantenido con incrementos y decrementos entre los años 2008-2014, en los cuales se muestra un aumento en la época de nortes y una disminución en secas. A pesar de estos cambios, la condición se mantiene normal en todo el período (Fig. 10d).

El comportamiento de la clorofila-a, el cual se registro en la figura 10e fue en aumento durante la época de nortes con valores que van de 0.18 mg/m^3 en el 2008 a 0.40 mg/m^3 en el 2014, pasando de una condición buena a normal. En la época de secas mantiene su condición normal en todo el período, con valores de 0.50 mg/m^3 registrados en el 2008 a 0.31 mg/m^3 en el 2014.

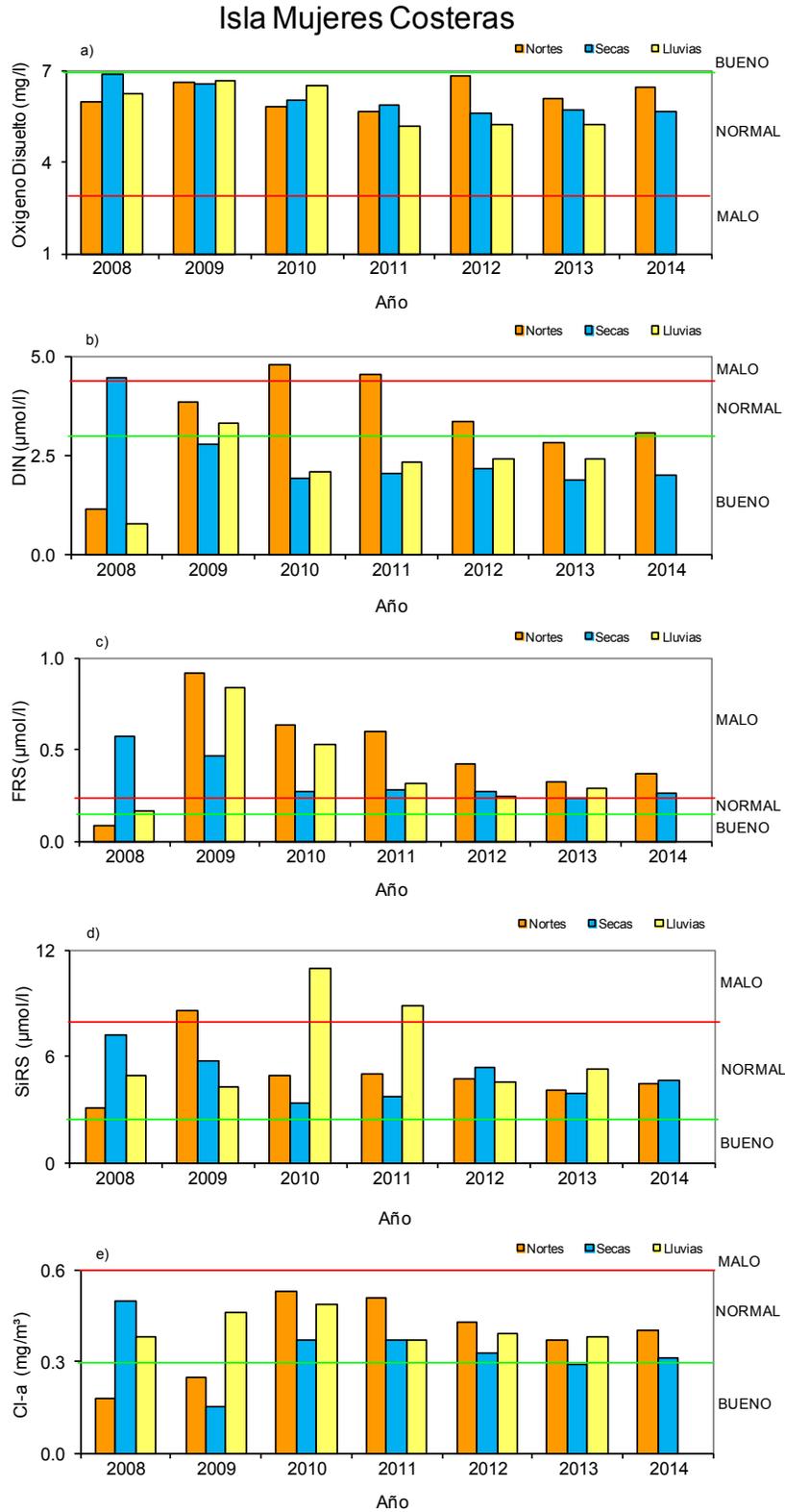


Figura 10. Distribución de a) Oxígeno disuelto, b) Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN), c) Fósforo Reactivo Soluble (FRS), d) Sílice Reactivo Soluble (SiRS) y e) Clorofila-a (Cl-a) en las estaciones costeras en el polígono de Isla Mujeres en el periodo de estudio.

4.1.2. Punta Cancún

4.1.2.1. Estaciones marinas

Respecto a la figura 11a, esta muestra una disminución del oxígeno con respecto al valor que se registró en el año 2008 con valores de 6.43 a 6.20 mg/l en nortes y de 6.78 a 5.51 mg/l en secas, presentando una condición de “normal” en ambos casos.

Analizando la figura 11b, la cual corresponde al Nitrógeno Inorgánico Disuelto, en esta se observó un ligero incremento en la época de nortes, con respecto al registrado en el año 2008; en donde los valores fueron de 1.08 a 1.26 $\mu\text{mol/l}$; y una disminución en la época de secas cuyos valores fueron de 1.61 $\mu\text{mol/l}$ en 2008 a 1.13 $\mu\text{mol/l}$ en 2014; en ambos casos manteniéndose en un nivel considerado bueno.

El FRS presentó un incremento del 2008 a 2014, y un decremento en la época de secas. Sin embargo en ambas épocas se registró una condición “mala” (Fig. 11c).

La variable Sílice Reactivo Soluble (Fig. 11d) mantuvo una condición mala durante todo el período, presentando valores de 3.39 a 2.64 $\mu\text{mol/l}$ en la época de nortes, y de 13.82 a 3.23 en secas.

Los valores promedio de clorofila-a disminuyeron de 2008 a 2014 para ubicarse en una condición “buena” después de registrarse inicialmente en una condición mala. Para la época de nortes el cambio fue de 0.38 a 0.17 mg/m^3 , mientras que en secas fue de 0.78 a 0.16 mg/m^3 (Fig. 11e).

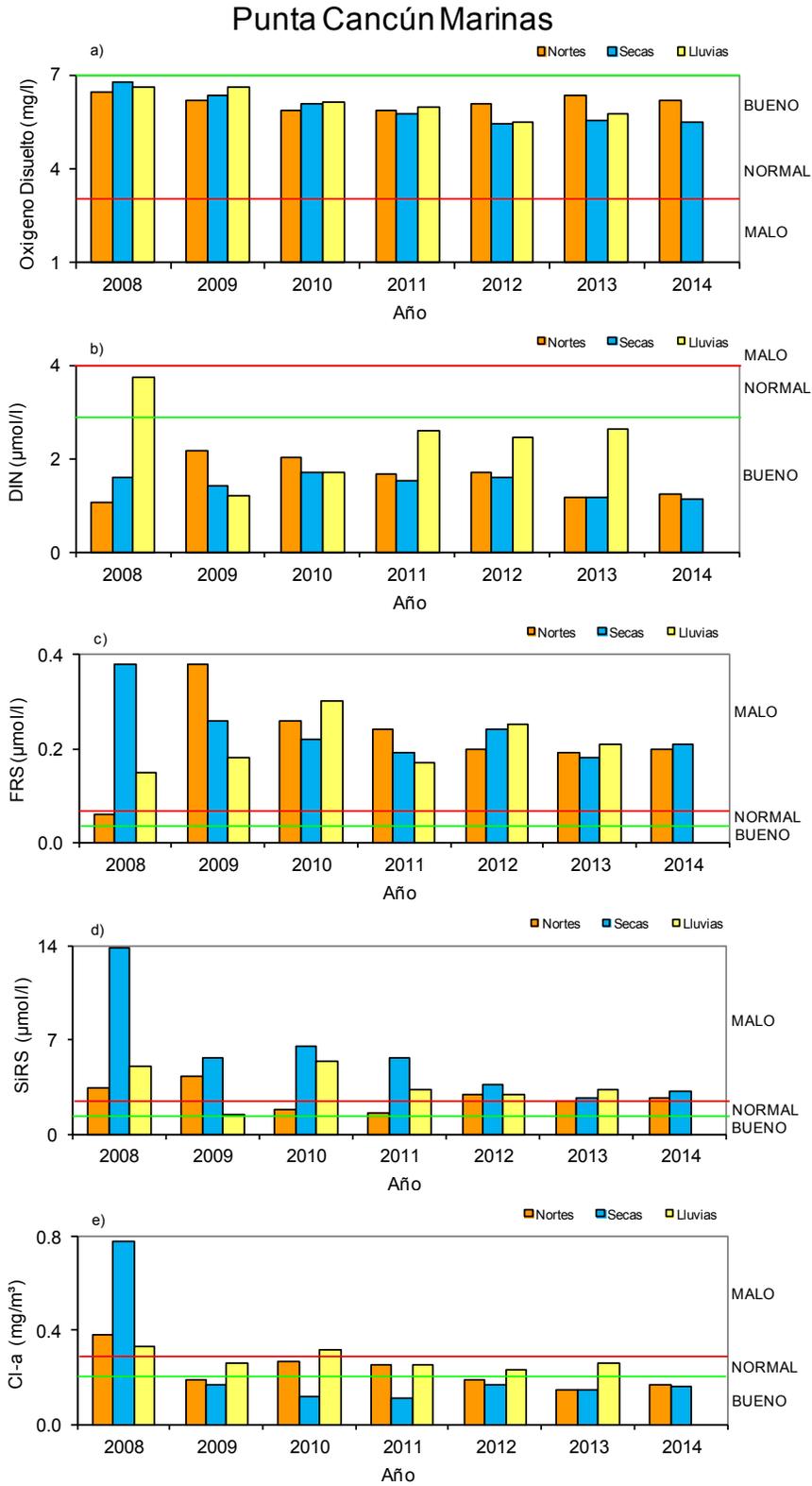


Figura 11. Distribución de a) Oxígeno disuelto, b) Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN), c) Fósforo Reactivo Soluble (FRS), d) Sílice Reactivo Soluble (SiRS) y e) Clorofila-a (Cl-a) en las estaciones marinas en el polígono de Punta Cancún en el periodo de estudio.

4.1.2.2. Estaciones costeras.

El oxígeno disuelto presentó una tendencia a mantenerse dentro de la condición “normal” con valores promedios comprendidos entre 6.14 a 6.22 mg/l de 2008 al 2014, en la época de nortes, y con valores de 6.38 a 5.33 mg/l en secas; a excepción de la época de lluvias con valores de 6.57 a 5.55 mg/l (Fig. 12a).

En la figura 12b perteneciente a las concentraciones promedio del DIN se observó que los valores se incrementaron de 2008 a 2014, con valores comprendidos entre 0.89 a 2.38 $\mu\text{mol/l}$, manteniendo una condición buena a pesar de que en el 2009 presentó una condición mala con un valor de 4.99 $\mu\text{mol/l}$, esto durante la época de nortes. Para la época de secas el valor registrado inicialmente en el 2008 (1.11 $\mu\text{mol/l}$) sufrió un aumento en el 2009 (4.18 $\mu\text{mol/l}$) pasando de una condición buena a mala, sin embargo en el 2014 se registró un valor de 2.82 el cual se considera dentro de la condición considerada buena.

La tendencia a incrementarse de las concentraciones promedio de Fósforo Reactivo soluble (FRS), se analizó en la figura 12c, en donde las concentraciones mantienen una condición mala en las tres épocas del año con valores >5 , registrados en el año 2014.

El SiRS, cuyo comportamiento se registró en la figura 12d presentó un incremento de valores promedio en nortes y secas del 2008 a 2014, pero conservando la condición “mala” en ambas épocas. La tendencia de esta variable ha sido la de preservar concentraciones altas con la condición mala en las épocas de nortes y secas de 2008 a 2014.

En relación a las concentraciones promedio de clorofila-a, esta variable mantiene una ligera tendencia homogénea con una condición de normal-malo, a excepción de las épocas de nortes y secas en el año 2014 en donde se observó una condición “normal” (Fig. 12e).

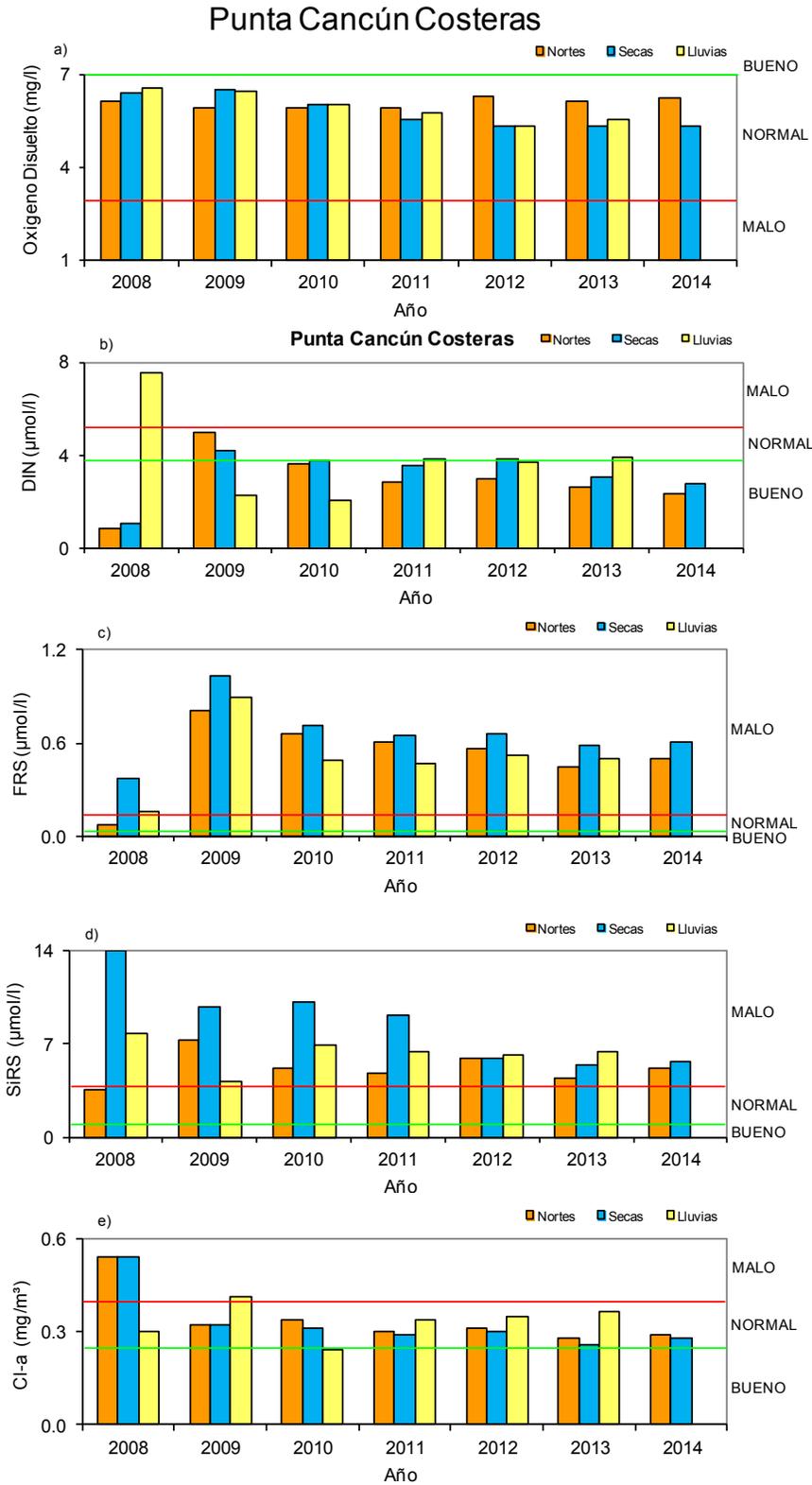


Figura 12. Distribución de a) Oxígeno disuelto, b) Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN), c) Fósforo Reactivo soluble (FRS), d) Sílice Reactivo soluble (SiRS) y e) Clorofila-a (Cl-a) en las estaciones costeras en el polígono de Punta Cancún en el periodo de estudio.

4.1.3. Punta Nizuc

4.1.3.1. Estaciones marinas

El comportamiento homogéneo del oxígeno disuelto se observa en la figura 13a, registrando una condición “normal” en la mayoría de los años. Se presentó un incremento en nortes (de 4.12 a 6.56 mg/l) y en secas (de 5.87 a 6.03 mg/l) de 2018 a 2014, pero conservando ambas épocas la condición normal.

Los registros de DIN, en la figura 13b indican un comportamiento homogéneo de 2008 a 2014, ubicándose las épocas climáticas de nortes y secas en una condición “buena”. Realizando el estudio de este polígono, en la figura 13c se observó que las concentraciones promedio de Fósforo Reactivo soluble (FRS) han mantenido una tendencia a aumentar durante la época de nortes, debido a que en 2008 sus concentraciones fueron de 0.09 $\mu\text{mol/l}$ con una condición “buena” y en el 2014 de 0.21 $\mu\text{mol/l}$ con una condición “mala”. En la época de secas los valores disminuyeron (de 1.10 a 0.23 $\mu\text{mol/l}$), sin embargo la condición “mala” se conserva, y en lluvias se presentó un decremento para ubicarse en una condición “normal”.

En relación al Sílice Reactivo Soluble (SiRS), este presentó una tendencia a aumentar (valores promedio de 2.41 a 3.52 $\mu\text{mol/l}$) de 2008 a 2014, mientras que en la época de secas se registró un valor de 9.51 $\mu\text{mol/l}$ en el 2008, el cual disminuyó considerablemente en el 2010, y de ahí fue en descenso hasta registrarse 3.77 $\mu\text{mol/l}$ en el 2014, presentando así una condición “normal” en todas las épocas del año.

En la figura 13e, se aprecia que las concentraciones promedio de clorofila-a mantuvieron un comportamiento homogéneo de 2008 a 2014 con un intervalo de 0.15 a 0.21 mg/m^3 , con una condición “buena”.

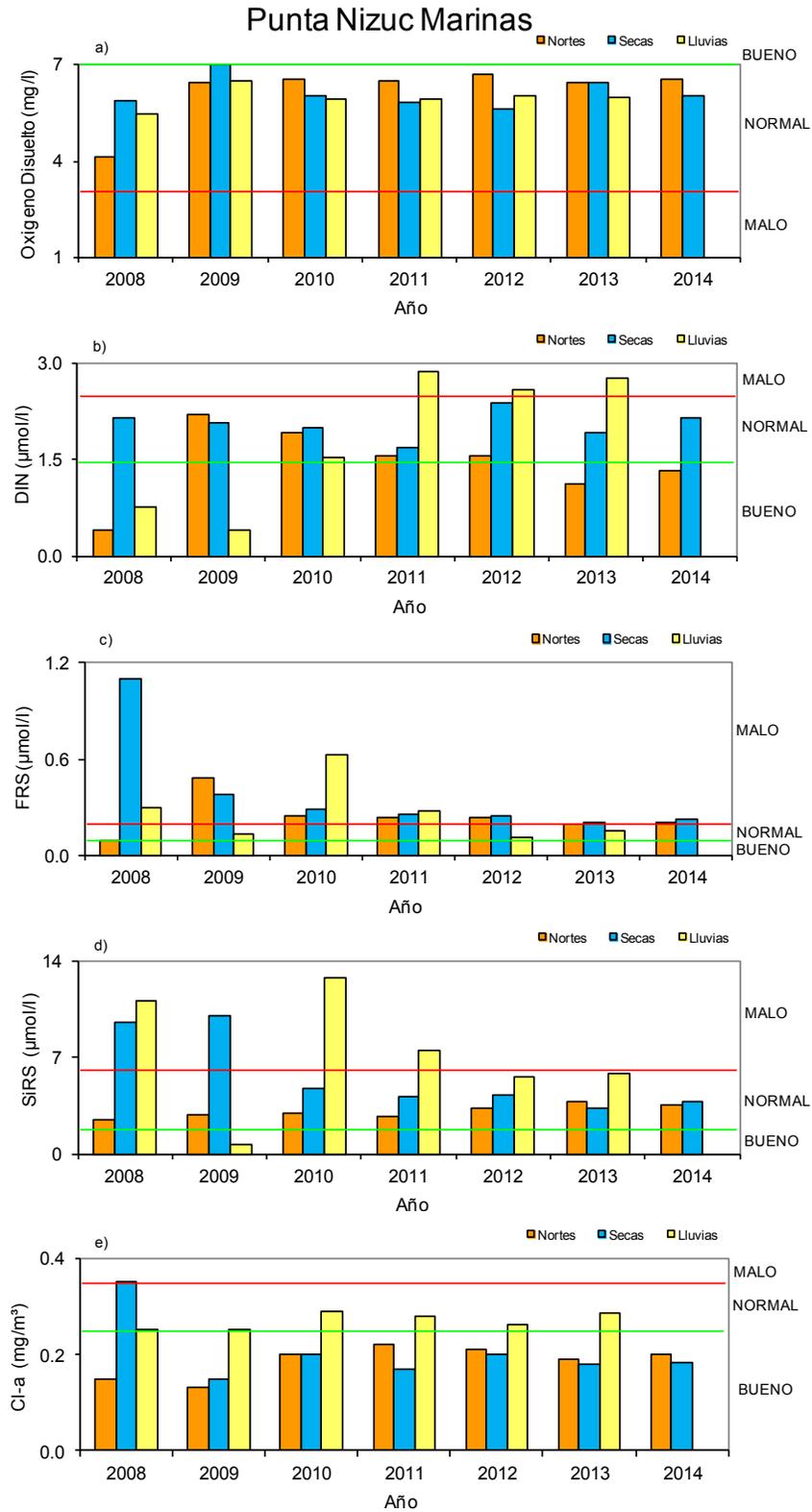


Figura 13. Distribución de a) Oxígeno disuelto, b) Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN), c) Fósforo Reactivo soluble (FRS), d) Sílice Reactivo soluble (SiRS) y e) Clorofila-a (Cl-a) en las estaciones marinas en el polígono de Punta Nizuc en el periodo de estudio.

4.1.3.2. Estaciones costeras

La siguiente variable, oxígeno disuelto (Fig. 14a) presentó un aumento de 2008 a 2014, en donde se registraron picos máximos de 6.59 a 6.74 mg/l en el 2010 y 2011 en la época de nortes y secas, pero sin perder su condición considerada “normal”.

Por lo que respecta al DIN, este registro una tendencia a mantenerse dentro de su condición “buena” del 2008 al 2014 con valores promedio comprendidos entre 1.16 a 2.97 $\mu\text{mol/l}$ en nortes, y de 1.60 a 4.13 $\mu\text{mol/l}$ en secas (Fig. 14b).

Respecto a la figura 14c, esta muestra una tendencia del FRS a incrementarse de 2008 a 2014 en nortes y descende en la época de secas manteniendo de esta forma su condición considerada “mala” en los últimos siete años.

En el análisis del Sílice Reactivo soluble, el cual se observa en la figura 14d, mostró una tendencia a disminuir en todas las épocas del año sus concentraciones promedio en 2008 con valores de 1.07 $\mu\text{mol/l}$ alcanzan valores de 0.40 $\mu\text{mol/l}$ en el 2014, colocando a las tres épocas climáticas en una condición “mala. Analizando la figura 14e, la cual corresponde a la clorofila-a, se mantiene de manera homogénea, con valores promedio menores a 1.0 mg/m^3 en las tres épocas del año con una condición buena en nortes, de mala a normal en secas y lluvias.

La tendencia que se presenta en las diferentes variables se puede resumir de la siguiente manera: el DIN (Nitrógeno Inorgánico Disuelto) y la clorofila-a presentan una tendencia buena, el Fosforo Reactivo Soluble (FRS) y el Sílice Reactivo Soluble (SiRS) registraron una tendencia a una condición mala y el oxígeno disuelto presenta una tendencia a mantenerse con una condición normal los últimos años de estudio (2010 a 2014). Los resultados de la tendencia temporal de cambio de las diferentes variables, debe interpretarse por la interacción que hay entre ellas, por ejemplo, un decremento en la concentración de un nutrimento debe interpretarse tanto en relación a la concentración de otras variables (fósforo, clorofila-a) como de sus valores relativos (relación DIN:FRS).

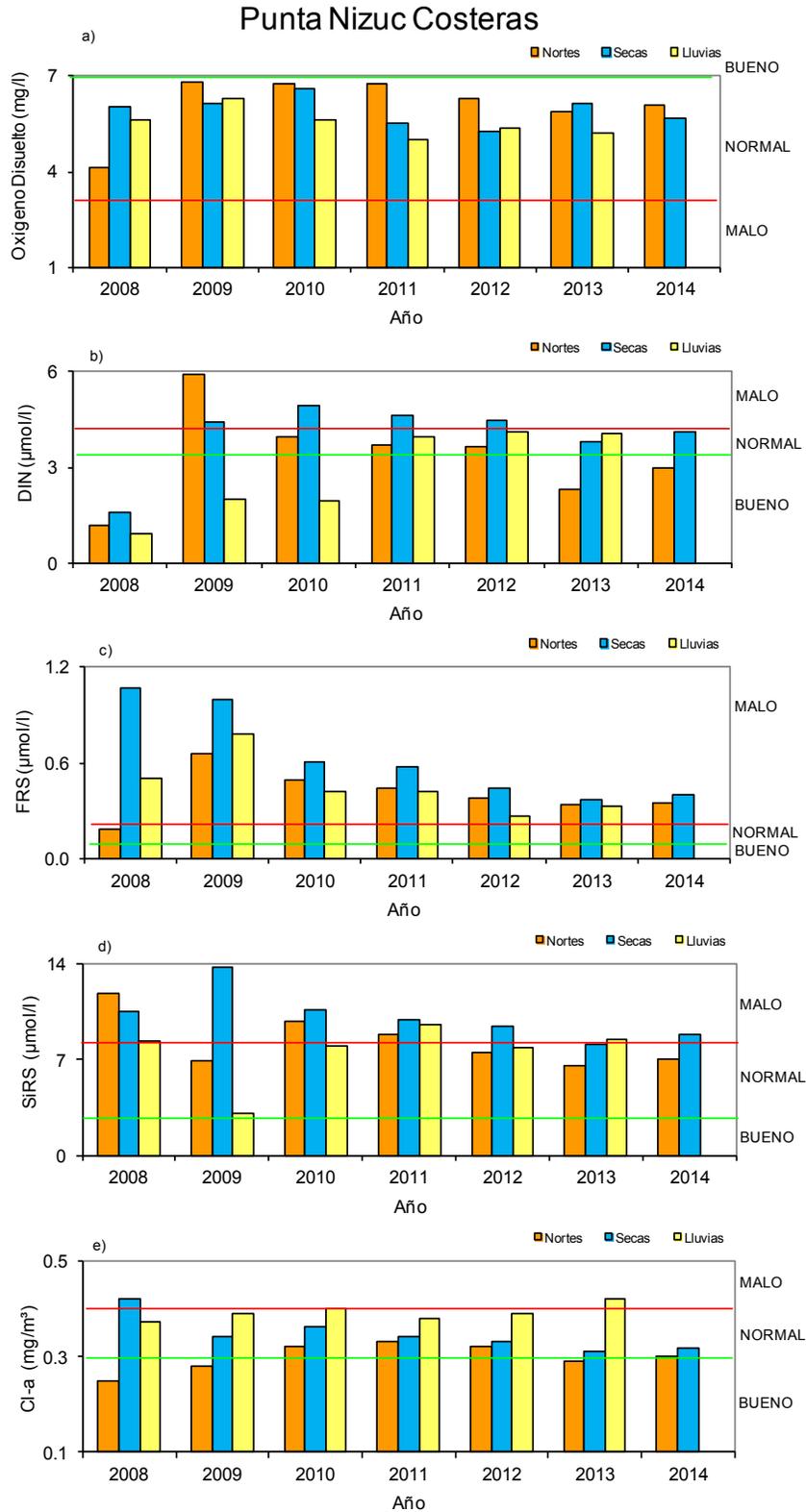


Figura 14. Distribución de a) Oxígeno disuelto, b) Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN), c) Fósforo Reactivo soluble (FRS), d) Sílice Reactivo soluble (SiRS) y e) Clorofila-a (Cl-a) en las estaciones costeras en el polígono de Punta Nizuc en el periodo de estudio.

Los resultados de la tendencia temporal de cambio de las diferentes variables, debe interpretarse por la interacción que hay entre ellas, por ejemplo, un decremento en la concentración de un nutrimento debe interpretarse tanto en relación a la concentración de otras variables (fósforo, clorofila-a) como de sus valores relativos (relación DIN:FRS).



4.2. Diagnóstico

Con la información obtenida de todos los sitios se procedió a determinar lo que serían los intervalos que definan la condición “normal” de los sistemas en función de las variables analizadas. El procedimiento se basó en las recomendaciones del reporte de “National Water Condition Report” (EPA, 2004).

El procedimiento consistió en calcular la mediana y los primeros intercuartiles con la serie de datos existentes. Los datos de las diferentes variables que estén en el intervalo de los cuartiles superiores e inferiores se consideraron en estado “regular/normal”. Las concentraciones de variables como coeficiente de extinción de luz, DIN, fosfatos, silicatos, y Cl-a que estuvieron por arriba de este intervalo se consideraron como la condición “mala” y las que estaban por debajo de él fueron la condición “buena”. En el caso de variables como el oxígeno disuelto, el orden fue inverso.

Para definir el estado global de cada polígono, se siguió el siguiente criterio:

Una vez que se obtuvo la condición (buena, regular/normal, mala/pobre) de las diferentes variables de la calidad del agua de cada polígono, la condición global se calificó con base a los 5 indicadores (DIN, Fosfatos, Silicatos, Clorofila-a, Oxígeno disuelto) usando la regla de decisión siguiente (EPA, 2004).

Buena : es la mejor condición que se pueda tener, son las condiciones excelentes de una estación o un sitio.

Regular/normal : es la condición normal, son las condiciones normales o estables (ideal) de una estación o un sitio.

Mala/pobre : es la peor condición que se pueda tener, son las condiciones malas de una estación o un sitio.

Los valores de referencia para las estaciones marinas y costeras para Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, se pueden observar en las tablas de la 1 a la 5.

4.2.1. Isla Mujeres

En la época de nortes en Isla Mujeres se observó que las estaciones costeras 11 y 12 son las que mantienen una condición mala, a partir del año 2012 la estación 12 cambia de una condición mala a una regular, mientras que la estación 11 se mantiene en mala. La estación 9 ha mejorado su condición desde el 2009 y se mantiene en una condición regular-buena. Las estaciones 2 a 4 y 6 mantienen una condición regular, mientras que las estaciones 13, 14 y 15 (marinas) se mantienen dentro de una condición clasificada como buena. En general, las estaciones marinas mantienen una condición buena en los últimos años y el resto de las estaciones tiene una condición que va cambiando en cada año de estudio (Fig. 15).

En secas en Isla Mujeres se registró que la estación 12 es la que mantiene la condición mala a partir del 2012 ha conservado su condición regular. La estación 11 es la estación con mayor afectación en este periodo de muestreo con una mala calidad en seis de los siete años, mientras que estaciones 3 y 7 mantienen una condición regular. Las estaciones 13, 14 y 15 presentan una condición buena, la estación 9 a partir del año 2010 pasa de una condición mala a una condición regular manteniéndose así hasta el año 2014 (Fig. 16).

En la figura 17 durante la época de lluvias en Isla Mujeres se observó que la estación costera 12 presenta una condición mala r, la estación 10 durante de regular a buena, mientras que las estaciones 3, 4 y 6 se mantienen dentro de una condición regular. Las estaciones marinas mantienen una condición de buena y el resto de las estaciones tienen una condición que sufrió cambios considerables en cada año.

La condición general de las estaciones durante todo el periodo de estudio (2008 a 2014) en Isla Mujeres registro que en las estaciones costeras presentaron una condición buena con un 41%, regular con 45% y mala con 14%. En las estaciones marinas se observó una condición buena en el 100% de las estaciones.

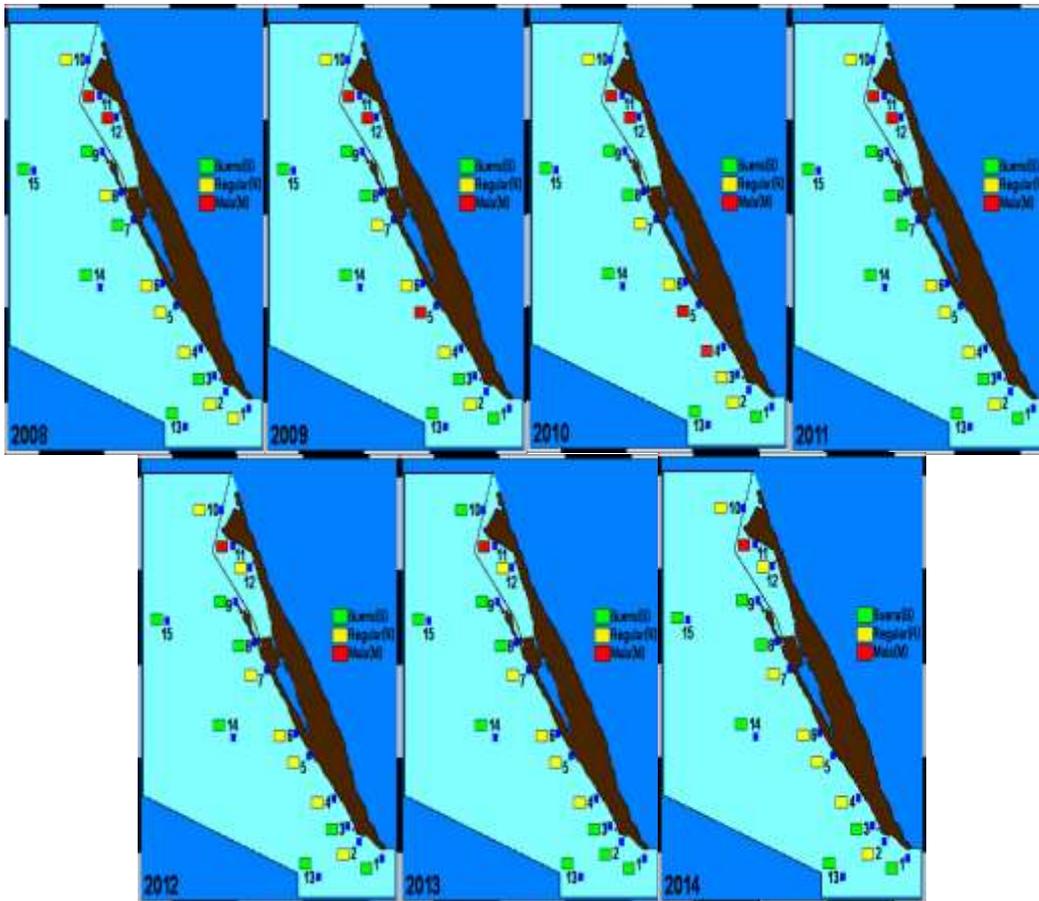


Figura 15. Condición global de Isla Mujeres en la época de nortes con las variables de calidad de agua en los años de muestreo.

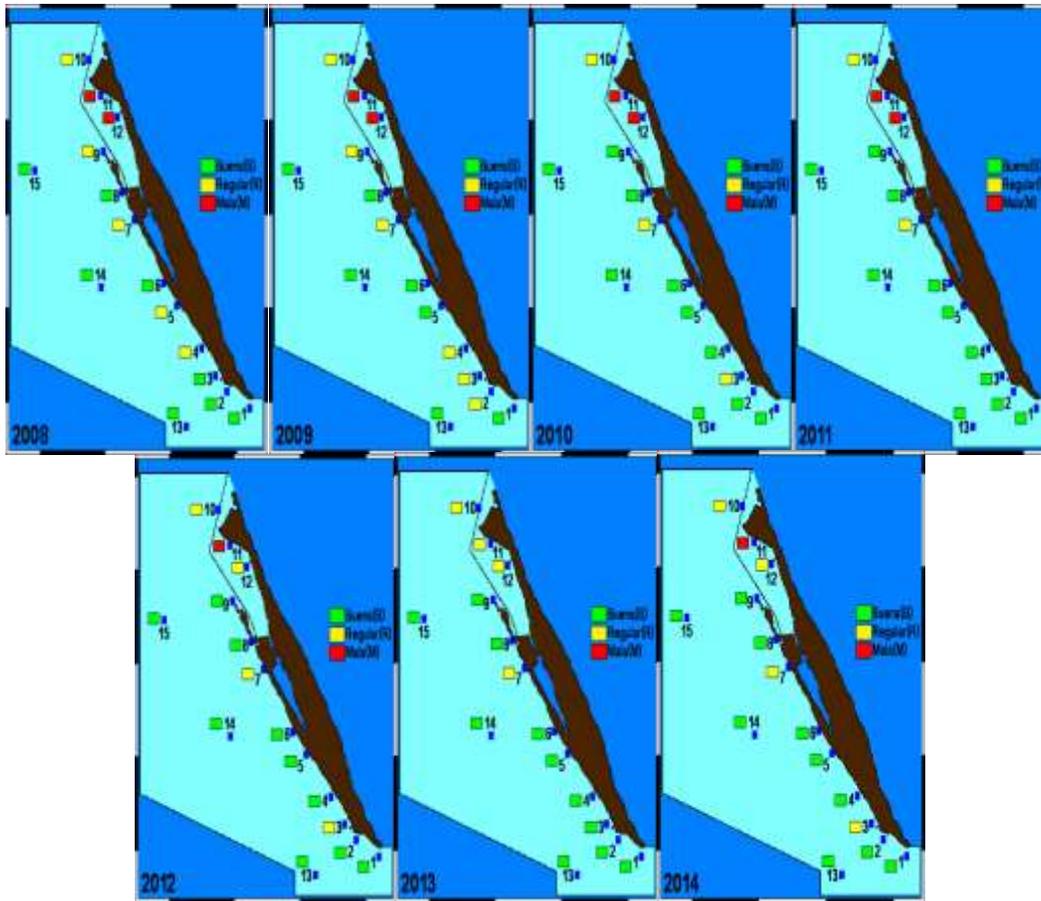


Figura 16. Condición global de Isla Mujeres en la época de secas con las variables de calidad de agua en los años de muestreo.

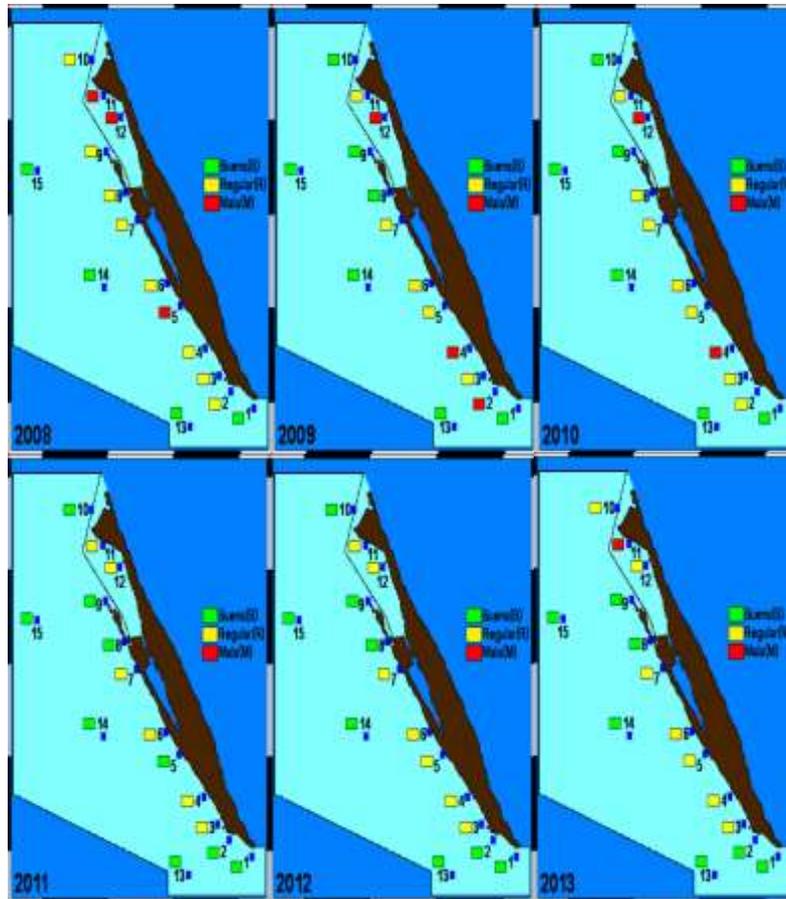


Figura 17. Condición global de Isla Mujeres en la época de lluvias con las variables de calidad de agua en los años de muestreo.

4.2.2. Punta Cancún

En la época climática de nortes en Punta Cancún se observó que las estaciones costeras 3, 4, 9 y 12 son las que mantienen la condición buena durante todo el período de estudio, la estación 7 pasa de una condición mala a una regular en el año 2009 y a partir de ahí se mantiene dentro de una condición buena hasta el 2014. Las estaciones marinas mantienen una condición buena debido a que presentaron esta condición en los 7 años del período de estudio (Fig. 18).

En Punta Cancún, en secas se registró que las estaciones costeras 5, 6 y 7 presentaron una condición regular al principio, es a partir del 2011 en donde las estaciones 5 y 7 pasan de regular a buena, mientras que la estación 6 se mantiene en una condición regular durante los siete años de estudio. Todas las estaciones marinas mantuvieron una condición buena en el período 2008-2014 (Fig. 19).

En la época de lluvias en Punta Cancún se aprecia que las estaciones costeras 7 y 10 son las que mantienen una condición mala hasta el 2010 que cambian su condición a regular. Las estaciones marinas 1, 2, 13, 14, 15, 16, 17 y 18 mantienen una condición buena durante siete años (Fig. 20).

En Punta Cancún la condición global (2008 a 2014) de las estaciones marinas fue de 100% en condición buena y en las costeras se observó una condición mala con 3.5%, condición regular 38.5% y el 58% con condición buena.

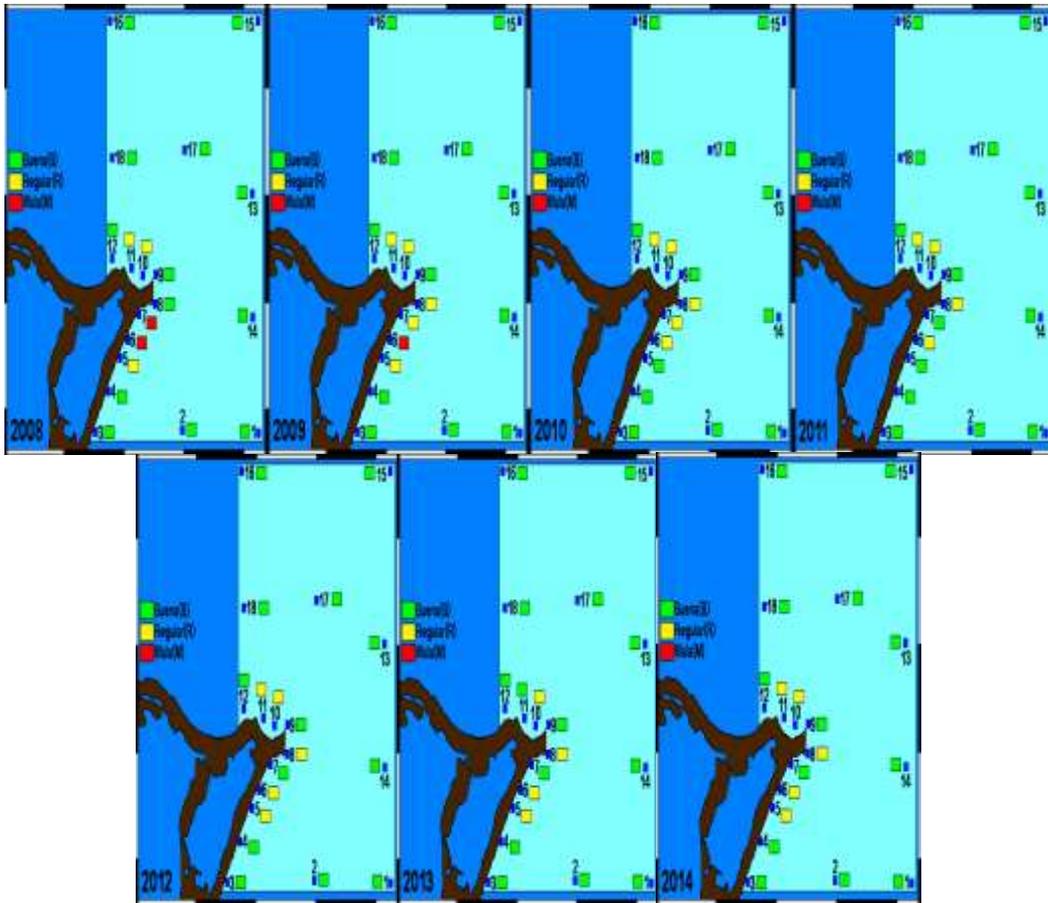


Figura 18. Condición global de Punta Cancún en la época de nortes con las variables de calidad de agua en los años de muestreo.

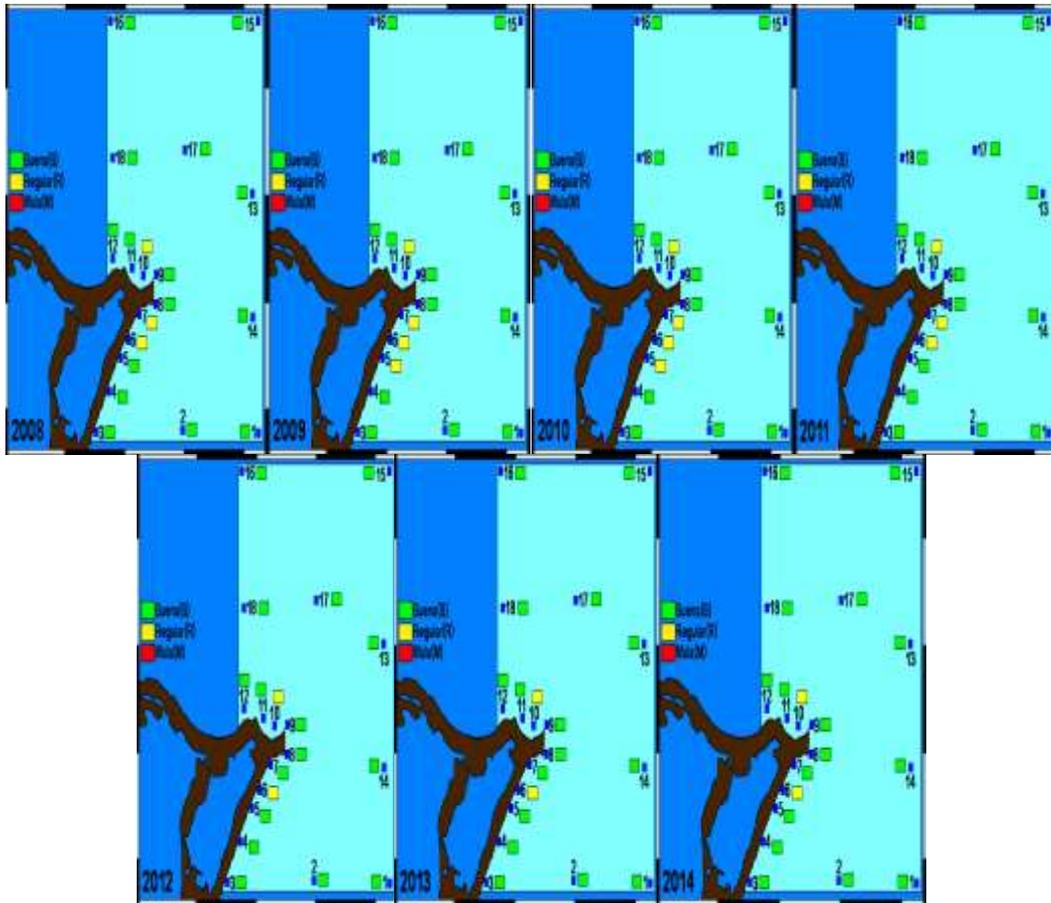


Figura 19. Condición global de Punta Cancún en la época de secas con las variables de calidad de agua en los años de muestreo.

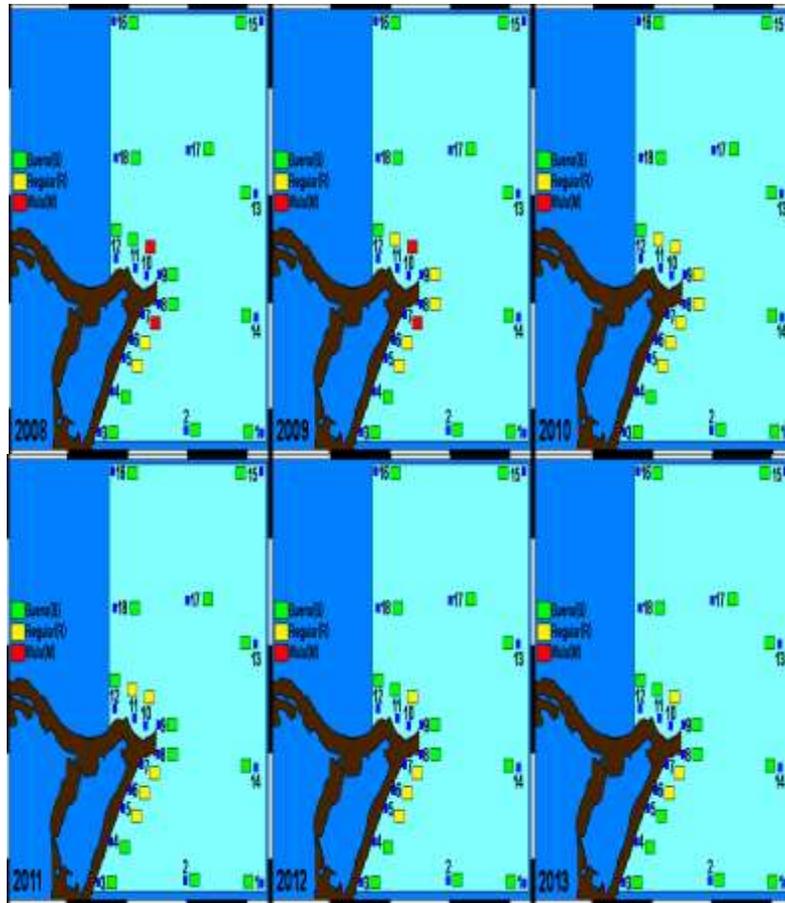


Figura 20. Condición global de Punta Cancún en la época de lluvias con las variables de calidad de agua en los años de muestreo.

4.2.3. Punta Nizuc

En la figura 21 durante la época de nortes en Punta Nizuc se observó que las estación costera 1 presento una condición buena hasta el 2010 que paso de buena a regular, mientras que las estaciones 11 y 12 a partir del año 2011 pasaron de una condición regular a buena. Las estaciones marinas mantienen en esta época una condición buena durante el periodo 2008-2014, a excepción de la estación 2 que se mantiene en una condición mala.

En secas en Punta Nizuc se observó que las estaciones costeras 1, 12 y 13 son las que mantienen la condición buena en la mayoría de los años, el resto de las estaciones costeras mantienen una condición regular y mala. Las estaciones marinas mantienen una condición buena durante los siete años de estudio, a excepción de la estación 2 que en el año 2012 pasa de una condición mala a regular. Debido a esto, se concluye que la condición general de las estaciones costeras es de regular a buena y de las marinas es buena (Fig. 22).

Los porcentajes de condición en el polígono de Punta Nizuc son los siguientes, en las estaciones marinas con buena 85%, regular 5% y la mala con 10%. Las estaciones costeras presentaron la condición mala con 11%, 49% regular y buena con 40%.

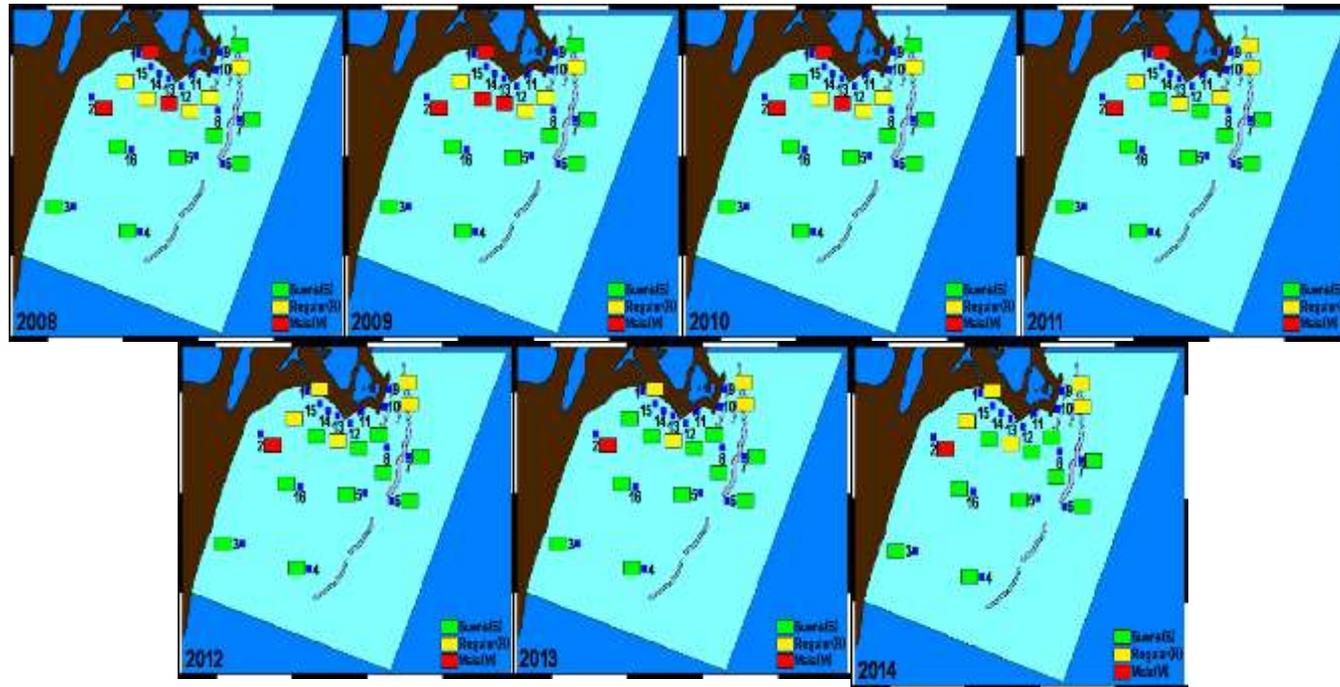


Figura 21. Condición global de Punta Nizuc en la época de nortes con las variables de calidad de agua en los años de muestreo.

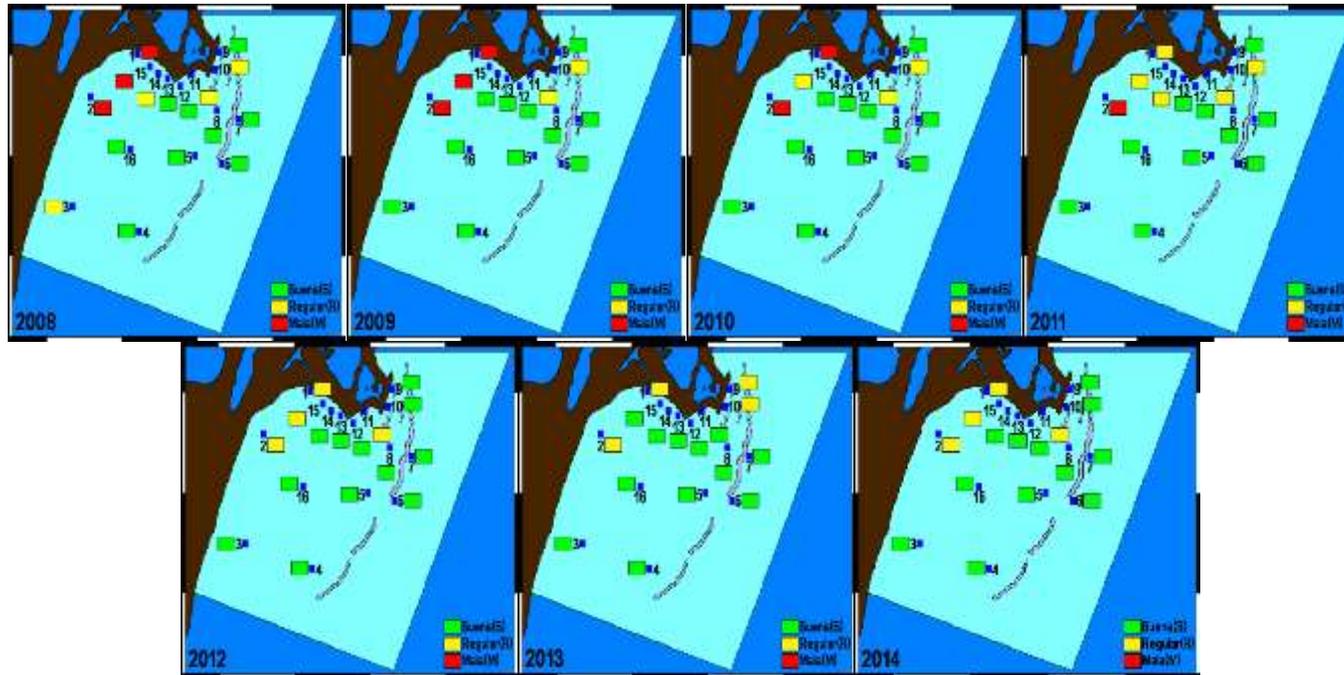


Figura 22. Condición global de Punta Nizuc en la época de secas con las variables de calidad de agua en los años de muestreo.

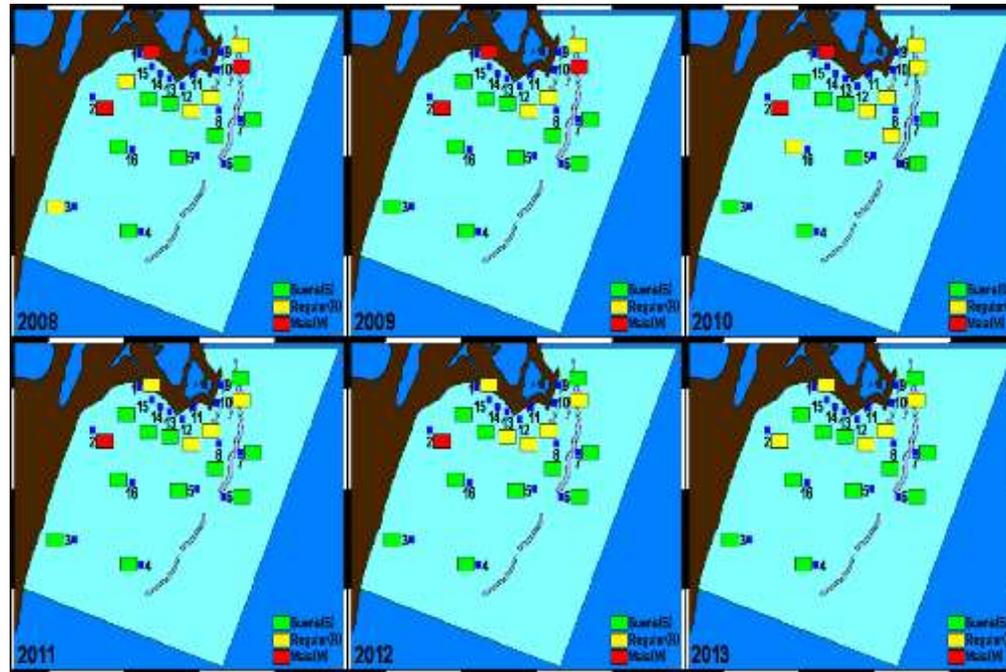


Figura 23. Condición global de Punta Nizuc en la época de lluvias con las variables de calidad de agua en los años de muestreo.

Esta información de diagnóstico se proporciona con la finalidad de que la Dirección del Parque tenga elementos de decisión que le permitan saber en donde canalizar acciones de manejo, dependiendo de las estaciones donde se presente el mayor daño o la peor condición en cada uno de los polígonos.



5. Conclusiones

En general, las condiciones de calidad del agua de los polígonos del Parque Marino de Cancún presentan diferencias espaciales. Las zonas con mayor influencia marina presentan condiciones de regulares a buenas. Sin embargo, las zonas con mayor influencia terrestre y donde se desarrollan la mayor parte de las actividades recreativas dentro de los polígonos presentan condiciones promedio de regular a mala de acuerdo a su estado trófico, lo cual tiene implicaciones directas a la vida acuática y a los ecosistemas.

Se observaron diferencias espaciales en la condición de calidad del agua de los polígonos del Parque Marino de Cancún, probablemente debido a las diversas fuentes de impacto (infraestructura turística) y condiciones ambientales (tiempo de residencia del agua) que favorecen una menor calidad del agua. De acuerdo a lo anterior se recomienda tener presente la conectividad ecosistémica que hay principalmente entre los ambientes lagunares y los ecosistemas marinos.

En el polígono de Isla Mujeres en el muestreo de monitoreo de las épocas de nortes y secas del 2014 en las estaciones marinas el oxígeno disuelto presentó una condición normal al igual que las mismas épocas en 2008, el DIN registró un aumento en sus valores en la época de nortes y secas del 2008 al 2014, presentando una condición de buena a normal; el FRS presentó un ligero aumento en las épocas de nortes y secas de 2014 manteniendo la condición normal, el SiRS presentó decremento en ambas épocas para mantenerse en la condición normal y el comportamiento que se registró en la clorofila-a en la época de nortes y secas del 2014 fue disminuyendo desde el 2008 para mantenerse dentro de una condición normal.

Respecto a las estaciones costeras del Polígono de Isla Mujeres, el oxígeno disuelto no registró modificaciones importantes en las épocas de nortes y secas del 2014 con relación a las del 2008 para mantenerse en una condición normal. El FRS en las épocas de nortes y secas de 2014 mantuvieron una condición que va de normal a buena, misma condición que en el 2008. El SiRS en las épocas de nortes y secas de 2014 registraron cambios que los mantiene dentro de una condición mala. La clorofila-a en las épocas de nortes y secas del 2014 presentó un ligero incremento en sus concentraciones con relación a la del 2008 manteniendo la condición normal.

En el caso del polígono de Punta Cancún, en las estaciones marinas de las épocas de nortes y secas de 2014 el oxígeno disuelto, FRS y DIN registraron una ligera tendencia a incrementar sus concentraciones, a excepción del oxígeno disuelto que presenta una tendencia a disminuir. Todas las variables mantuvieron la misma condición que presentaron en el año 2008, a excepción de la clorofila cuya condición pasó de mala a buena.

En las estaciones costeras de Punta Cancún, el oxígeno disuelto en nortes y secas de 2014 mantienen la condición “normal” como todos los años. Las concentraciones de DIN en nortes y secas del 2014 registraron un aumento conservando la condición buena de 2008, mientras que el FRS y el SiRS en las épocas de nortes y secas del 2014 mantuvieron la misma condición del 2008 que fue mala. Por lo que respecta a la condición de la clorofila-a, en nortes y secas del 2014 ésta registró un cambio de condición que va de mala a normal.

Por lo que respecta al polígono de Punta Nizuc, en las estaciones marinas el oxígeno disuelto en las épocas de nortes y secas del 2014 presentaron un incremento manteniendo la condición “normal” de 2013. El DIN registró un incremento en ambas épocas manteniendo su condición buena al igual que en 2008. Respecto al FRS durante las épocas de nortes y secas del 2014 a pesar de presenta un ligero incremento en sus valores mantuvo su condición mala como en 2008. El SiRS presenta una disminución y conserva su condición normal mientras que la clorofila-a en 2014 en las épocas de nortes y secas conservaron la condición buena.

En relación a las estaciones costeras de Punta Nizuc, se observó en el oxígeno disuelto en las épocas de nortes un incremento y en secas un decremento de 2008 a 2014, manteniendo la condición normal. El DIN registró un aumento en nortes y secas del 2014 con respecto a 2008 manteniendo la condición buena en ambas épocas. El FRS en las épocas de nortes y secas de 2008 a 2014, conservaron la condición mala. Para el SiRS en 2014, las concentraciones en ambas épocas su condición mala y en la clorofila-a los valores no sufrieron un cambio significativo pero manteniendo las condición de buena a normal presentada en 2008.

Con los resultados de los muestreos del monitoreo 2014 de los polígonos del Parque Marino de Cancún, se observa que los polígonos de Punta Nizuc han sufrido un ligero deterioro respecto a los resultados de las épocas del año 2013, mientras que Isla mujeres presenta una mejora y Punta Cancún se mantiene en la misma condición.

La condición global de los polígonos en este periodo de estudio (2008-2014) demuestra que los polígonos de Punta Nizuc en sus estaciones costeras presentaron una condición mala, siendo Punta Cancún el único polígono que registro una condición “buena” en sus estaciones costeras y los tres polígonos en sus estaciones marinas presentaron una condición buena.

Los incrementos en las concentraciones de algunos nutrientes en el agua podrían tener efectos en los componentes biológicos del ecosistema, por lo que se recomienda por una parte, mantener el programa de monitoreo de los pastos marinos de los polígonos, y por otra, aumentar dentro de las variables de este componente el contenido elemental (N, P) en la hojas, y en la medida de lo posible medir la concentración de isótopo de Nitrogeno¹⁵ (N¹⁵) en las hojas. Estas variables han probado ser buenas indicadoras del efecto que tienen los nutrientes disueltos en el agua sobre la comunidad de pastos marinos, como

una medida de reconocer problemas de eutrofización en los ecosistemas costeros, proceso que impacta negativamente a los ambientes arrecifales.

Actualmente, este es la única ANP de la Región que cuenta con monitoreo de la calidad del agua para la vida acuática. La cooperación entre el personal del Parque y el grupo de trabajo del laboratorio de Producción Primaria del CINVESTAV ha sido fundamental para este avance.



6. Literatura citada

Álvarez-Góngora C. and Herrera-Silveira J. A. 2006. Variations of phytoplankton community structure related to water quality trends in a tropical karstic coastal zone. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 52, Issue 1, January 2006, Pages 48-60.

Carruthers, T. J. B., Van Tussenbroek B. I. y Dennison W. C.. 2005. Influence of submarine springs and wastewater on nutrient dynamics of Caribbean seagrass meadows. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64: 191-199

Cortés Balán T. O., 2006. Hidrología y Condición Trófica De La Columna Del Agua en el Parque Marino Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, Quintana Roo". Tesis de Maestría. Centro De Investigación y De Estudios Avanzados Del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Mérida. Laboratorio de producción Primaria. Departamento De Recursos Del Mar. Mérida, Yucatán, México. 86 pp.

Epstein, 1998. Marine ecosystems: emerging diseases as indicators of change. Special Report on Health of the Oceans. NOAA/OGP/NASA/Harvard Medical School, 85 pp.

Herrera-Silveira J., 1998. Nutrient phytoplankton production relationship in a groundwater influenced tropical coastal lagoon. *Aquatic ecosystem health and management society*, 1: 373-385 pp.

Herrera-Silveira, J. A. 2006. Lagunas costeras de Yucatán (SE, México): investigación, diagnóstico y manejo. *Ecotrópicos* 19(2):94-108.

Herrera-Silveira, J. A., Cortés Balán, T. O., Ramírez Ramírez, J., Cámara Ramos, J., Trejo Peña J., Osorio, I., Alvarado, E., y Zaldivar T. 2008a. "MONITOREO DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DE LA COLUMNA DEL AGUA DE LOS AMBIENTES COSTEROS DEL PARQUE MARINO COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, PUNTA CANCÚN Y PUNTA NIZUC: PRIMERA ETAPA". Proyecto FQ004 CINVESTAV-CONABIO-CONANP, Informe Final, 64pp.

Jeffrey S. W., Mantoura R. F. C. and Wright S. W. 1997. *Phytoplankton pigments in oceanography*. Unesco, Paris

Parson T. R., Y. Maita, y C.M. Lalli. 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawaters Analysis*, Second Edition, Pergamon Press, Oxford, England

Reyes, E. y Merino, M. 1991. Diel dissolved oxygen dynamics and Eutrophication in a shallow, well-mixed tropical lagoon (Cancún, México). *Estuaries* Vol. 14. No. 4: 372-381 pp.

Strickland, J. D. and Parsons, T. R. 1972. *A Practical Handbook of Sea Water Analysis*. Fish. Res. Board. Canada Bull. 122 :311.

USEPA (United States Environmental Protection Agency), 1992. *An Updated Summary of Status and Trends in Indicators of Nutrient Enrichment in the Gulf of México*. Office of Water, gulf of México Program, United States of America, 272 pp.