

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS**



**"ESTUDIO DE LAS VARIACIONES AMBIENTALES EN EL CULTIVO DE PECES  
EN JAULAS FLOTANTES MARINAS EN SAN BLAS, NAYARIT."**

**EULALIO ARÁMBUL MUÑOZ**

**Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de:  
Maestro en Ciencias en el Área de Ciencias Pesqueras.**

**Xalisco, Nayarit. Septiembre de 2016.**



CBAP/169/16.

Xalisco, Nayarit, 19 de septiembre de 2016.

**ING. ALFREDO GONZÁLEZ JÁUREGUI**  
**DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR**  
**P R E S E N T E.**

Con base al oficio de fecha 16 de septiembre del presente, enviado por los CC. Dr. Sergio Gustavo Castillo Vargasmachuca, Dr. Jesús Trinidad Ponce Palafox, Dr. Leonardo Martínez Cárdenas, Dr. Milton Spanopoulos Hernández y Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega, donde se indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha finalizado con los demás requisitos que establece nuestra institución, se autoriza al C. Eulalio Arámbul Muñoz, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias en el Área de Ciencias Pesqueras.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente  
"Por lo Nuestro a lo Universal"

Dr. J. Diego García Paredes  
Coordinador del Posgrado



C.c.p.- Expediente

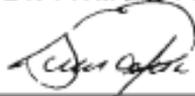
&metm

DR. J. DIEGO GARCÍA PAREDES  
COORDINADOR DEL POSGRADO (CBAP)  
P R E S E N T E

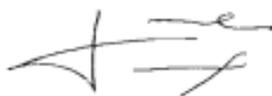
Los suscritos integrantes del Cuerpo Tutorial para asesorar la Tesis titulada: Estudio de las variaciones ambientales en el cultivo de peces en jaulas flotantes marinas en San Blas Nayarit, que presenta el C. Eulalio Arámbul Muñoz para obtener el Grado de Maestro en Ciencias con opción terminal en Ciencias Pesqueras, damos nuestra aprobación para que continúe con los trámites correspondientes para la obtención de su grado.

Sin otro asunto que tratar, reciba un cordial saludo.

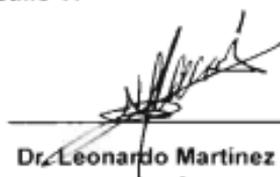
ATENTAMENTE



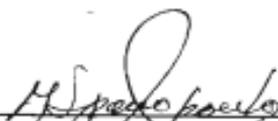
Dr. Sergio G. Castillo V.  
Director



Dr. Jesús T. Ponce Palafox  
Codirector



Dr. Leonardo Martínez Cárdenas  
Asesor



Dr. Milton Spanopoulos Hernández  
Asesor



Dr. Eugenio A. Aragón Noriega  
Asesor

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a quienes han sido las fuentes máximas de motivación, a aquellos hermosos seres que se embarcaron conmigo en esta hermosa travesía, con quienes he podido compartir mis temores, mis sueños, mis metas; hoy sé que sin su aliento, esta hermosa aventura hubiera sido todavía más difícil. Gracias por estar siempre en mi corazón, gracias por empujar a cada momento en que me desanimaba, gracias por decirme a cada momento con sus acciones, con sus gestos, con sus necesidades, con sus sueños, con sus lágrimas...que todo es posible.

Te lo dedico a ti mi amor Erika Yaneth Macias Villalobos por todo lo que diste para que este objetivo de mi vida, de nuestra vida, lo lleváramos a buen término. Gracias por todos los aportes que consciente e inconscientemente contribuías, gracias por tus palabras de aliento, gracias por tu compañía, gracias por soñar conmigo. A Ian y Zianya Arámbul Macias, por ser todo para mí, porque un día entenderán que todo este trabajo es por y para ustedes, gracias por amarme tanto como yo los amo.

## AGRADECIMIENTOS

A papá Dios (YHVH), a mi amigo Jesús, a mi madre María Santísima, por su amor, por la fidelidad a sus palabras, por nunca soltarme de su mano...gracias.

A Doña Mariana (mi madre), gracias mamá por haber dado todo por mí, gracias por estar todavía al pendiente de mi desarrollo profesional, gracias por darme la vida y por creer en mí.

A la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN), al Posgrado en Ciencias Biológicas Agropecuarias y Pesqueras (CBAP) y a la Unidad Académica de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera (ENIP), por aceptarme entre las filas de sus alumnos y por todo el apoyo brindado. MC. Julio Gurrola (Director de la ENIP), por todas las facilidades que me brindó y por su disponibilidad en esta investigación.

Gracias al Dr. Sergio Castillo Vargasmachuca, por su dirección en esta investigación, por su apoyo y orientación, por su amistad, por sus enseñanzas y por permitirme ser su alumno...gracias Doc.

A los Dr (s) que integraron mi comité de asesores: Dr. Jesús T. Ponce Palafox por todo su apoyo, su grandísima experiencia, por su amistad, Dr. Leonardo Martínez Cárdenas por su peculiar forma de alentarme, a esforzarme cada día, Dr. Milton Spanopoulos por todas sus contribuciones y acertados consejos, Dr. E. Alberto Aragón Noriega por contribuir significativamente al análisis de esta investigación, gracias por su amistad, gracias por los conocimientos que compartió conmigo.

A todos los compañeros del Laboratorio de Bioingeniería Costera (ENIP): a Carlos (el Mich) por todo su apoyo en las tomas de muestras, en los análisis, por su compañía durante toda la maestría, por tu amistad. . gracias MC. Carlos Gómez, a Genaro, Chuy, Ángel, a Delia, al Dr. Fermín, por todo el trabajo que realizaron, por ser parte de este buen equipo.

Al Dr. Murray y a don Toño del Laboratorio de Suelos de la UAN, por apoyarme en el análisis de las muestras de sedimentos, por sus enseñanzas y consejos, al Dr. German por su orientación en el diseño experimental, por el tiempo brindado y por haber despejado todas las dudas al respecto. A German, Madre Santa y todos los integrantes de la cooperativa "Blakis en progreso", por las facilidades que brindaron para realizar esta investigación en sus instalaciones de cultivo.

A todos mis hermanos del Grupo de Oración y Evangelización (El cuerpo): a mi compadre Churty y Gloria, a David y Adriana, a mi compadre Pancho (el Negro) y mi coma Lupita (Chongos), a los hermanos regañados (Vidal y Omar), a mi compa Omar y Brenda, porque sé que mis sueños y metas estuvieron siempre en sus oraciones.

## **AGRADECIMIENTOS A FUENTES DE FINANCIAMIENTO**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado durante toda la maestría. CVU 622887.

Al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PROMEP), por su apoyo brindado para el proceso de Titulación.

**CONTENIDO****Pág.**

<b>Título</b>	i
<b>Oficio de aprobación</b>	ii
<b>Oficio de conformidad del comité tutorial</b>	iii
<b>Dedicatoria</b>	iv
<b>Agradecimientos</b>	v
<b>Agradecimientos a fuentes de financiamiento</b>	vi
<b>Índice de tablas</b>	ix
<b>Índice de figuras</b>	x
<b>Resumen</b>	xiv
<b>Abstract</b>	xv
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. ANTECEDENTES</b>	9
<b>3. HIPÓTESIS</b>	13
3.1 Hipótesis de trabajo	13
<b>4. OBJETIVOS</b>	13
4.1 General	13
4.2 Particulares	13
<b>6. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	14
6.1. Área de estudio	14
6.2 Variables físico-químicas del agua	16
6.3 Variables físico-químicas del sedimento	18
6.4 Variables ambientales	19
<b>7. RESULTADOS</b>	20
7.1 Variables físico-químicas del agua	20

7.2 Variables físico-químicas del sedimento	35
7.3 Variables ambientales	41
<b>8. DISCUSIÓN</b>	<b>46</b>
<b>9. CONCLUSIONES</b>	<b>51</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>52</b>

## INDICE DE TABLAS

N°	DESCRIPCIÓN	Pág.
I	Producción de peces comestibles cultivados, según los 15 primeros países productores y los principales grupos de especies cultivadas en el 2012 (FAO, 2014)	2
II	Principales países productores de organismos acuáticos en América Latina y el Caribe según el ambiente de cultivo en el 2010 (OLDEPESCA, 2010)	4
III	Resultado del diseño experimental (Bloques al azar) para los análisis de las variables físico-químicas de la columna de agua en las distintas profundidades (superficie, media, fondo) media $\pm$ D.E., $p < 0.01$ , durante un ciclo de producción de un año.	31
IV	Resultado del diseño experimental (simple completamente al azar) para los análisis de las variables físico-químicas de la columna de agua, de las estaciones ubicadas a diferentes distancias (Naranjo, Cultivo, Campana) media $\pm$ D.E., $p < 0.01$ , durante un ciclo de producción de un año.	31
V	Resultado del diseño experimental (bloques al azar) para las concentraciones de nitrógeno, fósforo y materia orgánica particulada en el sedimento (media $\pm$ D.E.), $p < 0.01$ , durante un ciclo de producción de un año.	40

## INDICE DE FIGURAS

N°	DESCRIPCIÓN	Pág.
1	Comportamiento de la producción pesquera en la región de América Latina y el Caribe 1984-2010 (OLDEPESCA, 2010)	5
2	Localización del área de estudio, Bahía de Matanchen San Blas Nayarit	15
3	Estaciones de muestreo de las variables físico-químicas del agua en el área de estudio, durante un ciclo anual de producción de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> )	16
4	Estaciones de muestreo para sedimentos, durante un ciclo anual de producción de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	18
5	Variación anual del oxígeno (mg/l), de acuerdo a la distancia en los grupos de estaciones (Naranja, Cultivo, Campana), en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	20
6	Distribución vertical del oxígeno (mg/l) respecto a la profundidad en la columna de agua, donde S= superficie, M=media, F=fondo, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	21
7	Variación anual de la temperatura (°C), de acuerdo a la distancia en los grupos de estaciones (Naranja, Cultivo, Campana), en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	21
8	Distribución vertical de la temperatura (°C), respecto a la profundidad en la columna de agua, donde S= superficie, M=media, F=fondo, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	22
9	Variación anual de la salinidad (ups), de acuerdo a la distancia en los grupos de estaciones (Naranja, Cultivo, Campana), en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	23
10	Distribución vertical de la salinidad (ups), respecto a la profundidad en la columna de agua, donde S= superficie, M=media, F=fondo, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	23

11	Variación anual del pH, de acuerdo a la distancia en los grupos de estaciones (Naranjo, Cultivo, Campana), en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	24
12	Distribución vertical del pH, respecto a la profundidad en la columna de agua, donde S= superficie, M=media, F=fondo, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	25
13	Variación anual de amonio (mg/l), de acuerdo a la distancia en los grupos de estaciones (Naranjo, Cultivo, Campana), en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	25
14	Distribución vertical del amonio (mg/l), respecto a la profundidad en la columna de agua, donde S= superficie, M=media, F=fondo, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	26
15	Variación anual de nitritos (mg/l), de acuerdo a la distancia en los grupos de estaciones (Naranjo, Cultivo, Campana), en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	27
16	Distribución vertical de los nitritos (mg/l), respecto a la profundidad en la columna de agua, donde S= superficie, M=media, F=fondo, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	27
17	Variación anual de nitratos (mg/l), de acuerdo a la distancia en los grupos de estaciones (Naranjo, Cultivo, Campana), en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	28
18	Distribución vertical de los nitratos (mg/l), respecto a la profundidad en la columna de agua, donde S= superficie, M=media, F=fondo, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	29
19	Variación anual de fosfatos (mg/l), de acuerdo a la distancia en los grupos de estaciones (Naranjo, Cultivo, Campana), en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	29
20	Distribución vertical de los fosfatos (mg/l), respecto a la profundidad en la columna de agua, donde S= superficie, M=media, F=fondo, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	30
21	Análisis de componentes principales de las variables de estudio en la columna de agua, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	32

22	Análisis de Clústers para las profundidades en las distintas estaciones de la columna de agua, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	33
23	Análisis de Clústers para las distintas estaciones en la columna de agua, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	34
24	Análisis de Clústers para las variables en las distintas estaciones de la columna de agua, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	35
25	Variación anual de la composición granulométrica del sedimento en las estaciones, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	36
26	Variación anual de arena, limos y arcilla del sedimento en las estaciones, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	37
27	Variación anual de nitrógeno en el sedimento de las estaciones, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	38
28	Variación anual de materia orgánica en el sedimento de las estaciones, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	39
29	Variación anual del fósforo en el sedimento de las estaciones, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	39
30	Análisis de componentes principales de las variables de estudio en el sedimento, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	41
31	Variación de la temperatura superficial del agua, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	42
32	Variación anual de la concentración de clorofila (Clo-a) en la columna de agua, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	42
33	Variación anual de la concentración de materia orgánica suspendida en la columna de agua, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	43

34	Precipitación pluvial estimada en el estado de Nayarit correspondiente a los años 2014 y 2015.	44
35	Análisis de componentes principales de la temperatura superficial del agua, la clorofila-a y la materia orgánica suspendida, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	45
36	Análisis de componentes principales de la temperatura superficial del agua, la clorofila-a y la materia orgánica suspendida, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ).	45

---

## RESUMEN

Se estudiaron las variaciones ambientales que se presentaron en un cultivo de Lutjanidos en jaulas flotantes marinas (10 jaulas) en la columna de agua y el sedimento, en San Blas Nayarit, México. Para esto se utilizaron jaulas flotantes con dimensiones de 25m<sup>3</sup> donde se midió *in situ* en 12 estaciones en tres conjuntos (Naranja, Cultivo, Campana): temperatura (°C), salinidad (ups), pH y oxígeno disuelto (OD mg/l) en la columna de agua a tres profundidades distintas Superficie, Media y Fondo durante un año de cultivo. Además se analizó la calidad del agua en el área de influencia, para ello se midió durante ese mismo año y en las mismas estaciones: amonio no ionizado (NH<sub>3</sub>), nitritos (NO<sub>2</sub>), nitratos (NO<sub>3</sub>), fósforo (P), fosfatos (PO<sub>4</sub>) en las tres profundidades de agua antes mencionadas. Solo se encontraron diferencias significativas con respecto a la profundidad en el amonio, nitritos (bloques al azar, p<0.01), las máximas concentraciones se registraron en el Fondo (NH<sub>3</sub>=1.06 ± 1.03 mg/l) (NO<sub>2</sub>=0.16 ± 0.15 mg/l) y en OD las máximas concentraciones se registraron en la superficie (5.85 ± 0.9 mg/l). Respecto a los diferentes grupos de estaciones, solo se encontraron diferencias significativas en los fosfatos, para ello se aplicó un diseño completamente al azar donde p<0.01 (Campana 0.32 ± 0.21 mg/l), todas las demás variables se encontraron dentro de los rangos óptimos. Se analizaron las concentraciones de nitrógeno, materia orgánica particulada y fósforo del sedimento en siete estaciones (Norte, Sur, Este, Oeste, A, B, C), se les aplicó un diseño completamente al azar (p<0.01), solo se encontraron diferencias significativas en el fósforo de la estación Norte (3.95 ± 0.55%). Los datos de las variables ambientales (temperatura superficial, clorofila-a, materia orgánica) se obtuvieron de la base de datos GIOVANNI-NASA con series de tiempo trimestrales, con un rango máximo de 4 km de resolución. Se concluye que el cultivo de peces en jaulas flotantes en el área de estudio no causa efectos significativamente negativos al ambiente.

## ABSTRACT

A study on the effects that cause of Lutjanidae cultured in marine floating cages (10 cages) in the water column and sediment was held in San Blas Nayarit, Mexico. For this floating cages with dimensions of 25 m<sup>3</sup> which was measured *in situ* 12 stations clustered in three groups (Naranjo, Cultivo, Campana) were used: temperature (°C), salinity (ups), pH and dissolved oxygen (mg / l) in the water column at three different depths, top, in the middle of the water column and seabed for a culture year. Furthermore water quality was analyzed in the area of influence, for it was measured during the same year and at the same stations: None ionized ammonia (NH<sub>3</sub>), nitrite (NO<sub>2</sub>), nitrate (NO<sub>3</sub>), phosphorus (P), phosphates (PO<sub>4</sub>) in the three aforementioned water depths. Significant differences were found with respect to depth in the ammonium, nitrites (Randomized blocks,  $p < 0.01$ ), the maximum concentrations were recorded in the seabed (NH<sub>3</sub> =  $1.06 \pm 1.03$  mg / l) (NO<sub>2</sub> =  $0.16 \pm 0.15$  mg / l) and OD maximum concentrations were recorded on the surface ( $5.85 \pm 0.9$  mg / l). Regarding the different groups of stations, only significant differences were found in the phosphates for this a completely random was applied where  $p < 0.01$  (Campana =  $0.32 \pm 0.21$  mg / l), all other variables were found within optimal ranges. Concentrations of nitrogen, phosphorus and particulate organic matter sediment in seven stations (North, South, East, West, A, B, C) using a completely randomized design completely random ( $p < 0.01$ ), only significant differences were found in phosphorus of the North station ( $3.95 \pm 0.55\%$ ). The data of environmental variables (surface temperature, chlorophyll-a, organic matter) were obtained from the base GIOVANNI-NASA data with quarterly time series with a maximum range of 4 km resolution. It is concluded that fish farming in floating cages in the area of significant negative environmental impact study did not cause.

## 1. INTRODUCCIÓN

La maricultura alrededor del mundo ha ido en incremento debido a su factibilidad para el cultivo de peces, ya que la demanda de alimento de la población mundial es cada vez mayor. Es por ello que en la acuicultura se buscan alternativas de producción que satisfagan esa necesidad básica, por eso en las últimas décadas la industria acuícola se ha desarrollado, diversificado e intensificado (Vergara *et al.*, 2005). Existen otros factores que contribuyen a la expansión de la acuicultura entre los que se encuentran el aumento de la población, la seguridad alimentaria, el empleo, la incertidumbre en los recursos de agua dulce asociados a las poblaciones de peces silvestres. Shainee *et al.* (2013) mencionan que la escasez de aguas adecuadas en las zonas costeras para el desarrollo de la acuicultura y sus interacciones entre otros servicios ha orillado a la industria piscícola a avanzar mar a dentro. Cabe señalar que los sistemas de jaulas flotantes han sido los más utilizados en la maricultura, aunado a esto los diferentes colapsos que han sufrido algunos sistemas acuícolas en aguas continentales y la búsqueda de la óptima calidad de agua para el desarrollo de especies susceptibles a cultivo, ha permitido implementar los sistemas de jaulas flotantes como una de las mejores alternativas (Silva-Cruz *et al.*, 2011).

En el plano mundial, 15 países produjeron 92.7% de todos los peces comestibles cultivados en 2012; en Asia la producción de peces cultivados ha sido superior a las capturas de peces silvestres desde 2008, y la proporción de la acuicultura en el total de la producción alcanzó el 54% en el 2012. La producción acuícola del Japón, que había disminuido a poco más de medio millón de toneladas por el tsunami de 2011, se recuperó ligeramente hasta superar más de 0.6 millones de toneladas en 2012. En Europa y Oceanía se observaron las tasas medias de crecimiento anual más bajas en el periodo 2000-2012, correspondientes al 2.9% y el 3.5% respectivamente. Chile y Egipto llegaron a convertirse en productores de millones de toneladas en el 2012, y Brasil ha mejorado significativamente su posición mundial en los últimos años. La producción de peces comestibles ha aumentado constantemente entre los productores

principales, excepto Chile, donde los brotes de enfermedades en la acuicultura marina en jaulas de salmón del Atlántico afectaron a la producción en 2009 y 2010, antes de la recuperación y posterior expansión de la misma en el 2011-2012. Los productores más importantes, los principales grupos de especies cultivadas y sistemas de cría más importantes varían considerablemente (Tabla I). Sin embargo la acuicultura noruega, depende casi exclusivamente del cultivo marino de peces, especialmente del cultivo en jaulas de salmón del Atlántico, una especie cada vez más popular en el mercado mundial. En Japón y la República de Corea, mucho más de la mitad de sus respectivas producciones de especies comestibles corresponden a moluscos marinos, y su producción de peces cultivados depende más del cultivo marino en jaulas flotantes (FAO, 2014).

Tabla I. Producción de peces comestibles cultivados, según los 15 primeros productores y los principales grupos de especies cultivadas en el 2012 (FAO, 2014).

Productor	Peces de escama		Crustáceos	Moluscos	Otras especies	Total nacional	Proporción del total mundial
	Acuicultura continental	Cultivo marino					
	toneladas		toneladas	toneladas	toneladas	toneladas	porcentaje
China	23 341 134	1 028 399	3 592 588	12 343 169	803 016	41 108 308	61,7
India	3 812 420	84 164	299 926	12 905	...	4 209 415	6,3
Viet Nam	2 091 200	51 000	513 100	400 000	30 200	3 085 508	4,6
Indonesia	2 097 407	582 077	387 688	...	477	3 067 660	4,6
Bangladesh	1 525 672	63 220	137 174	...	...	1 726 066	2,6
Noruega	85	1 319 033	...	2 001	...	1 321 119	2,0
Tailandia	380 906	19 994	623 660	205 192	4 045	1 233 877	1,9
Chile	59 527	758 587	...	253 307	...	1 071 421	1,6
Egipto	1 016 629	...	1 109	...	...	1 017 738	1,5
Myanmar	822 589	1 868	58 981	...	1 731	885 168	1,3
Filipinas	310 042	361 722	72 822	46 308	...	790 894	1,2
Brasil	611 343	...	74 415	20 699	1005	707 461	1,1
Japón	33 957	250 472	1 990	345 914	1 108	633 047	1,0
República de Corea	14 099	76 307	2 838	373 488	17 672	484 404	0,7
Estados Unidos de América	185 099	21 169	44 928	168 329	...	420 024	0,6
Subtotal de los 15 productores principales	36 302 688	4 618 012	5 810 835	14 171 312	859 254	61 762 101	92,7
Resto del mundo	2 296 562	933 893	635 983	999 426	5 288	4 871 152	7,3
Mundo	38 599 250	5 551 905	6 446 818	15 170 738	864 542	66 633 253	100

FAO, 2014, 2014

La sobre explotación pesquera y la búsqueda de alternativas ante la pobreza crónica ha llevado a explorar el campo de la maricultura, por medio de un enfoque ecosistémico mediante dos procesos paralelos: una estrategia de investigación en

laboratorio para la producción larval de peces marinos tropicales y una estrategia de co-manejo para desarrollar el cultivo de peces marinos tropicales (Herrera-Ulloa *et al.*, 2009). La engorda y producción de organismos acuáticos en jaulas es una práctica relativamente nueva en la acuicultura, aunque los orígenes del uso de jaulas para mantener y transportar los peces por períodos cortos se remontan a dos siglos atrás en Asia, el cultivo comercial en jaulas en el mar se inició en Noruega en los años de 1970 con el surgimiento y desarrollo de la cría de salmón (Tacon *et al.*, 2008).

Halwart *et al.* (2008), mencionan que la acuicultura comercial en jaulas se ha limitado principalmente a la cría de especies de peces con escamas de alto valor (en términos comerciales) alimentados con alimento balanceado, entre los que se incluyen el salmón del Atlántico (*Salmo salar*), coho (*Oncorhynchus kisutch*) y salmón rey (*Oncorhynchus tshawytscha*), la mayor parte de las principales especies de peces carnívoros marinos y de agua dulce incluyendo el medregal de Japón (*Seriola quinqueradiata*), besugo (*Pagellus bogaraveo*), corvina japonesa, lubina dorada (*Dicentrarchus labrax*), cobia (*Rachycentron canadum*), trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) criada en el mar, tollo mandarín, y cabeza de serpiente (*Charina argus*), junto a una proporción creciente de especies de peces omnívoros de agua dulce (incluyendo a la carpa china (*Cyprinus carpio*), tilapia, cachama negra (*Colossoma macropomum*) y bagre (Siluriformes). A nivel de especies, existen cerca de 80 especies que se cultivan hoy en jaulas, una de ellas (*Salmo salar*) representa más de la mitad (51%) de toda la producción en jaulas, y otras cuatro especies trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*), medregal del Japón (*Seriola quinqueradiata*), (*Pangasius spp*) y salmón coho (*Oncorhynchus kisutch*) representan cerca de la cuarta parte (27%). El 90% de la producción total procede de tan sólo ocho especies (además de las mencionadas anteriormente: *Oreochromis niloticus* (tilapia del Nilo), *Sparus aurata* (dorada), *Pagrus auratus* (pargo rosado) y *Dicentrarchus labrax* (lubina); el otro 10% corresponde a más de 70 especies. Sobre la base de la información obtenida de los estudios regionales, el salmón del Atlántico es en la actualidad por volumen y valor la especie que más se

cultiva. Dentro de ese 10% restante se encuentran las especies de la familia Lutjanidae, entre ellas el pargo lunarejo *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869).

Según la Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero (OLDEPESCA, 2010) el desarrollo de la actividad en ambientes marinos, actualmente es considerada como uno de los pilares para el futuro acuícola; el cual debe ser dirigido correctamente para evitar un crecimiento desordenado que podría generar problemas aún más graves que los ya existentes en el sector de la extracción de recursos hidrobiológicos (sociales, económicos, ambientales). La producción acuícola de América Latina en el 2010, sobre todo el cultivo en ambiente marino, estuvo encabezado por Chile con el 71% y seguido de México con tan sólo un 11% de las 953 mil toneladas de la acuicultura marina de la zona. Por otra parte, la producción dulceacuícola estuvo liderada por Brasil, que representó el 59% de las 670 mil toneladas de organismos dulceacuícolas producidos en la región. Finalmente se observa que Ecuador fue el país con los mayores volúmenes de producción acuícola en ambientes salobres, pues representó el 72.3% de la producción salobre (Tabla II).

Tabla II. Principales productores de organismos acuáticos en América Latina y el Caribe según el ambiente de cultivo en el 2010 (OLDEPESCA, 2010).

Puesto	Aguas marinas			Agua dulce			Agua salobre		
	País	(t)	Participación	País	(t)	Participación	País	(t)	Participación
1	Chile	676,704	71.00%	Brasil	395,701	59.00%	Ecuador	223,313	72.30%
2	México	104,657	11.00%	Colombia	67,678	10.10%	Guatemala	21,921	7.1%
3	Brasil	85,058	8.90%	Ecuador	48,604	7.30%	Nicaragua	16,587	5.40%
4	Perú	71,701	7.50%	Chile	36,238	5.40%	Venezuela	13,000	4.20%
5	Colombia	12,689	1.30%	Cuba	26,747	4.00%	Honduras	11,054	3.60%
-	Otros	2,925	0.30%	Otros	96,376	14.30%	Otros	23,167	7.50%
	<b>Total</b>	<b>950,734</b>	<b>100.00%</b>		<b>670,115</b>	<b>100%</b>		<b>307,367</b>	<b>100%</b>

Elaborado por OLDEPESCA, con datos de la FAO.

La acuicultura en Latinoamérica ha tomado gran relevancia en los últimos años con respecto a la producción de pesca. En el 2010 las capturas pesqueras representaron

el 86.6% del total de la producción pesquera regional, mientras que la acuicultura produjo 1,932 millones de toneladas, equivalente al 13.2% (Figura 1).

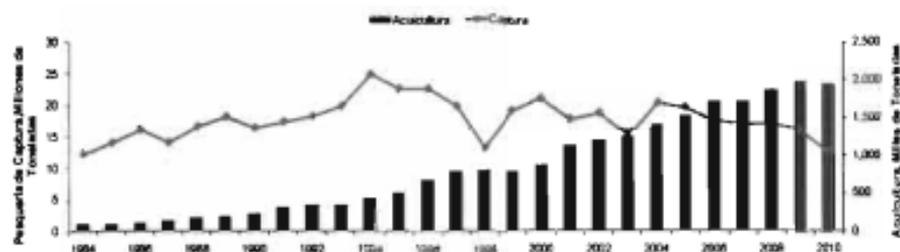


Figura 1. Comportamiento de la producción pesquera en la región de América Latina y el Caribe 1984-2010 (OLDEPESCA, 2010).

Entre los cultivos extensivos más exitosos en México se tienen el de tilapias y pargos, de las cuales la tilapia ha sido diseminada en una amplia variedad de cuerpos de agua en diferentes regiones del país, estableciéndose importantes mercados derivados de la acuicultura; siendo ésta la especie que representa más del 60% de la producción nacional (Apún *et al.*, 2009). En México actualmente el cultivo de los pargos se efectúa en jaulas flotantes ubicadas en las costas de Baja California Sur, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. La acuicultura en éste país es una de las actividades con mayor potencial y desarrollo en los últimos años, la cual arroja beneficios sociales y económicos que se traducen en una fuente de alimentación para la población con un elevado valor nutricional y costos accesibles, no obstante éste desarrollo ha sido insuficiente (Álvarez *et al.*, 2012). Es notable el desarrollo e incremento en sus niveles de producción, pero también es cierto que los diversos impactos al ambiente es una preocupación creciente que tiene que ser considerada para cualquier diseño de producción acuícola. La intensificación de la producción acuícola conlleva, igualmente, mayores riesgos ambientales y económicos, que a su vez requieren el uso de nuevas técnicas de administración de las granjas, controles reguladores en el país y sistemas de vigilancia ambiental para el desarrollo sustentable del sector (FAO, 2006; Halwart *et al.*, 2008). Los desechos orgánicos e inorgánicos

que producen las jaulas marinas pueden causar eutrofización del agua debido a la elevada presencia de nutrientes, sobre todo en las zonas semi-confinadas o con poco intercambio de agua. Cerca del 85% del fósforo, de 80% del carbono y hasta un 95% del nitrógeno introducido en las jaulas puede pasar al medio marino a través de los desechos de comida, excreciones de los peces y la respiración. Estudios realizados en diversas granjas marinas, han demostrado que en ciertas ocasiones se puede detectar un impacto significativo en un radio de un kilómetro alrededor de las jaulas de cultivo, siendo éste mayor en el fondo, donde se puede observar un incremento en la demanda de oxígeno disuelto, sedimentos anóxicos, producción de gases tóxicos, cambio en las comunidades planctónicas, disminución de la diversidad en el bentos, desarrollo de especies resistentes a la contaminación que pueden resultar dañinas para las especies cultivadas y florecimientos de fitoplancton, entre otros (Arredondo-Figueroa y Ponce-Palafox, 2011).

La Bahía de Matanchen ubicada en el municipio de San Blas Nayarit, ha tenido cambios ocasionados por la erosión, la cual ha afectado negativamente las profundidades de la misma, las principales causas de esta erosión son las modificaciones antropogénicas en la bahía y en sus alrededores que incluyen la construcción de una represa hidroeléctrica, nueva infraestructura de transporte, instalaciones turísticas, un puerto y varias obras de dragado (Martínez *et al.*, 2014), las cuales podrían verse relacionadas directa o indirectamente con el desarrollo de la acuicultura de ésta zona. Ortiz-Pérez *et al.* (1999) mencionan, que en los últimos 50 años la Bahía de Matanchen alcanzó una sedimentación rápida modificando así la configuración de línea de costa de la misma bahía, información que se debe de tomar en cuenta ya que esta sedimentación limitaría las zonas potenciales de cultivo a zonas someras y de poco recambio de agua. La actividad acuícola debe estar sujeta a una relación con el ambiente, en donde la adopción de esta actividad, su incremento, fomento y promoción en las diversas regiones del país evite generar un impacto negativo sobre los ecosistemas. Por lo que se considera de suma importancia, que los programas de desarrollo acuícola correspondan a necesidades regionales que

beneficien efectivamente a la población de cada región, para esto se requiere analizar los beneficios e impactos de la acuicultura industrial y rural (Nrczagaray *et al.*, 2012).

Price *et al.* (2015) comentan, que se requieren herramientas para evaluar los riesgos de la acuicultura marina y costera a nivel mundial, así como políticas y prácticas con bases científicas que protejan esos ecosistemas, las operaciones modernas han reducido al mínimo los impactos de las granjas de peces en la calidad del agua marina, los efectos sobre el oxígeno disuelto y la turbidez son eliminados a través de una mejor administración de los recursos, el enriquecimiento de la columna de agua por los nutrientes no es detectable a más de 100 metros cuando se usan alimentos formulados y el residuo de los alimentos es minimizado. Sobre todo destacan la ubicación de estos sistemas en aguas profundas con corrientes suficientes para dispersar los nutrientes. La legislación mexicana incluye leyes para las fases de planificación y operación, el establecimiento de una instalación acuícola en los cuerpos de agua federal es manejado y controlado por un sistema de concesiones, permisos y autorizaciones expedidos por la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). La solicitud debe ir acompañada de una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), y de un informe preventivo o autorización. La Ley Ambiental exige una MIA para aquellas actividades que puedan causar desequilibrios ecológicos o superar los límites y condiciones establecidos (Rojas-Herrera *et al.*, 2008), pero a la fecha no existe un protocolo de manejo que regule los alcances en materia ambiental a este tipo de cultivos, considerando el potencial de desarrollo que tienen estos tipos de sistemas acuícolas, hay oportunidad de aplicar las mejores técnicas disponibles para desarrollar ésta industria y hacerlo de una manera responsable con el medio ambiente; si todos los interesados tanto los organismos públicos como los reguladores tiene una clara comprensión de los riesgos relativos al medio ambiente y las soluciones viables para minimizar, gestionar o eliminar dichos impactos (Price *et al.*, 2013).

Por todo lo anterior, el presente estudio de las variables ambientales que están intrínsecamente relacionadas con el cultivo de peces marinos en la Bahía de

Matanchen, pretende aportar información con bases metodológicas que contribuyan al conocimiento científico de sus interacciones y pueda servir para la toma de decisiones y futuros trabajos.

## 2. ANTECEDENTES

La rápida expansión de los cultivos de peces en jaulas flotantes en el mar, la demanda insatisfecha de provisión de alimento, la diversificación de las tecnologías de cultivo, los alimentos balanceados con diferentes concentraciones proteicas, pero sobre todo, la falta de regulaciones sanitarias por las autoridades competentes al no contar con protocolos adecuados y aplicables con bases científicas para la correcta operación de los sistemas de jaulas flotantes en el mar, ha motivado a investigadores a enfocarse en ésta problemática con vista al desarrollo inmediato de las piscifactorías alrededor del mundo. En este sentido se han realizado diversas investigaciones para conocer el comportamiento de las diferentes variables ambientales y de la posible correlación que pudiera existir entre éstas y los diversos cultivos en jaulas flotantes.

En Asia y particularmente en China diversos investigadores (Guo *et al.*, 2009; Kaymakci *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2011) analizaron los distintos efectos que producen los desechos de las jaulas flotantes a la columna de agua y el sedimento, a su vez estudiaron las relaciones entre nitrógeno-fósforo en periodos de inactividad en lagos poco profundos de China y en corales de aguas turbias. Analizaron oxígeno disuelto, partículas de carbono orgánico, clorofila-a y compuestos nitrogenados en el agua, así como también en sedimentos: materia orgánica, carbono orgánico total y metales pesados (Zn, Cu y Fe). Reportan que los mayores impactos se registraron cerca del sistema de jaulas flotantes, además encontrando diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones de muestreo. El análisis de discriminación canónica que aplicó Huang *et al.* (2011) de los parámetros ambientales, reveló que los altos niveles liberados de amonio, nitrito y la clorofila-a, eran los principales indicadores de contaminación además de la sedimentación y turbidez.

Se han realizado estudios (Cromei *et al.*, 2008; Tomassetti *et al.*, 2009) sobre los efectos directamente producidos por sistemas de jaulas flotantes en el mar sobre el

bentos oceánico, principalmente en Europa. Se aplicaron modelos para medir el impacto de diversos cultivos de interés comercial. Esto se llevó a cabo mediante la evaluación de macro fauna a través de parámetros físico-químicos. Aunado a esto se han evaluado los efectos que producen los residuos orgánicos en la fauna bentónica como indicador biológico. Se obtuvo como resultado de estas investigaciones que existe una respuesta biológica a la eutrofización de los sedimentos y un enriquecimiento en las variables físico-químicas sobre todo en cultivos de *Gadus morhua* (bacalao del Atlántico). Sin embargo, Domínguez *et al.* (2001) y Aguado-Giménez *et al.* (2004), reportan que no observaron un aumento en la materia orgánica y que el contenido de fósforo mostró un patrón estacional debajo de las jaulas, el cual consistió en una disminución de la concentración después de la ingesta de alimento. Las concentraciones de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo total, no se vieron afectadas. Además realizó un comparativo de los sedimentos debajo de las jaulas del cultivo en altamar de dorada (*Sparus aurata*) durante un periodo de un año desde el inicio de operaciones agrícolas, se recogieron muestras de tres zonas: dos puntos debajo de las jaulas, cuatro puntos a 60 metros de distancia de las jaulas, y cuatro puntos a 200 metros de distancia de las jaulas; se analizaron materia orgánica y el contenido de fósforo. El análisis estadístico de todos los parámetros no mostró diferencias significativas entre las muestras dentro de la misma zona ni entre otras. Sin embargo el contenido de nitrógeno de los sedimentos debajo de las jaulas fue significativamente mayor que en las otras dos zonas. Además en África se han realizado distintas investigaciones con tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en jaulas flotantes, inclusive se ha estudiado la composición y abundancia de las poblaciones de peces silvestres alrededor de cultivos en jaulas flotantes (Degefu *et al.*, 2011; Ozgu y Ángel, 2013). Se determinó que los efectos ocasionados sobre la composición de la calidad del agua y de la comunidad pelágica en comparación con el estado trófico del embalse. Se determinó que el agua se volvió hipereutrófica con una fuerte correlación entre la clorofila-a y fósforo total. A pesar de ello las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos y otros parámetros físicos no mostraron diferencias significativas entre las jaulas en aguas abiertas. En general la abundancia, biomasa y diversidad de peces silvestres eran mayores en las jaulas marinas que en los sitios de referencia de

aguas abiertas, lo que implica que los sistemas de jaulas flotantes son refugios y estructuras de agregación de diversas especies, lo cual permite que se recuperen las poblaciones de los bancos de peces, ya que se cuantificaron más de 25 familias, entre ellas más de 39 especies de peces.

No se debe desestimar la importancia que conllevan los diversos efectos de la contaminación biológica en las jaulas flotantes causada por algas, crustáceos y bivalvos principalmente. En Oceanía particularmente en Australia Fitridge *et al.* (2012) analizaron el problema que afecta tanto a estructuras de jaulas flotantes como a las especies cultivadas; a una amplia gama de organismos incrustantes a las que son expuestas y que generan impactos negativamente significativos en la producción. El impacto típico se ve reflejado en la infraestructura que restringe el intercambio de agua aumentando así las posibilidades de enfermedades en los organismos cultivados. Se estimó que se requiere entre un 5% a 10% de los costos de la producción para una mitigación eficaz.

Con respecto a los diferentes estudios que se han realizado en México en estos tipos de sistemas de cultivos (jaulas flotantes en el mar) con varias especies, entre las que destacan *L. peru* (huachinango), *L. guttatus* (pargo de la mancha), *Rachycentron canadum* (cobia) y *Sciaenops ocellatus* (corvina), en Oaxaca, Campeche y Nayarit (Flores *et al.*, 2009; Silva-Cruz *et al.*, 2011; Castillo-Vargasmachuca *et al.*, 2008). En dichos trabajos se analizó el efecto de la carga de carbón orgánico sobre la calidad del agua y el sedimento, además valoraron los impactos de éste sistema de maricultura y analizaron los cambios de la calidad del agua a corto y largo plazo.

Se observó que existe una correlación positiva entre la temperatura del agua y el potencial de óxido reducción sobre todo en la zona más profunda, además los resultados mostraron altas concentraciones de nitrógeno (mayor a 0.5%) y materia

orgánica (> 80%), tanto en la zona de cultivo como en las estaciones control. No se encontraron concentraciones altas de nitritos, nitratos, amoníaco y fosfatos en el agua, en un rango de 0.1 a 100 mg/l (Flores *et al.*, 2009). Las variaciones encontradas por Castillo-Vargasmachuca *et al.* (2008) en Nayarit en la columna de agua muestra que no existen diferencias significativas en la concentración de nutrientes. Estos trabajos permitieron conocer de forma directa que existe un enriquecimiento orgánico del sedimento y a pesar de que las concentraciones de las variables se incrementaron con respecto a la profundidad, estas no fueron significativamente distintas; lo que implica que el constante movimiento del agua causado por las corrientes marinas, las cuales, seguramente transportaron los desechos generados por las jaulas hacia otros lugares (Silva-Cruz *et al.*, 2011). Sin embargo, se debe de considerar que cuando se trabaja con densidades de 20 a 28 peces/m<sup>3</sup> y se manejan cantidades <60 ton/alimento/año, no impacta la calidad del agua en el sistema de cultivo en jaulas flotantes y que se debe de tener en consideración la hidrodinámica de la zona de cultivo.

### **3. HIPÓTESIS**

#### **3.1 Hipótesis de trabajo**

El cultivo de peces durante un año de producción en un sistema de jaulas flotantes marinas con una biomasa total de ocho toneladas, no modifica las características de la calidad del agua y del sedimento en el área de estudio.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1 General**

Evaluar las variaciones temporales de la calidad del agua y del sedimento, durante un año de producción de un cultivo de peces en jaulas flotantes marinas.

#### **4.2 Particulares**

- Determinar las variaciones anuales en la columna de agua: temperatura, pH, oxígeno disuelto, salinidad, amonio, nitritos, nitratos y fosfatos.
- Caracterizar las variaciones anuales de la concentración de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, en el sedimento del área de influencia del cultivo.
- Analizar la variación estacional de temperatura, clorofila-a y materia orgánica particulada en el área de cultivo.

## 6. MATERIAL Y MÉTODOS

### 6.1. Área de estudio

El área de estudio está ubicada en la "Bahía de Matanchen" (Figura 2), localizada al sureste de San Blas Nayarit, México, que limita por el noroeste con "Las Islitas" y al sureste con "Punta La Campana", en ésta bahía desembocan dos sistemas estuarinos: El estero "San Cristóbal" y el estero "Pozo del Rey", la topografía del fondo presenta características uniformes con lechos arenosos, fangosos y arcillosos, los accidentes de fondo son escasos. La profundidad de la bahía en las zonas cercanas a la playa presentan un rango de 3.15 a 5.8 metros, en la parte media tienen profundidades entre 4.5 a 12.8 metros y en zonas más profundas y lejanas a la playa presentan profundidades que van de 8.2 a 18.7 metros (Flores, 1994).

Esta área de estudio se encuentra localizada en la entrada del "Golfo de California" la cual es una región oceánica afuera de la boca de este golfo. Está comprendida entre "Cabo San Lucas", Baja California Sur (22°52'N), "Cabo Corrientes", Jalisco (20°24'N) e "Isla Socorro", Archipiélago de Revillagigedo, Colima (18°45'N, Roden, 1972). Es una región transnacional donde confluyen, masas de agua de diferentes orígenes (Farber *et al.*, 2010; Maske *et al.*, 2010). La variabilidad estacional de las corrientes de gran escala es otro proceso importante, la cual esta modulada por la expresión superficial de la "Corriente de California" y por el arribo de las aguas tropicales que avanzan desde el sur en el verano. Una revisión reciente de las corrientes de gran escala la hace Kessler (2006) y Godínez *et al.* (2010) los cuales atribuyen la variabilidad de las corrientes costeras al efecto local del viento. La circulación es débil en la región oceánica porque hay muy poca influencia de corrientes de gran escala (Niiler, 2001). En la región costera Strub y James (2002a) reportan direcciones de flujo hacia el sur en invierno y hacia el norte el resto del año.

El estudio se realizó dentro del polígono de concesión otorgado a la Cooperativa "Blakis en progreso S.C. de R.L." de Santa Cruz de Miramar (Latitud 21.6017, Longitud -105.1478), en el que se encuentra instalado un sistema de jaulas cúbicas flotantes (125 m<sup>3</sup>) para el cultivo de peces.



Figura 2. Localización del área de estudio, Bahía de Matanchén San Blas Nayarit.

Se realizaron transectos en el área de estudio donde se ubicaron doce estaciones, etiquetadas como I, II, III, IV, V, VI, VII y VIII. Las cuales ocho se establecieron a una distancia de 500 metros entre cada una de ellas y cuatro (IX, X, XI, XII) en las jaulas flotantes (Figura 3), donde se midieron variables físico-químicas de la columna de agua, tales como temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/l), pH, salinidad (ups), amonio (mg/l), nitritos (mg/l), nitratos (mg/l) y fosfatos (mg/l). Los transectos iniciales y la georreferenciación de las estaciones de muestreo se realizaron a bordo del buque motor "Don Emilio" con una Videosonda Fishfinder 90® (Garmin) y GPS Etrex Legend H® (Garmin) respectivamente. Para obtener los valores *in situ* de temperatura y oxígeno se utilizó un oxímetro (YSI-55®), el pH se midió con un potenciómetro portátil

(HANNA®), la salinidad con refractómetro (Brixco®). La toma de muestras de agua se realizó mensualmente con una botella Van Dorn® y la determinación de nutrientes: amonio ( $\text{NH}_3$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4$ ) y fósforo (P) con un espectrofotómetro (YSI 9500®).



Figura 3. Estaciones de muestreo de las variables fisico-químicas del agua en el área de estudio, durante un ciclo anual de producción de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

## 6.2 Variables fisico-químicas del agua

Los muestreos de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad (ups), pH, oxígeno ( $\text{mg/l}$ ) se realizaron *in situ* cada mes a la misma hora durante un año en tres profundidades de la columna de agua: superficie (S), media (M) y fondo (F).

Las estaciones se dividieron en tres grupos:

- 1) Naranjo: aquellas estaciones ubicadas en dirección de la desembocadura del río "Naranjo" (estaciones I, II, III, IV).
- 2) Cultivo: las estaciones ubicadas dentro de las jaulas flotantes (IX, X, XI, XII).

- 3) Campana: aquellas estaciones ubicadas cerca de una piedra o islote denominado "La campana" (V, VI, VII, VIII).

Para el análisis de amonio ( $\text{NH}_3$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y fosfatos ( $\text{PO}_4$ ), se colectó agua mensualmente durante un año, de tres profundidades: superficie (S), media (M) y fondo (F) de cada una de las estaciones (agrupadas en : Naranja, Cultivo y Campana). El agua se conservó en botellas de 600 ml, se sellaron, etiquetaron y se colocaron en una hielera, se trasladaron al laboratorio de Bioingeniería Costera de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera localizada en la Bahía de Matanchen, donde se les realizaron los análisis respectivos.

Para la determinación de amonio ( $\text{NH}_3$ ) se utilizó el método de indofenol. El amonio reacciona con salicilato alcalino en presencia de cloro para formar un indofenol verde-azul complejo, los catalizadores se incorporan para garantizar el desarrollo completo y rápido de color. Los nitritos ( $\text{NO}_2$ ) a través de la reacción con el ácido sulfanílico, el compuesto resultante es un compuesto rojizo que de acuerdo a su intensidad es la concentración de la variable. Para la determinación de los nitratos ( $\text{NO}_3$ ) primero se reducen a nitritos, el nitrito resultante se determina mediante la reacción de diazonio para formar un tinte rojizo. Los fosfatos ( $\text{PO}_4$ ) se determinaron a través de hacerlos reaccionar en condiciones ácidas con molibdato de amonio para formar ácido fosfomolibdico, el cual es reducido por el ácido ascórbico para formar un color azul característico del molibdeno. Todos los métodos antes descritos son leídos con un fotómetro YSI 9500®.

Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SPSS v.22, se realizó un diseño experimental simple completamente al azar ( $Y_i = \mu + T_i + \xi_i$ ): para los tres grandes grupos de estaciones según su distancia (Entrada, Cultivo, Salida) y una prueba de Tukey ( $p < 0.01$ ) donde hubo diferencias significativas. Posteriormente se hizo un diseño de bloques al azar ( $Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \xi_{ij}$ ) para las tres profundidades (S,

M, F), haciendo un análisis de variancia de una vía (ANDEVA) para cada variable y en las que hubo diferencias significativas se realizó una prueba de Tukey ( $p < 0.01$ ), en el que se compararon sitios y meses de muestreo para conocer el comportamiento-espacio temporal. Posteriormente se les efectuó un análisis de Clúster y de componentes principales para determinar las correlaciones existentes entre las variables estudiadas.

### 6.3 Variables fisico-químicas del sedimento

Se establecieron las estaciones para la toma de muestras de sedimentos (Figura 4) durante un año, las cuales se realizaron mensualmente en siete estaciones. Tres estaciones (A, B, C) se ubicaron en el sistema de cultivo, las estaciones "A y C" se ubicaron en los extremos del sistema de jaulas a 100 metros de distancia respectivamente, las cuales se consideraron estaciones control y sirvieron para determinar los alcances de arrastre de sedimentos por las corrientes, la estación "B" se colocó en la parte central entre los dos trenes de jaulas (cinco jaulas cada uno), las otras cuatro estaciones se definieron de acuerdo a los puntos cardinales (Norte, Sur, Este, Oeste) con respecto al sistema de cultivo.



Figura 4. Estaciones de muestreo para sedimentos, durante un ciclo anual de producción de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

Las muestras de sedimento se colectaron con una draga manual y buceo autónomo, se colocaron en bolsas de plástico, se etiquetaron y trasladaron al "Laboratorio de suelos" de la Universidad Autónoma de Nayarit donde se les realizó el análisis correspondiente para cada variable en estudio de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 (DOF/2002), para determinar composición granulométrica se utilizó el método de Bouyoucos (AS-09), la materia orgánica se determinó a través del método de Welkey y Black (AS-07), para el nitrógeno se empleó el método de Micro Kjeldahl (AS-08), para el fósforo se utilizó el método de Olsen *et al.* (AS-10).

Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SPSS v.20, se usó un diseño experimental de bloques al azar ( $Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \xi_{ij}$ ) efectuándoles un análisis de varianza de una sola vía (ANDEVA) para cada variable, donde se encontraron diferencias significativas se realizó una prueba de Tukey ( $p < 0.01$ ) en el que se comparó sitios y meses de muestreo para conocer el comportamiento temporal. Posteriormente se les efectuó un análisis de Clúster y de componentes principales para determinar las correlaciones existentes entre las variables estudiadas.

#### **6.4 Variables ambientales**

Para el análisis de las variables ambientales temperatura superficial ( $^{\circ}\text{C}$ ), clorofila a (Clo-a) y materia orgánica (MO) durante el año de cultivo se obtuvieron series de tiempo de la base de datos Giovanni (Nasagov, 2016). Estos datos se obtuvieron en series de tiempo que arroja trimestralmente el satélite *Aqua-Modis*, con una lectura máxima en el área de estudio de 4 km. Posteriormente se les efectuó un análisis de Clúster y de componentes principales para determinar las correlaciones existentes entre las variables estudiadas.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Variables físico-químicas del agua

#### 7.1.1 Oxígeno

La variación anual del oxígeno en los diferentes grupos de estaciones (Figura 5) se mantuvo en un rango de 3.5 a 6.5 mg/l, el mes de septiembre presentó las menores concentraciones (3.5 mg/l) y las mayores concentraciones (6.5 mg/l) se presentaron en las estaciones denominadas campana, durante Febrero.

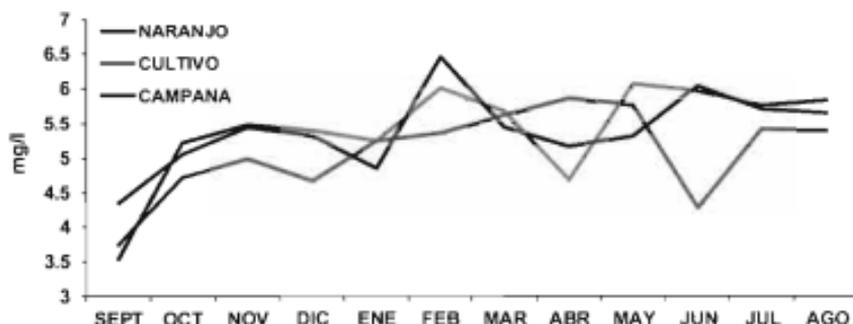


Figura 5. Variación anual del oxígeno (mg/l), de acuerdo a la distancia en los grupos de estaciones (Naranjo, Cultivo, Campana), en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

Respecto a la distribución vertical del oxígeno en la columna de agua la menor concentración fue durante septiembre en las estaciones de entrada y cultivo (Figura 6), las estaciones de salida se mantuvieron en un rango de 3.0 a 7.5 mg/l de oxígeno, las mayores concentraciones se registraron en la superficie de la columna de agua, esta concentración disminuyó conforme la profundidad aumentó.

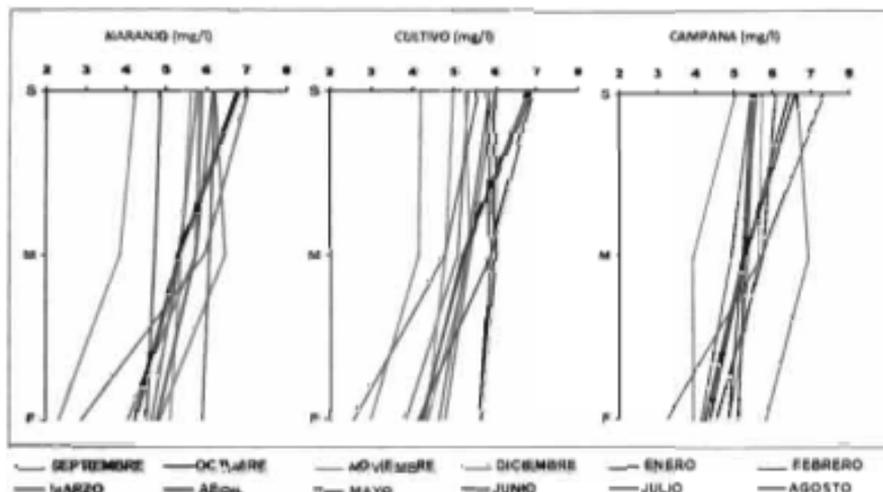


Figura 6. Distribución vertical del oxígeno (mg/l) respecto a la profundidad en la columna de agua, donde S= superficie, M=media, P=fondo, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

### 7.1.2 Temperatura

En septiembre se registraron temperaturas de 31 °C (Figura 7), posteriormente presentó un descenso brusco hasta los 25 °C para el mes de octubre, desde octubre hasta el mayo se mantuvo desde 25 a 29 °C, posteriormente empezó a incrementarse la temperatura hasta los 32.5 °C para los meses de junio a agosto.

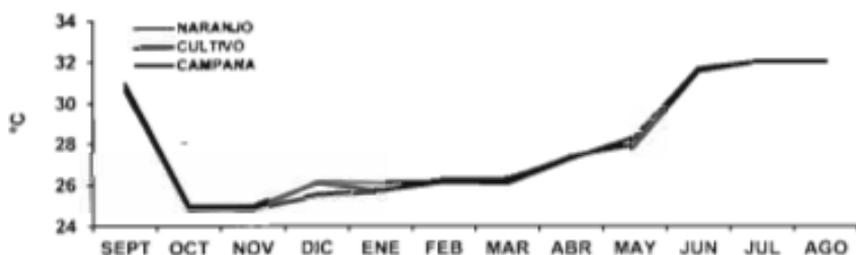


Figura 7. Variación anual de la temperatura (°C), de acuerdo a la distancia en los grupos de estaciones (Naranjo, Cultivo, Campana), en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

La profundidad no fue un factor que influyera en la disminución de la temperatura (Figura 8), los meses más cálidos fueron desde junio a septiembre ( $> 30^{\circ}\text{C}$ ), la menor temperatura se registró en octubre y noviembre ( $24.8^{\circ}\text{C}$ ), todos los grupos de estaciones presentaron la misma tendencia.

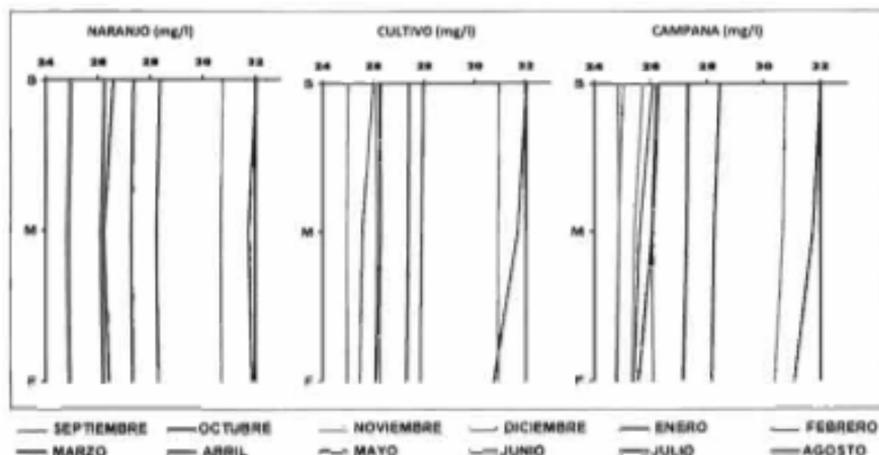


Figura 8. Distribución vertical de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), respecto a la profundidad en la columna de agua, donde S= superficie, M=media, F=fondo, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

### 7.1.3 Salinidad

En la Figura 9 se observa que la variación anual de la salinidad se registró con la misma tendencia en todas las estaciones, donde las menores unidades se registraron para el mes de septiembre, posteriormente se estabilizó desde octubre a Febrero (36 ups). Hubo un incremento para el mes de marzo de tres ups llegando a alcanzar el máximo de 39 ups el cual se mantuvo hasta mayo y posteriormente un descenso paulatino desde junio a agosto.

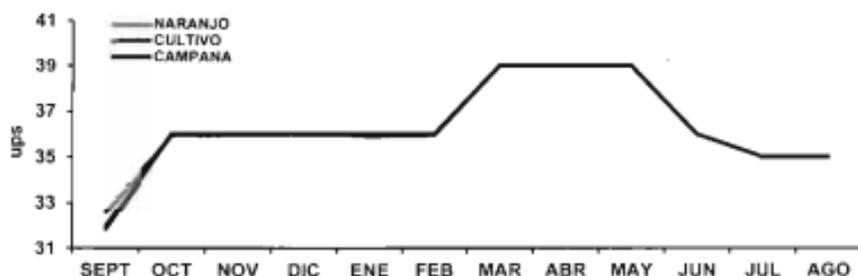


Figura 9. Variación anual de la salinidad (ups), de acuerdo a la distancia en los grupos de estaciones (Naranjo, Cultivo, Campana), en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

La salinidad tuvo un tendencia a respecto a los meses de septiembre con las menores unidades de salinidad (32 ups), de octubre a abril y junio a agosto (34.5 a 36 ups) y mayo con las concentraciones máximas con 39 ups (Figura 10)

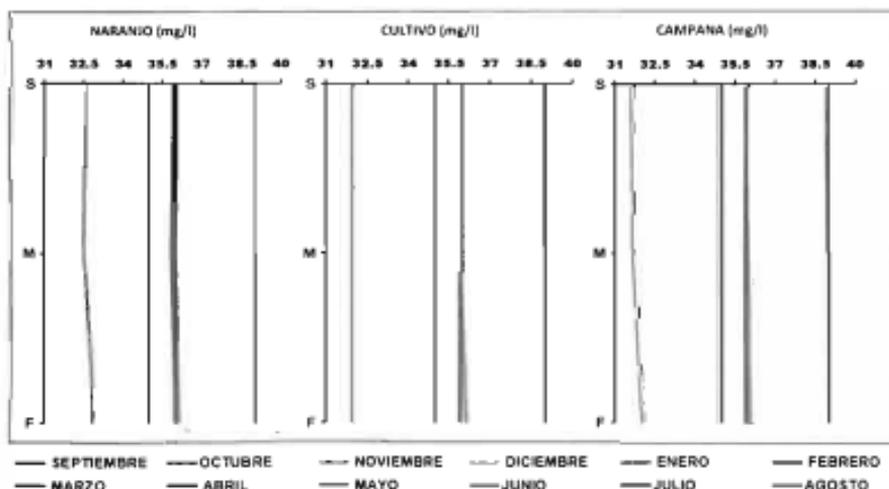


Figura 10. Distribución vertical de la salinidad (ups), respecto a la profundidad en la columna de agua, donde S= superficie, M=media, F=fondo, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

### 7.1.4 pH

En la Figura 11 se observa que la distribución anual del pH se comportó de manera similar en los tres grupos de estaciones. Las concentraciones se mantuvieron desde 7.1 a 8.5, siendo el mes de septiembre cuando se presentaron las mayores concentraciones y en marzo las mínimas.

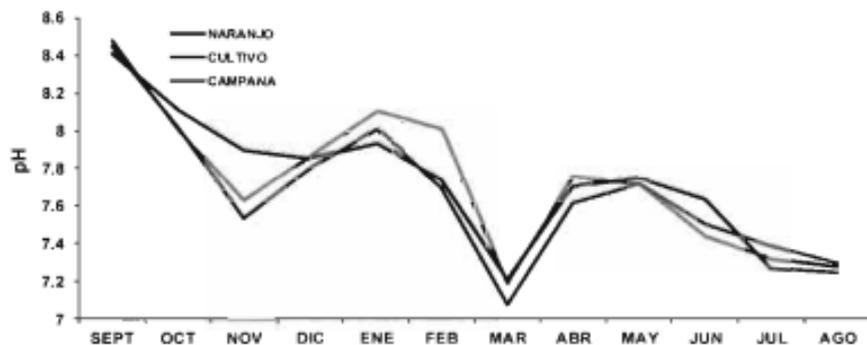


Figura 11. Variación anual del pH, de acuerdo a la distancia en los grupos de estaciones (Naranja, Cultivo, Campana), en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

En las variaciones verticales (Figura 12) se puede observar que los meses de marzo, julio y agosto en los tres grupos de estaciones presentaron las menores concentraciones (7 a 7.6), los demás meses se mantuvieron entre 7.4 y 8.2.

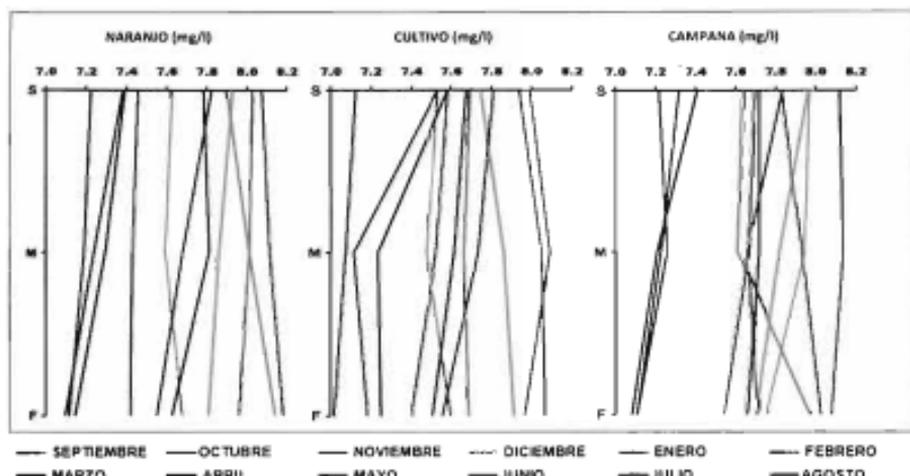


Figura 12. Distribución vertical del pH, respecto a la profundidad en la columna de agua, donde S= superficie, M=media, F=fondo, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

### 7.1.5 Amonio no ionizado

La variación anual del amonio (Figura 13) presentó una tendencia a través del tiempo, desde septiembre a mayo la concentración de amonio fue <1 mg/l, de junio a agosto se presentaron las concentraciones más elevadas (de 2 a 3 mg/l).

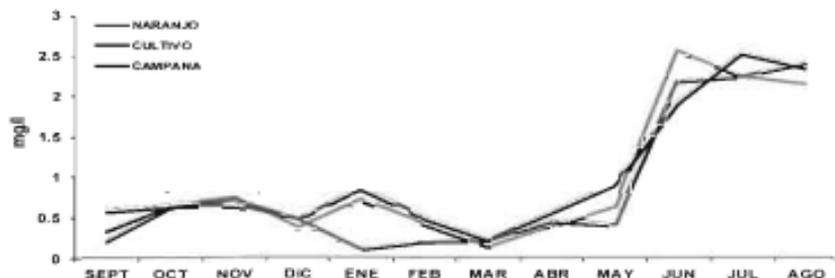


Figura 13. Variación anual de amonio (mg/l), de acuerdo a la distancia en los grupos de estaciones (Naranja, Cultivo, Campana), en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

En la distribución vertical del amonio en la columna de agua (Figura 14) se observó que las concentraciones de amonio en las diferentes profundidades se mantuvieron en un rango de 0.09 a 3.5 mg/l, en todos los grupos de estaciones, se observó que los meses que registraron las mayores concentraciones fueron junio, julio y agosto (de 1 a 3.5 mg/l) mientras que todos los demás meses se mantuvieron en un rango de 0 a 0.9 mg/l.

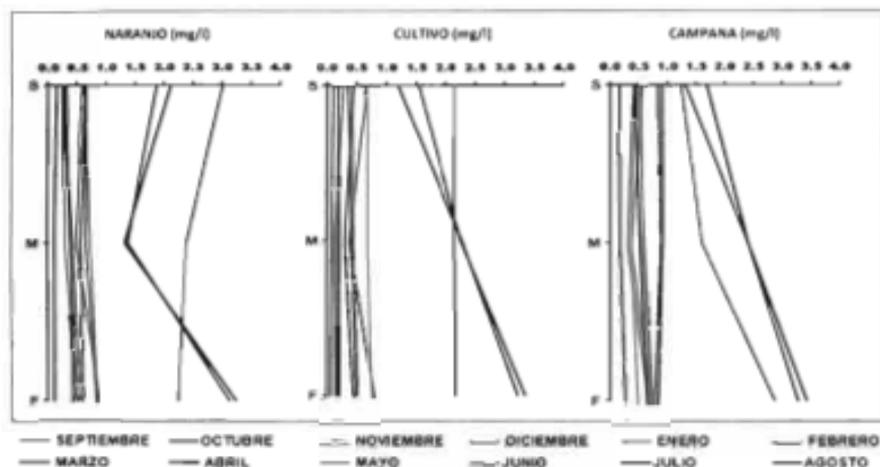


Figura 14. Distribución vertical del amonio (mg/l), respecto a la profundidad en la columna de agua, donde S= superficie, M=media, F=fondo, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

### 7.1.6 Nitritos

Se observó (Figura 15) que la variación anual de la concentración de nitritos los cuales se mantuvieron desde septiembre a mayo en un rango de 0.03 a 2 mg/l, a partir de junio se empezó a incrementar la concentración, alcanzando valores máximos de 3 mg/l en el mes de agosto.

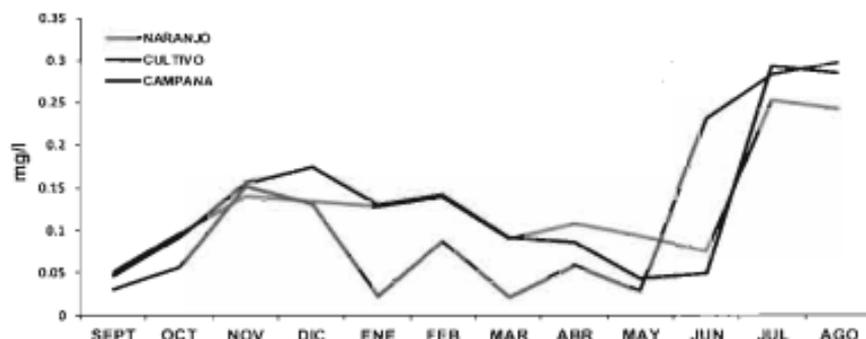


Figura 15. Variación anual de nitritos (mg/l), de acuerdo a la distancia en los grupos de estaciones (Naranjo, Cultivo, Campana), en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

Los nitritos a lo largo de todo el estudio (Figura 16) presentaron concentraciones de 0 a 0.5 mg/l en todos los grupos de estaciones con respecto a la profundidad. La mayor concentración se registró de junio a agosto.

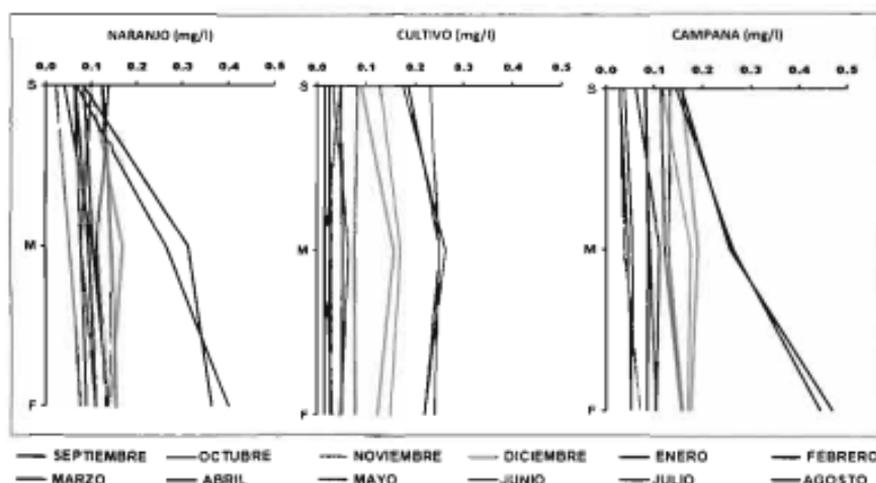


Figura 16. Distribución vertical de los nitritos (mg/l), respecto a la profundidad en la columna de agua, donde S= superficie, M=media, F=fondo, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

### 7.1.7 Nitratos

La Figura 17 muestra que las menores concentraciones de nitratos se registraron para el mes de Febrero en las estaciones cultivo (0.27 mg/l). La concentración de nitratos aumentó a partir de junio y se mantuvo  $>3$  mg/l hasta agosto.

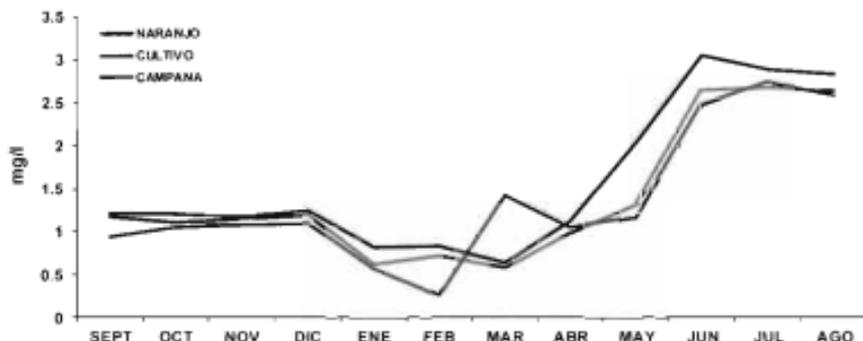


Figura 17. Variación anual de nitratos (mg/l), de acuerdo a la distancia en los grupos de estaciones (Naranjo, Cultivo, Campana), en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

La distribución vertical de la concentración de nitratos en la columna de agua (Figura 18) osciló entre 0.24 y 3.28 mg/l. Las concentraciones más elevadas se registraron en los meses de junio, julio, agosto (1.98 a 3.28 mg/l), se observó que se forman dos grupos según su concentración; de septiembre a mayo el cual se mantuvo en una concentración  $<1.5$  mg/l y el otro grupo de junio a agosto que presentó las máximas concentraciones (3.28 mg/l).

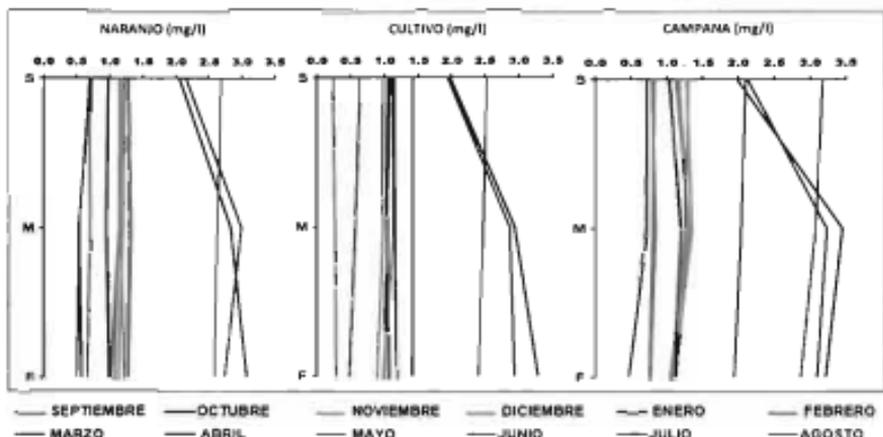


Figura 18. Distribución vertical de los nitratos (mg/l), respecto a la profundidad en la columna de agua, donde S= superficie, M=media, F=fondo, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

### 7.1.8 Fosfatos

La variación anual de los fosfatos (Figura 19) tuvo una tendencia esperada a lo largo del año de estudio para los tres grupos de estaciones. La concentración de fosfatos fue menor a 0.6 mg/l, se observa un incremento de junio a agosto.

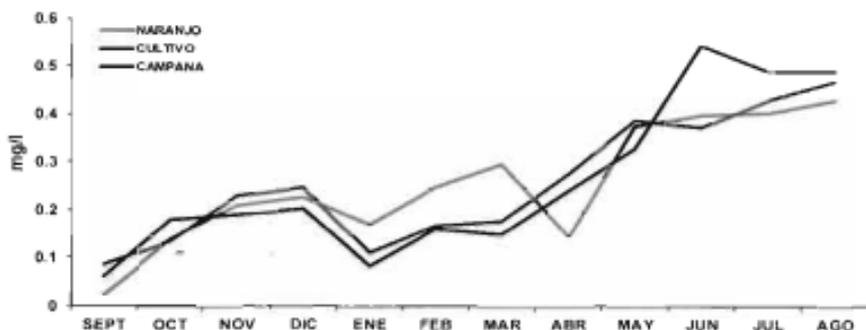


Figura 19. Variación anual de fosfatos (mg/l), de acuerdo a la distancia en los grupos de estaciones (Naranjo, Cultivo, Campana), en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

Las concentraciones de fosfatos en su distribución vertical en la columna de agua se mantuvieron en un rango de 0 a 0.85 mg/l en todas las estaciones, la Figura 20 muestra cómo las concentraciones más altas se registraron para el mes de enero (0.85 mg/l) sobre todo en las estaciones "Cultivo".

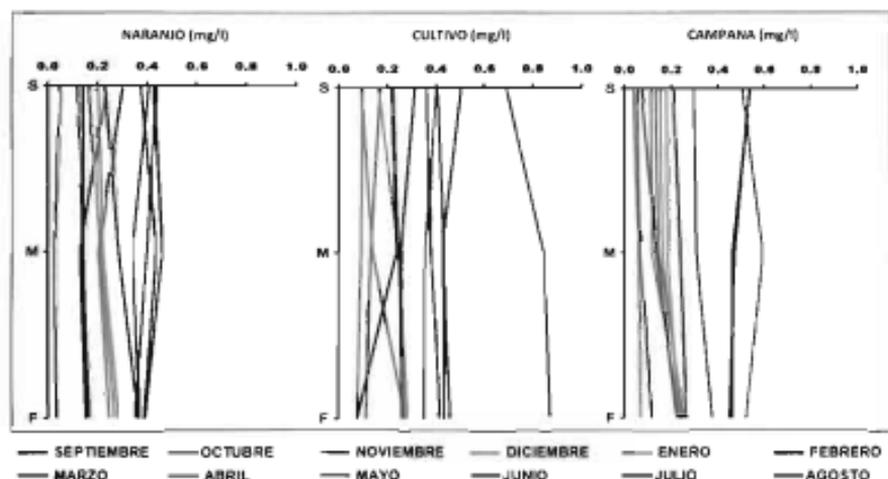


Figura 20. Distribución vertical de los fosfatos (mg/l), respecto a la profundidad en la columna de agua, donde S= superficie, M=media, F=fondo, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

### 7.1.9 Análisis estadístico

Se analizó la significancia de los resultados obtenidos, primeramente para las tres profundidades (Superficie, Media, Fondo), posteriormente en los tres grandes grupos de estaciones con respecto a las diferentes distancias (Naranjo, Cultivo, Campana).

El oxígeno presentó diferencias significativas en las tres profundidades estudiadas, en la superficie se registraron las concentraciones más elevadas  $5.25 \pm 1.10$  mg/l, conforme fue aumentando la profundidad disminuyó la concentración de oxígeno, tanto en la temperatura, el pH, la salinidad, los fosfatos y los nitratos en las distintas profundidades no se encontraron diferencias significativas. El amonio presentó diferencias significativas entre el fondo, la superficie y media. Existen diferencias

significativas en las concentraciones de nitritos entre la superficie y las otras dos profundidades (Tabla III). Con respecto a las distancias (Naranjo, Cultivo, Campana) solo los fosfatos presentaron diferencias significativas en las estaciones del grupo denominado Campana contra las estaciones de Naranjo y Cultivo (Tabla IV).

Tabla III. Resultado del diseño experimental (Bloques al azar) para los análisis de las variables físico-químicas de la columna de agua en las distintas profundidades (superficie, media, fondo) media  $\pm$  D.E.,  $p < 0.01$ , durante un ciclo de producción de un año.

	Superficie	Media	Fondo
Amonio	0.75 $\pm$ 0.75 <sup>b</sup>	0.77 $\pm$ 0.74 <sup>b</sup>	1.06 $\pm$ 1.03 <sup>a</sup>
Nitritos	0.10 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>	0.14 $\pm$ 0.19 <sup>ab</sup>	0.16 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>
Nitratos	1.30 $\pm$ 0.68 <sup>a</sup>	1.40 $\pm$ 0.92 <sup>a</sup>	1.50 $\pm$ 0.92 <sup>a</sup>
Fosfatos	0.27 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>	0.27 $\pm$ 0.19 <sup>a</sup>	0.28 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>
Temperatura	28.10 $\pm$ 2.7 <sup>a</sup>	28.02 $\pm$ 2.7 <sup>a</sup>	27.85 $\pm$ 2.7 <sup>a</sup>
Oxígeno	5.85 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	5.49 $\pm$ 0.84 <sup>b</sup>	4.62 $\pm$ 1.0 <sup>c</sup>
pH	7.74 $\pm$ 0.35 <sup>a</sup>	7.71 $\pm$ 0.41 <sup>a</sup>	7.67 $\pm$ 0.42 <sup>a</sup>
Salinidad	36.26 $\pm$ 1.88 <sup>a</sup>	36.25 $\pm$ 1.9 <sup>a</sup>	36.22 $\pm$ 1.89 <sup>a</sup>

Superíndices (a, b, c): Diferencias significativas de cada variable, respecto a la profundidad

Tabla IV. Resultado del diseño experimental (simple completamente al azar) para los análisis de las variables físico-químicas de la columna de agua, de las estaciones ubicadas a diferentes distancias (Naranjo, Cultivo, Campana) media  $\pm$  D.E.,  $p < 0.01$ , durante un ciclo de producción de un año.

	Naranjo	Cultivo	Campana
Amonio	0.93 $\pm$ 0.92 <sup>a</sup>	0.93 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	0.85 $\pm$ 0.95 <sup>a</sup>
Nitritos	0.13 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	0.13 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	0.16 $\pm$ 0.24 <sup>a</sup>
Nitratos	1.36 $\pm$ 0.83 <sup>a</sup>	1.55 $\pm$ 0.88 <sup>a</sup>	1.37 $\pm$ 0.85 <sup>a</sup>
Fosfatos	0.25 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>	0.25 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>	0.32 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>
Temperatura	28.01 $\pm$ 2.67 <sup>a</sup>	27.89 $\pm$ 2.77 <sup>a</sup>	27.99 $\pm$ 2.7 <sup>a</sup>
Oxígeno	5.25 $\pm$ 1.10 <sup>a</sup>	5.29 $\pm$ 1.01 <sup>a</sup>	5.07 $\pm$ 1.10 <sup>a</sup>
pH	7.72 $\pm$ 0.42 <sup>a</sup>	7.73 $\pm$ 0.38 <sup>a</sup>	7.65 $\pm$ 0.41 <sup>a</sup>
Salinidad	36.29 $\pm$ 1.80 <sup>a</sup>	36.24 $\pm$ 1.95 <sup>a</sup>	36.25 $\pm$ 1.92 <sup>a</sup>

Superíndices (a, b, c): Diferencias significativas de cada variable, respecto a la distancia entre los tres grupos de estaciones.

Se efectuó el análisis de componentes principales a las variables de estudio para determinar las correlaciones entre cada una de ellas, en la Figura 21 se observa que existe una alta correlación entre temperatura, nitritos, nitratos, fosfatos y amonio. El

oxígeno presenta baja correlación entre las variables antes mencionadas. El pH y la salinidad no se correlacionaron con ninguna variable estudiada.

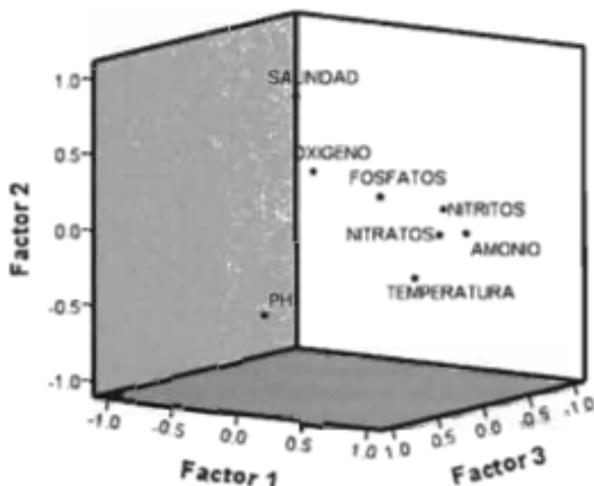


Figura 21. Análisis de componentes principales de las variables de estudio en la columna de agua, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

Se realizó un análisis de Clústers para las profundidades, las estaciones y las variables de estudio. En la Figura 22 se puede apreciar que la superficie y media forman un solo grupo en contraste con el fondo, lo cual indica que las diferentes variables analizadas se comportan de manera similar para las dos primeras profundidades no así para el "fondo", formando un grupo aislado.

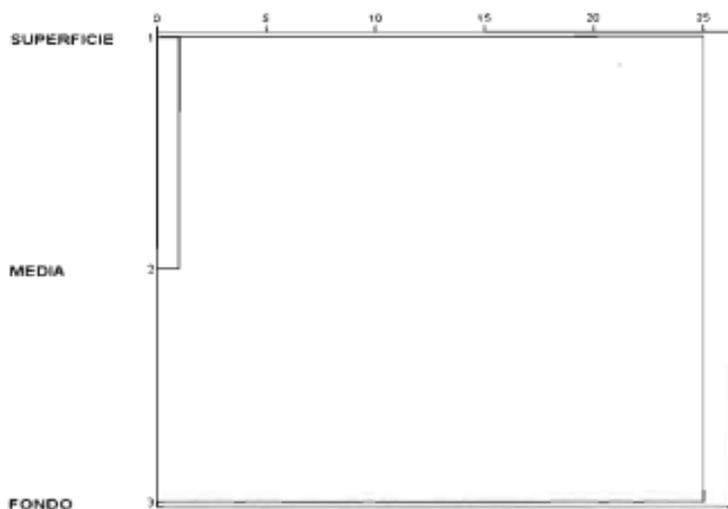


Figura 22. Análisis de Clústers para las profundidades en las distintas estaciones de la columna de agua, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

El análisis de Clúster para las estaciones permitió observar (Figura 23) que todas las estaciones se agrupan en cuatro grupos, de los cuales tres coinciden con los grupos constituidos previos a la investigación (Naranja, Cultivo, Campana) a excepción de la estación I (Naranja) la cual se comporta como las estaciones denominadas Campana y la estación V la cual forma un cuarto grupo y este se comporta de manera distinta a todas las estaciones de estudio.

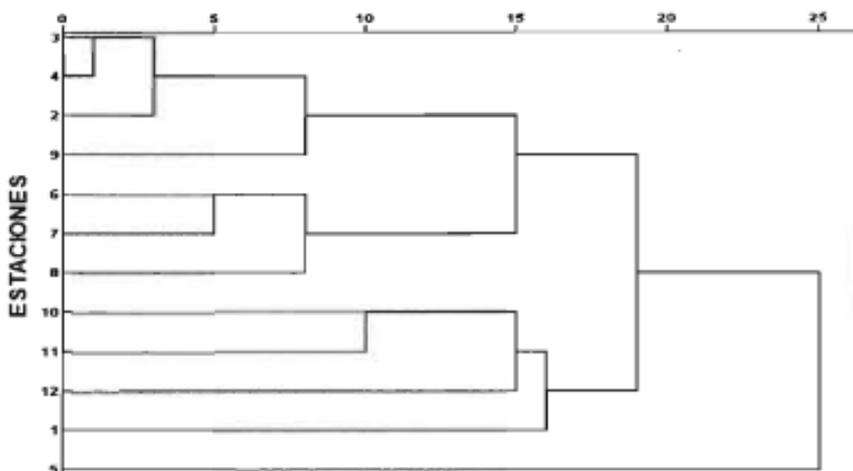


Figura 23. Análisis de Clústers para las distintas estaciones en la columna de agua, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

En la Figura 24 podemos observar que las distintas variables se constituyeron en tres grupos; el primer grupo está conformado por los nutrientes (amonio, nitritos, nitratos, fosfatos,), el segundo grupo por el oxígeno y el pH los cuales están en función de la profundidad, y el tercer grupo por la temperatura y la salinidad los cuales obedecen a la densidad de la columna de agua, también existen subgrupos entre los más destacados se encuentra el conformado por la temperatura con el oxígeno y el amonio.

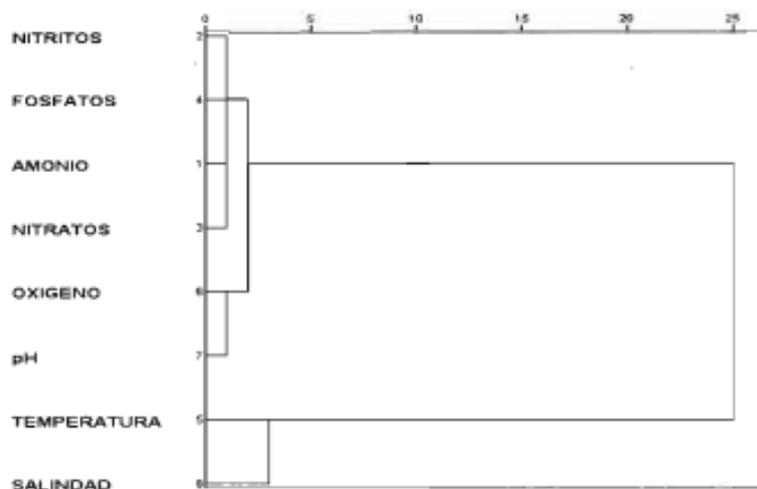


Figura 24. Análisis de Clústers para las variables en las distintas estaciones de la columna de agua, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

## 7.2 Variables fisico-químicas del sedimento

### 7.2.1 Granulometría

La Figura 25 muestra la variación porcentual anual de la composición granulométrica, donde la arena es el mayor componente (60%) en relación al limo (30%) y la arcilla (10%). La composición granulométrica en todas las estaciones durante el año de estudio se comportó de manera similar a lo mencionado.

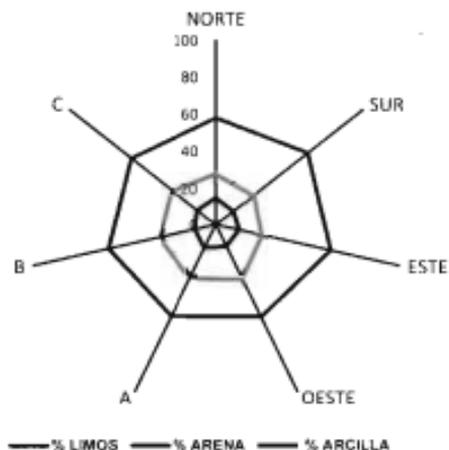


Figura 25. Variación anual de la composición granulométrica del sedimento en las estaciones, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

La Figura 26 muestra que en la composición granulométrica del sedimento, el limo se mantuvo durante el año de estudio en un rango de 16 a 50%, la arena de 40 a 80% y la arcilla de 0 a 30%, esta distribución fue constante en todas las estaciones durante la investigación.

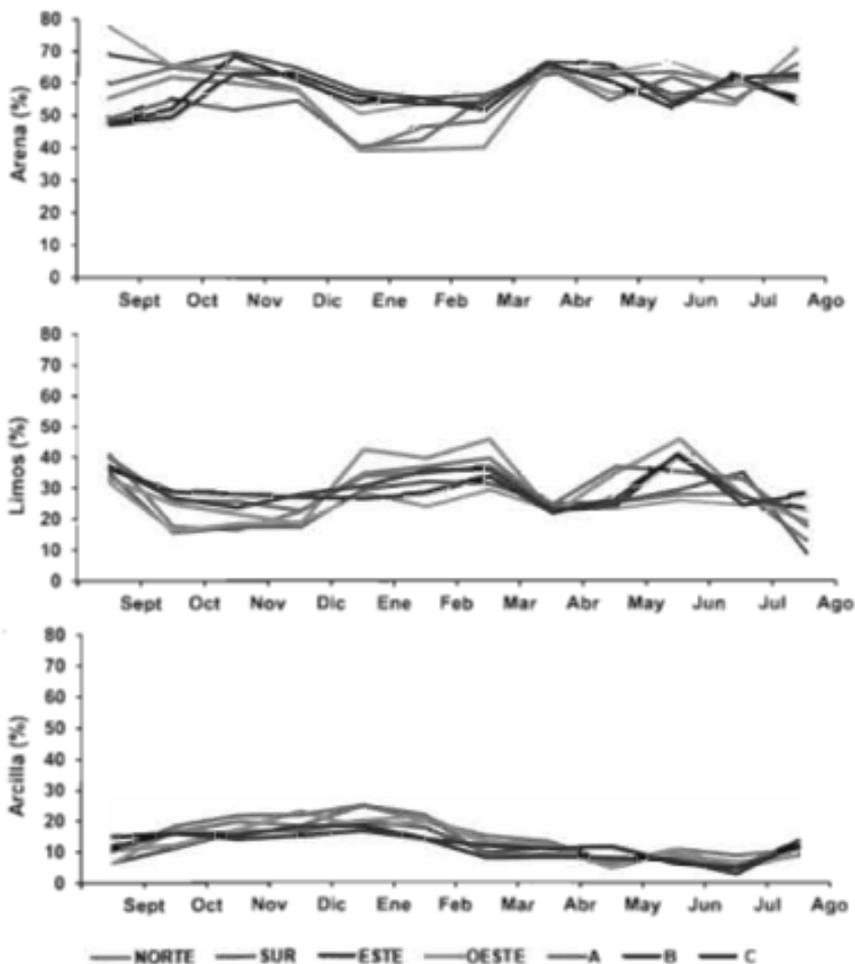


Figura 26. Variación anual de arena, limos y arcilla del sedimento en las estaciones, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

### 7.2.2 Nitrógeno

Las mayores concentraciones de nitrógeno en el sedimento (Figura 27) se presentaron desde septiembre a diciembre con un rango de 0.1 a 0.32%, a partir de enero hubo un decremento en las concentraciones apenas mayores a 0%. En abril empezó a aumentar dicha concentración llegando a alcanzar 0.31% en el mes de agosto.

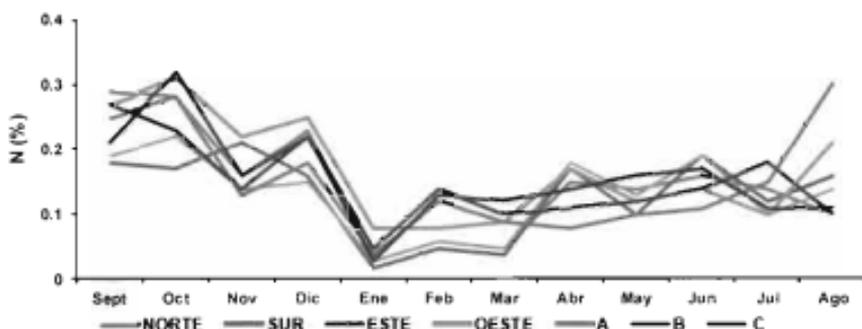


Figura 27. Variación anual de nitrógeno en el sedimento de las estaciones, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

### 7.2.3 Materia orgánica

La Figura 28 muestra que la materia orgánica se comportó de manera similar al nitrógeno, teniendo los mayores niveles (5 a 12%) desde septiembre a diciembre, se observó un decremento de 1% en los meses de enero a marzo, en los meses posteriores se registró un aumento de la concentración en un rango de 4 a 7%.

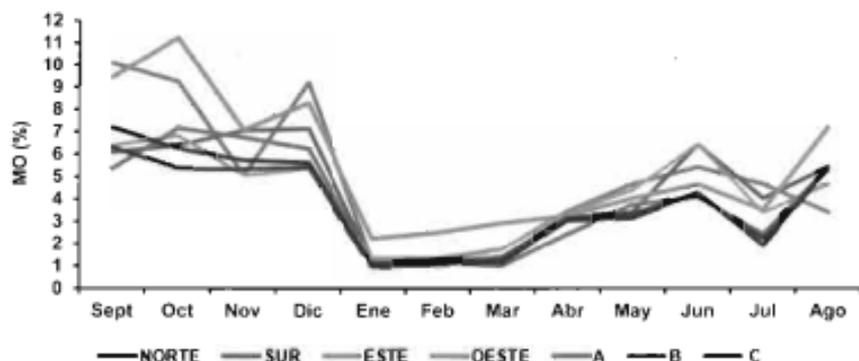


Figura 28. Variación anual de materia orgánica en el sedimento de las estaciones, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

#### 7.2.4 Fósforo

La Figura 29 muestra que la concentración de fósforo en la mayoría de las estaciones se mantuvo en una concentración menor a 3% con excepción de la estación norte la cual alcanzó niveles de 5%. la tendencia de esta variable fue constante en el año de estudio.

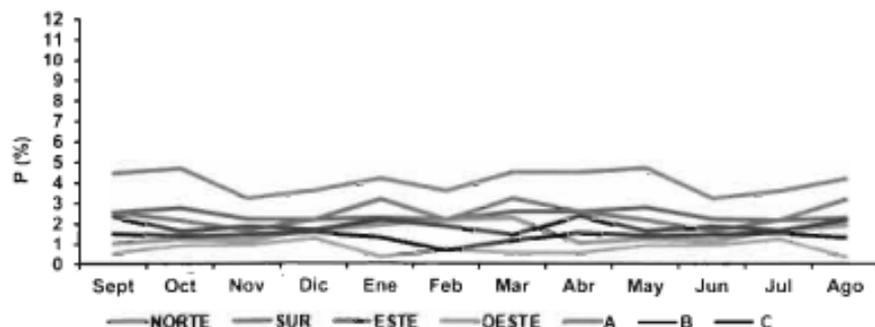


Figura 29. Variación anual del fósforo en el sedimento de las estaciones, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

### 7.2.5 Análisis estadístico

Se realizó el diseño de bloques al azar aleatorizado para las concentraciones de nitrógeno, fósforo y materia orgánica particulada del sedimento en las distintas estaciones. En la Tabla V se observa que las concentraciones de nitrógeno y materia orgánica particulada no se encontraron diferencias significativas en las distintas estaciones, en cambio las concentraciones de fósforo si presentó diferencias significativas siendo la estación Norte la que presentó las mayores concentraciones ( $3.95 \pm 0.55\%$ ) y la menor concentración se registró en la estación Este ( $0.72 \pm 0.31\%$ ).

Tabla V. Resultado del diseño experimental (bloques al azar) para las concentraciones de nitrógeno, fósforo y materia orgánica particulada en el sedimento (media  $\pm$  D.E.),  $p < 0.01$ , durante un ciclo de producción de un año.

	Nitrógeno	Fósforo	Materia orgánica
A	$0.15 \pm 0.08^a$	$2.33 \pm 0.54^a$	$3.95 \pm 2.26^b$
B	$0.15 \pm 0.07^a$	$1.83 \pm 0.30^{bc}$	$3.70 \pm 1.92^b$
C	$0.15 \pm 0.06^a$	$1.32 \pm 0.24^c$	$3.89 \pm 2.17^a$
NORTE	$0.14 \pm 0.08^a$	$3.95 \pm 0.55^a$	$4.99 \pm 3.06^a$
SUR	$0.13 \pm 0.06^a$	$2.32 \pm 0.23^b$	$4.45 \pm 2.30^a$
ESTE	$0.13 \pm 0.06^a$	$0.72 \pm 0.31^d$	$4.25 \pm 1.94^a$
OESTE	$0.17 \pm 0.08^a$	$1.48 \pm 0.43^c$	$5.56 \pm 2.98^a$

Superíndices (a, b, c, d): Diferencias significativas de cada variable, respecto a las estaciones.

Se realizó el análisis de componentes principales para las concentraciones de nitrógeno, fósforo y materia orgánica particulada en el sedimento del área en las distintas estaciones, para determinar las correlaciones existentes en las variables mencionadas, en la Figura 30 se observa que existe una fuerte correlación entre el nitrógeno y la materia orgánica particulada, el fósforo no presentó ninguna relación entre las dos variables mencionadas.

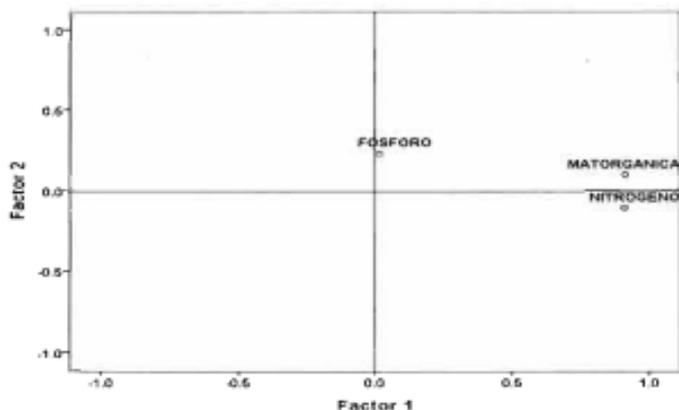


Figura 30. Análisis de componentes principales de las variables de estudio en el sedimento, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

### 7.3 Variables ambientales

#### 7.3.1 Temperatura superficial del agua

La temperatura superficial (°C) en la zona de estudio presentó un comportamiento similar al obtenido por las mediciones *in situ*, el comportamiento de estas temperaturas fue básicamente estacional. Las temperaturas más elevadas se registraron para el mes de septiembre (32 °C) y el mes con menor temperatura fue el mes de enero con 26 °C, la gráfica de la Figura 31 nos muestra como al pasar del tiempo la temperatura fue disminuyendo mes con mes (septiembre a enero), incrementándose gradualmente de febrero a agosto.

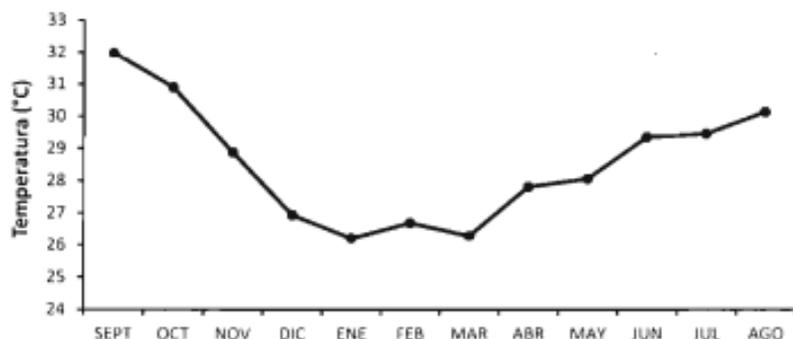


Figura 31. Variación de la temperatura superficial del agua, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

### 7.3.2 Clorofila a

La concentración de clorofila-a en el área de estudio presentó un comportamiento variado como lo muestra la Figura 32. La mayor concentración se registró en septiembre con 11.6 mg/l, mientras que la menor concentración fue registrada para los meses de noviembre y diciembre con concentraciones de 3.6 a 4 mg/l.

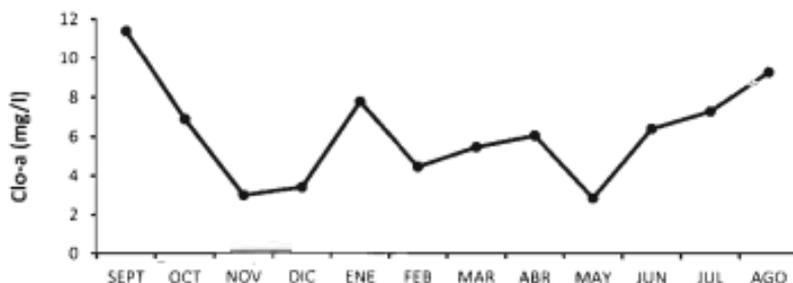


Figura 32. Variación anual de la concentración de clorofila (Clo-a) en la columna de agua, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

### 7.3.3 Materia orgánica suspendida

Los registros de materia orgánica suspendida (Figura 33) presentó cinco grandes incrementos en octubre, enero, mayo, julio y agosto respectivamente, con concentraciones cercanas a los 1000 mg/m<sup>3</sup>, mientras que los demás meses se mantuvieron en una concentración <600 mg/m<sup>3</sup>.

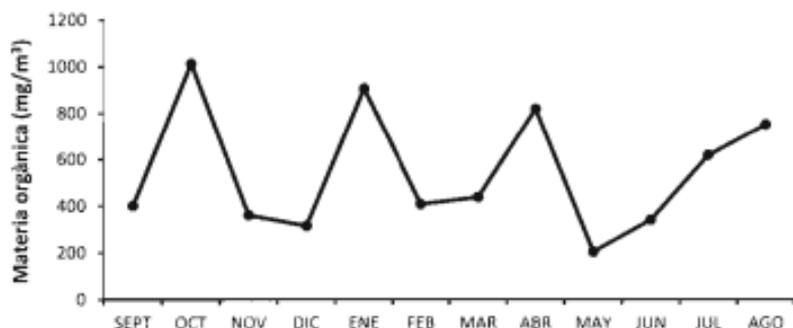


Figura 33. Variación anual de la concentración de materia orgánica suspendida en la columna de agua, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

### 7.3.4 Precipitación pluvial

De acuerdo al "Reporte del clima en México" (CONAGUA, 2014; CONAGUA 2015) para el periodo de enero-mayo de ambos años en el estado de Nayarit (Figura 34) se registraron precipitaciones menores de los 150 mm, a partir de mayo se incrementó considerablemente los niveles de precipitación, manteniéndose en niveles superiores a los 150 mm e inferiores a los 400 mm.

En el 2014 para el mes de presentó los niveles más elevados alcanzando hasta los 348.4 mm de precipitación pluvial estimada, en el 2015 el mes de septiembre fue el mes donde se registraron los niveles máximos (360.2 mm). A partir de octubre empezó

un decremento considerable de las precipitaciones hasta el mes de diciembre llegando a niveles de cero para cada año respectivamente.

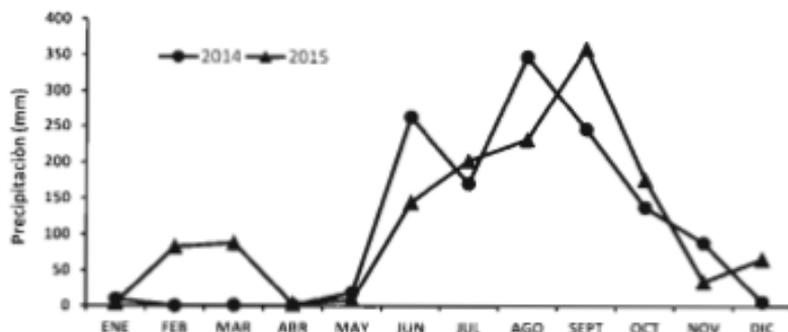


Figura 34. Precipitación pluvial estimada en el estado de Nayarit correspondiente a los años 2014 y 2015 (CONAGUA 2014, CONAGUA 2015).

### 7.3.5 Análisis estadístico

Se realizó el análisis de componentes principales para las concentraciones de las variables ambientales (temperatura superficial, clorofila-a, materia orgánica) a lo largo del periodo de estudio en la zona de cultivo, para determinar las correlaciones existentes en las variables mencionadas, en la Figura 35 se observa que existe una fuerte correlación entre la temperatura superficial del agua y las concentraciones de la Clo-a, la materia orgánica presenta una baja relación con la temperatura superficial, pero si muestra una fuerte relación con la Clo-a.

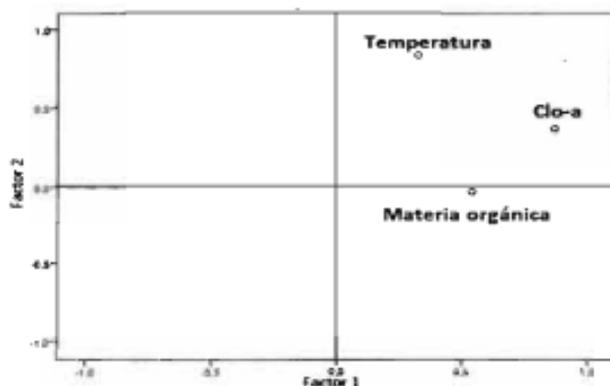


Figura 35. Análisis de componentes principales de la temperatura superficial del agua, la clorofila-a y la materia orgánica suspendida, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

El análisis de Clúster permitió observar (Figura 36) que se forman dos grupos según el comportamiento de las variables a lo largo del año de estudio. La temperatura y la clorofila-a se comportan de manera similar o en función una de otra, formando el primer grupo, mientras que la materia orgánica forma otro grupo comportándose de manera independiente a la clorofila-a pero con cierta correlación con la temperatura.

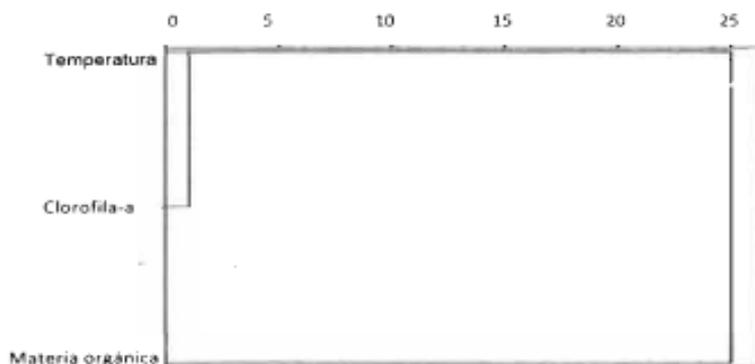


Figura 36. Análisis de componentes principales de la temperatura superficial del agua, la clorofila-a y la materia orgánica suspendida, en un ciclo anual de cultivo de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*).

## 8. DISCUSIÓN

En la presente investigación el pH, la salinidad y la temperatura en las diferentes estaciones con respecto a las estaciones cultivo no presentaron diferencias significativas, ya que manifiestan una variación que obedece a un comportamiento estacional debido a la homogeneidad de la columna de agua y por ser una zona con un flujo de corriente óptimo para este tipo de cultivos y coincide con lo reportado por Castillo-Vargasmachuca *et al.* (2008).

Las observaciones realizadas tanto de manera directa como mediante la utilización de instrumentos de medición durante el periodo de investigación, indicaron que el área de estudio se caracteriza por tener una actividad hidrodinámica permanente, lo cual genera un cuerpo de agua homogéneo, la dirección de las corrientes dominantes en el área de estudio fue sureste, con velocidades que oscilaron entre 8.1 y 13.4 cm/s y con profundidades de 18 a 20 m, estas velocidades estuvieron dentro de las magnitudes registradas en cultivos de peces en jaulas flotantes en zonas de alta producción acuicola y coinciden con diversos autores sobre los lugares óptimos donde ubicaron sus sistemas de jaulas flotantes (Price *et al.*, 2015; Morata *et al.*, 2015; Tomasetti *et al.*, 2016) las cuales coinciden con las recomendadas por la UNDP/FAO (1989) para la instalación de jaulas flotantes en Asia, las cuales no deben de exceder los 100 cm/s y no deben de ser menor de 10 cm/s, mientras que el rango ideal se encuentra entre los 10 cm/s y 50 cm/s.

En la presente investigación no se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) con respecto a la distancia de ubicación de las estaciones (Naranja, Cultivo, Campana), el comportamiento del oxígeno coincide con lo reportado por Castillo-Vargasmachuca *et al.* (2008), en la misma área de estudio en algunas estaciones reportaron concentraciones >5.7 mg/l y por lo reportado en otros trabajos (Alston *et al.*, 2005, Basaran *et al.*, 2007, Yabanh y Egemen, 2009; Aksu *et al.*, 2010; Benetti *et al.*, 2010; Kaymakci *et al.*, 2010 y Deguefu *et al.*, 2011) donde no

encontraron diferencias en los efectos del sistema de cultivo sobre las concentraciones de OD. Sin embargo, los resultados obtenidos en el presente trabajo no coinciden con lo reportado por Hargrave (2005) y Page *et al.* (2005) esto se debe a que el lugar donde estaban ubicadas las jaulas flotantes son zonas de bajo flujo de mareas y corrientes. En la presente investigación se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de oxígeno con respecto a la profundidad en la columna de agua (Superficie, Media, Fondo), se observó que conforme aumentó la profundidad disminuyó las concentraciones de oxígeno. En este trabajo el área de estudio es una zona somera y relativamente cerca de la costa donde el constante rompimiento de las olas provocó que la columna de agua se mezclara, permitiendo que el agua estuviera en constante movimiento y así conservar las concentraciones de oxígeno a pesar de ello se observaron tres oxíclinas correspondientes a las tres profundidades estudiadas (S, M, F).

Las diferentes concentraciones de amonio, nitritos, nitratos y fosfatos ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ ) en los distintos grupos de estaciones (Naranjo, Cultivo, Campana) coinciden con diferentes autores (Mantzavrakos *et al.*, 2007; Vargas-Machuca *et al.*, 2008; Deguefu *et al.*, 2011; Kaymakci *et al.*, 2011; Silva-Cruz *et al.*, 2011; Skejic *et al.*, 2011; Skejic *et al.*, 2014), se determinó que sí existe un aumento en las concentraciones de los diferentes variables de compuestos nitrogenados en la columna de agua, sobre todo con respecto a la cercanía de las estaciones muestreadas con el sistema de jaulas. Sin embargo, estas concentraciones no fueron significativamente distintas, ya que se identificó que el comportamiento de las variables se debe a cambios causados por las distintas estaciones del año para este estudio. Se considera que las diferencias obtenidas en las concentraciones de fosfatos se debe al aporte antropogénico descargado directamente por el río "Naranjo" y por los arrastres de sedimento causados por las lluvias de temporada (Figura 36), estos resultados coinciden con los reportados por distintos investigadores (Strain y Hargrave, 2005; Dalsgaard y Krause-Jensen, 2006; Aguado-Giménez *et al.*, 2006; Hung *et al.*, 2008; Nash *et al.*, 2008; Piedecausa *et al.*, 2010; Jiang *et al.*, 2012), el aumento de los niveles de fosfatos se

presenta en la época más cálida del año en bahías cerradas y someras como es este caso.

Al igual que con los compuestos nitrogenados la hidrodinámica dispersó las concentraciones de los fosfatos y los distribuyó a través de la columna de agua. Los resultados obtenidos de los compuestos nitrogenados ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4$ , N,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ , P,  $\text{PO}_4$ ) no coinciden con lo reportado por Huang *et al.* (2011) y Sanderson *et al.* (2008) los cuales mencionan haber encontrado altas concentraciones de amonio y nitrito liberado de las jaulas flotantes los cuales fueron los principales indicadores de contaminación, además reportan que los niveles máximos se registraron en la cercanía de las jaulas flotantes (menor a 200 metros), esto se debe a que el lugar donde se llevaron a cabo los experimentos, son cultivos que están operando desde 1990, además son bahías cerradas con corrientes menores a 10 cm/s, con profundidades menores a 20 metros, lo cual pueden ser factores que provoquen una fácil sedimentación de los desechos de las jaulas causando eutrofización. Aunado a esto Strain y Hargrave (2005), Aguado-Giménez *et al.* (2006), Dalsgaard y Krause-Jensen (2006), Pittenger *et al.* (2007); Hung *et al.* (2008), McKinnon *et al.* (2008), Jiang *et al.* (2012) determinaron que a una distancia de hasta 150 metros del sistema de cultivo los niveles de nitrógeno se vieron incrementados significativamente concluyeron que los vertidos de las granjas, incluyendo nitrógeno, representaban una afluencia significativa de nutrientes al medio marino. En contraste a los resultados de esta investigación en la cual solo se encontraron diferencias significativas en los fosfatos.

Diversos investigadores han determinado que las mayores concentraciones de materia orgánica y fósforo se registra principalmente por debajo de las jaulas, esto se debe a que todos los nutrientes no aprovechados en los sistemas acuícolas se pierden directamente en el agua sin la acumulación en el suelo y las pérdidas de gas ocurre después de que los nutrientes son descargados en el fondo marino (Mantzavarakos *et al.*, 2007; Borja *et al.*, 2009; Morata *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2015) principalmente en

cultivos cercanos a la costa (2 km), en profundidades de 19 metros y en verano donde las temperaturas fueron significativamente más elevadas. Sin embargo no coincide con lo reportado por diversos autores (Thoman *et al.*, 2001; Jiang *et al.*, 2006; Chen *et al.*, 2007; Huang *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2010; Ma *et al.*, 2013; Hu *et al.*, 2013) que reportan aportaciones de nitrógeno desde 9 a 54% y de 13 a 33% de fósforo en cultivos en China, estas concentraciones son superiores a las reportadas en el presente trabajo y se debe a las altas densidades de manejo de cultivo. Se conoce que el ciclo de fósforo ocurre principalmente en el sedimento sin pérdidas gaseosas, el enriquecimiento de esta variable a través de producciones con biomásas elevadas puede generar cambios en los ecosistemas, la estructura de las especies bentónicas e incluso la sucesión de las especies (Güsewell, 2005; Lapointe *et al.*, 2005; Smith, 2006; Verhoeven *et al.*, 2006; Sorrell *et al.*, 2011; Deegan *et al.*, 2012; Currie *et al.*, 2014).

En las variables ambientales se observó que los niveles máximos de temperatura superficial se registraron en verano (Valdez-Holguín 1986, Álvarez-Borrego y Lara-Lara 1991, Santamaria-del-Ángel 1994a) la cual está determinada por la comunicación directa del golfo con el océano Pacífico Tropical, que permite la penetración del Agua Superficial Ecuatorial, cálida y oligotrófica (Álvarez-Borrego y Schwartzlose 1979, Torres-Orozco 1993), sin embargo, las concentraciones de Clo-a se mantuvieron elevadas contrario a lo reportado por Gilbert y Allen 1943, Álvarez-Borrego y Lara-Lara 1991, los cuales mencionan una relación inversamente proporcional entre temperatura superficial del agua y las concentraciones de Clo-a (a menor temperatura, mayor concentración de Clo-a), a pesar de que la temperatura fue elevada en el verano, las concentraciones de Clo-a no disminuyeron sino que fueron directamente proporcional; se le atribuye que por la época de lluvia (Figura 34), la poca profundidad y la cercanía de la costa, el rompimiento de las olas contra el fondo marino mantuvo en constante movimiento la columna de agua y las concentraciones de nutrientes contenida en el fondo surgían a la superficie continuando así los procesos de producción primaria, caso contrario lo que sucede en aguas profundas. Se registraron tendencias cíclicas

(cada dos meses) de la materia orgánica, en estos ciclos de dos meses se registró un incremento cercano al triple de la concentración, lo cual indica que en esos periodos se presentaron surgencias, las cuales permitieron que la materia orgánica particulada suspendida se incrementara (Valdez-Holguín *et al.*, 1999, Espinosa-Carreón y Valdez-Holguín 2007). De acuerdo a los resultados obtenidos, la zona de estudio se le considera eutrófica propiciado principalmente por los aportes de los deslaves de suelos que son vertidos por la época de lluvia principalmente (Figura 36), además por las actividades de agricultura en la zona. Sin embargo, las concentraciones registradas en el presente estudio se mantuvieron por debajo de lo reportado por Hidalgo-González y Álvarez-Borrego (2004) y los reportados por Valdez-Holguín *et al.*, 2013.

## 9. CONCLUSIONES

El comportamiento de las diferentes variables estudiadas en esta investigación, muestran que el cultivo de peces en jaulas flotantes en el área de estudio no causa efectos significativamente negativos al ambiente: los aumentos resultantes en algunas de las variables y en las distintas profundidades estuvieron siempre por debajo de los límites recomendados para no causar impactos al ecosistema (DOF/1996). La constante mezcla del agua, la baja profundidad (<20 m), la cercanía a la costa (<1 km), las corrientes de la zona (entre 8.1 y 13.4 cm/s), las densidades bajas de cultivo y la cantidad de jaulas instaladas para este proyecto (10 jaulas) fueron factores primordiales que contribuyeron a que el impacto fuera mínimo. Sin embargo se recomienda reubicar el sistema de jaulas en dirección sur de la posición actual, para evitar que los deslaves en la época de lluvia (Figura 34) los cuales arrastran la mayor cantidad de compuestos nitrogenados a través de los sedimentos, aunado a esto evitar que los aportes del río "Naranjo" se viertan directamente sobre el cultivo.

Los valores máximos de concentración de amonio, nitritos, fosfatos en la columna de agua y fósforo en el sedimento se registraron en las estaciones denominadas Campana, debido a las corrientes dominantes (Sureste) las cuales arrastran los nutrientes y los depositan en esa zona, sin embargo el nitrógeno y la materia orgánica en los sedimentos se mantuvo con las mismas concentraciones sin importar la ubicación de las estaciones, lo cual indica que el constante rompimiento de las olas mantienen en constante movimiento los nutrientes depositados en los sedimentos de dicha zona debido a la poca profundidad de la área de estudio.

Estos resultados marcan una pauta a los diversos proyectos a realizarse en la zona, ya que permite conocer el comportamiento de las variables físico-químicas de la columna de agua, del sedimento y las variables ambientales; para así poder determinar las densidades óptimas de cultivo que no afecten el ecosistema realizando maricultura responsable con el ambiente.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Aksu, M., Kaymakçı-Başaran, A. and Egemen, Ö. (2010). Long-term monitoring of the impact of a capture-based bluefin tuna aquaculture on water column nutrient levels in the Eastern Aegean Sea, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 171(1-4), pp.681-688.
- Alston, D., Cabarcas, A., Capella, J., Benetti, D., Keene-Meltzoff S., Bonilla, J., Cortés R. (2005). Environmental and social impacts of sustainable offshore cage culture production in Puerto Rican waters. *National Oceanic and Atmospheric Administration*, 4, pp.0-64.
- Álvarez, S., Lara, JR. (1991). The physical environment and primary productivity on the Gulf of California. In: Dauphin JP, Simoneit B. (eds.). *The Gulf and Peninsular Province of the Californias. American Association of Petroleum Geologists*, 4, pp.555-567.
- Álvarez, S., Schwartzlose, A. (1979). Water masses of the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 6, pp.43-63.
- Álvarez, P., Soto, F., Avilés, S., Díaz, C., Treviño, L. (2012). Panorama de la investigación y su repercusión sobre la producción Acuicola en México. *Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca -Instituto Nacional de la Pesca*, p.30.
- Aguado, F., y García, B. (2004). Assesment of some chemical parameters in marine sediments exposed to offshore cage fish farming influence: a pilot study. *Aquaculture*, 242(1), pp.283-296.
- Aguado, F., García, B., Hernández, D., Cerezo, J. (2006). Gross metabolic waste output estimates using a nutritional approach in Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) under intensive fatten-ing conditions in western Mediterranean Sea. *Aquaculture Research*, 37(12), pp.1254-1258.

- Apùn, J. P.; Santamaria A. M.; Luna A., Martínez A., y Rojas, M. (2009). Effect of potential probiotic bacteria on growth and survival of tilapia *Oreochromis niloticus* cultured in the laboratory under high density and suboptimum temperature. *Aquaculture Research*, 40(8), pp.887-894.
- Arredondo F., Ponce-Palafox J.T. (2011). Bases biológicas para el cultivo de organismos acuáticos de México: Descripción de los principales modelos de producción. México: AGT Editor, pp.209-212.
- Basaran, K., Aksu, M., and Egemen, O. (2007). Monitoring the impacts of the offshore cage fish farm on water quality located in Ildir Bay (Izmir-Aegean Sea). *Tarim Bilim Derg*, 13, pp.22-28.
- Benetti, D., O'Hanlon, B., Rivera, J., Welch, A., Maxey, C., Orhun MR. (2010). Growth rates of cobia (*Rachycentron canadum*) cultured in open ocean submerged cages in the Caribbean. *Aquaculture*, 302(3), pp.195-201.
- Borja, A., Rodríguez, J.G., Black, K., Bodoy, A., Emblow, C., Fernandes, T. F., Forte, J., Karakassis, I., Muxika, I., Nickell, T. D., Papageorgiou, N., Pranovi, F., Sevastou, K., Tomassetti, P., Angel, D. (2009). Assessing the suitability of a range of benthic indices in the evaluation of environmental impact of fin and shellfish aquaculture located in sites across Europe, 293(3), pp.231-240.
- Castillo, S., Ponce, T., Arredondo, L., Chávez, A., Vernon J. (2008). Variación de los parámetros Físico - químicos del agua en el cultivo de pargos (*Lutjanus peru* y *L. guttatus*) en jaulas flotantes en aguas tropicales. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 7(3), pp.237-242.
- Chen, C., Huang, D. F., Qiu, XX., y Li, W. H. (2007). Survey and evaluation of agricultural - non-point source pollution and prevention-and-cure countermeasures in middle and upriver of Minjiang Drainage area J. *Agro-Environ. SciELO*, 26, pp.368-74.
- CONAGUA. Reporte del clima en México. 2014. Recuperado de <http://smn1.conagua.gob.mx/climatologia/analisis/reporte/Anual2014.pdf>.

- CONAGUA. Reporte del clima en México. 2015. Recuperado de <http://smn1.conagua.gob.mx/climatologia/analisis/reporte/Anual2015.pdf>.
- Cromeey, J., Nickell, D., Treasurer, J., Black, D., Inalla, M. (2008). Modelling the impact of cod (*Gadus morhua*) farming in the marine environment-CODMOD. *Aquaculture*, 289(1), pp.42-53.
- Currie, W. S., Goldberg, D. E., Martina, J., Wildova, R., Farrer, E., y Elgersma, K. J. (2014). Emergence of nutrient-cycling feedbacks related to plant size and invasion success in a wetland community-ecosystem model. *Ecological Modelling*, 282(14), pp.69-82.
- Dalsgaard, T., Krause, D. (2006). Monitoring nutrient release from fish farms with macro algal and phytoplankton bioassays. *Aquaculture*, 256(1), pp.302-310.
- Deegan, L. A., Johnson, D. S., Warren, R. S., Peterson, B. J., Fleeger, J. W., Fagherazzi, S., y Wollheim, W. M. (2012). Coastal eutrophication as a driver of salt Marsh loss. *Nature*, 490(7420), pp.388-392.
- Degefu, F., Mengistu, S., Schagerl, M. (2011). Influence of fish cage farming on water quality and plankton in fishponds: A case study in the Rift Valley and North Shoa reservoirs, Ethiopia. *Aquaculture*, 316(1), pp.129-135.
- Diario Oficial de la Federación. México, 6 de enero de 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales en aguas y bienes nacionales.
- Diario Oficial de la Federación. México, 31 de diciembre del 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*.

- Dominguez, L., López, J. M., Vergara, M., y Robaina, L. (2001). A comparative study of sediments under a marine cage farm at Canary Island (Spain). Preliminary results. *Aquaculture*, 192(2), pp.225-231.
- Espinosa, L.T., Valdez, J.E., 2007. Variabilidad interanual de clorofila en el Golfo de California. *Ecología Aplicada*, 6(1-2), pp.81-92.
- FAO. 2006. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2006. Roma. 176 págs.
- FAO. 2014. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2014. Roma. 253 págs.
- Färber, J., Trasviña, A., y Cortés, P. (2010). Summer Distribution of Euphausiids in the Entrance of the Sea of Cortés in relation to hydrography. *Deep Sea Research*, 57(7), pp.631-641.
- Flores, B. J. (1994). Estudio comparativo de los parámetros físico-químicos y ambientales de la macro-zona y micro-zona en la Bahía de Matanchen relacionados con capturas de la almadraba de la E.S.I.P. (tesis licenciatura). San Blas: Universidad Autónoma de Nayarit. Escuela Superior de Ingeniería Pesquera.
- Flores, A., Ponce, J., Castillo, S., Santana, H., Arredondo, L. (2009). Effect of organic carbon input on water and sediment quality in a lutjanid sea-cage farm. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(1), pp.237-241.
- Fitridge, I., Dempster, T., Guenther, J., and Rocky de Nys. (2012). The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. *Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research*, 28 (7), pp.649-669.
- Gilbert, J. Y., Allen WE. 1943. The phytoplankton of the Gulf of California obtained by the E.W. Scripps in 1939 and 1940. *Journal of Marine Research*, 5, pp.89-110.
- Godínez, V. M., Beier, E., Lavin, M. F., y Kurczyn J. A. (2010). Circulation at the entrance of the Gulf of California from satellite altimeter and hydrographic observations. *Journal of Geophysical Research*. p.115.

- Guo, L., Li, Z., Xie, P., Ni, L. (2009). Assessment effects of cage culture on nitrogen and phosphorus dynamics in relation to following in a shallow lake in China. *Aquaculture International*, 17(3), pp.229-241.
- Güsewell, S. (2005). Nutrient resorption of wetland graminoids is related to the type of nutrient limitation. *Functional Ecology*, 19(2), pp.344-54.
- Haiwart, M., Soto, D., Arthur, J. (2008). Acuicultura en jaulas - Estudios regionales y panorama mundial. *FAO Documento Técnico de Pesca*, 498, p.255.
- Hargrave, B. (2005). Environmental effects of marine finfish aquaculture. *Springer Science and Business Media*, 5, pp.0-461.
- Herrera, A., Chacón, J., Zúñiga, G., Fajardo, O., Jiménez, R. (2009). Acuicultura de pargo de la mancha *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) en Costa Rica dentro de un enfoque sistémico. *Mar y Costa*, 1, pp.197-213.
- Hidalgo, R. M., Álvarez, S. (2004). Total and new production in the Gulf of California estimated from ocean color data from the satellite sensor SeaWiFS. *Deep-Sea Research Part II: Tropical Studies in Oceanography*, 51(6), pp.739-752.
- Hung, J. J., Hung, C. S., Su, H. M. (2008). Biogeochemical response to the removal of maricultural structures from an eutrophic lagoon (Tapong Bay) in Taiwan. *Marine Environmental Research*, 65(1), pp.1-17.
- Hu, Z., Lee, J. W., Chandran, K., Kim, S., Sharma, K., Brotto, A. C. y Kharal, S. K. (2013). Nitrogen transformations in intensive aquaculture system and its implication to climate change through nitrous oxide emission. *Bioresource Technology*, 130, pp.314-20.
- Huang, D. F., Li, W. H., Qiu, XX., and Chen, C. (2008). Evaluation of agricultural non-point source pollution and countermeasures in Shuikou Reservoir drainage area. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 16(4), pp.1031-1036.
- Huang, Y., Hsieh, H., Huang, S., Meng, P., Chen, Y., Keshavmurthy, S., Nosawa, Y., Chen, C. (2011). Nutrient enrichment caused by marine cage culture and its

- influence on subtropical coral communities in turbid waters. *Marine Ecology Progress Series*, 423, pp.83-93.
- Jiang, T. J., Niu, T., y Chen, J. F. (2006). Relationship between agricultural NPS and eutrophication in coastal water of Shenzhen: The analysis of the discharging pollutants from aquaculture. *Marine Environmental Science*, 25, pp.33-6.
- Jiang, Z. B., Chen, Q. Z., Zeng, J. N., Liao, Y. B., Shou, L., Liu, J. (2012). Phytoplankton community distribution in relation to environmental parameters in three aquaculture systems in a Chinese subtropical eutrophic bay. *Marine Ecology Progress Series*, 446, pp.73-89.
- Kaymakci, A., Aksu M., Egemen O. (2010). Impacts of the fish farms on the water column nutrient concentrations and accumulation of heavy metals in the sediments in the eastern Aegean Sea (Turkey). *Environmental Monitoring Assessment*, 162(1-4), pp.439-451.
- Kessler, W. S. (2006). The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2-4), pp.181-217.
- Lapointe, B. E., Barile, P. J., Littler, M. M., Littler, D. S., Bedford, B. J., y Gasque, C. (2005). Macroalgal blooms on southeast Florida coral reefs: I. Nutrient stoichiometry of the invasive green alga *Codium isthmocladum* in the wider Caribbean indicates nutrient enrichment. *Harmful Algae*, 4(6), pp.1092-105.
- Liu, Z., Li, W. X., Zhang, Y. M., Zhang, L. J., Zhang, H. L., Li, Y., Cai, J. X., Zhuang, W., He, F. (2010). Estimation of non-point source pollution load in Taihu lake basin. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 26(1), pp.45-8.
- Ma, Y. B., Chen, L. W., Liu, J. J., Deng, C. Z., Wu, Z., Zhang, Y. Z., y Dai, J. (2013). Investigation of agricultural non-point source pollution and estimation of pollution loads in Honghu valley. *Hubei Agricultural Science*, 52, pp.803-6.

- Mantzavrakos, E., Kornaros, M., Lyberatos G., Kaspiris, P. (2007). Impacts of a marine fish farm in Argolikos Gulf (Greece) on the water column and the sediment. *Desalination*, 210(1), pp.110-124.
- Martínez, R., Silva, R., y Mendoza, E. (2014). Identification of coastal erosion causes in Matanchén Bay, San Blas, Nayarit, México. *Journal of Coastal Research*, 71(1), pp.93-99.
- Maske, Helmut, Cajal, R., Trasiña, A., Jiménez, A., Almeda, C., Gaxiola, G., y Ochoa, J. (2010). Inorganic carbon and biological oceanography above a shallow oxygen minimum in the entrance to the Gulf of California in the Mexican Pacific. *Limnology and Oceanography*, 55(2), p.481.
- McKinnon, D., Trott, L., Duggan, S., Brinkman, R., Alongi, D., Castine, S., Patel, F. (2008). Environmental impacts of sea cage aquaculture in a Queensland context Hinchin brook Channel case study (SD576/06) final report. *Australian Institute of Marine Science*, p.74.
- Morata, T., Falco, S., Gadea, I., Sospedra, J., Rodilla, M. (2015). Environmental effects of a marine fish farm of gilthead seabream (*Sparus aurata*) in the NW Mediterranean Sea on water column and sediment. *Aquaculture Research*, 46(1), pp.59-74.
- Morata, T., Sospedra, J., Falco, S., Rodilla, M. (2012). Exchange of nutrients and oxygen across the sediment–water interface below a *Sparus aurata* marine fish farm in the north-western mediterranean Sea. *Journal Soils Sediments*, 12(10), pp.1623-1632.
- Nash, C. E., Burbridge, P. R., Volkman, J. K. (2008). Guide lines for ecological risk assessment of marine fish aquaculture 1, 2. *Understanding and applying risk in aquaculture*. p.135
- Niiler, P. (2001). The world ocean surface circulation. *International Geophysics*, 77, pp.193–204.



- Nasagov. Retrieved 12 January, 2016, from [http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/data/bin/G3/gui.cgi?instance\\_id=ocean\\_month](http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/data/bin/G3/gui.cgi?instance_id=ocean_month) In-text citation.
- Norzagaray, M., Muñoz, P., Sánchez, L., Capurro, L., y Llánes, O. (2012). Estado actual y retos de la investigación en México. *Aquatic*, 37(1), pp.20-25.
- OLDEPESCA. (2010). Diagnóstico de la acuicultura marina en la región de América Latina y el Caribe. Organización latinoamericana de desarrollo pesquero, 12, p.51.
- Ortiz, M., Pérez, A. (1999). Evidencia documental de los cambios en la línea de costa por sedimentación rápida en la bahía de Matanchen, Nayarit, México. *Investigaciones geográficas*, 40(1), p.70.
- Ózgü A., Angel, D. (2013). Wild fish aggregations around fish farms in the Gulf of Aqaba, Red Sea: Implications for fisheries management and conservation. *Aquaculture environment Interactions*, 4(1), pp.135-145.
- Pittenger, R., Anderson, B., Benetti, D. D., Dayton, P. and others. (2007). Sustainable marine aquaculture: fulfilling the promise; managing the risks. Takoma Park, MD. *Marine Aquaculture Task Force*, 1, p.140.
- Page, F. H., Losier, R., McCurdy, P., Greenberg, D., Chaffey, J., Chang, B. (2005). Dissolved oxygen and salmon cage culture in the southwestern New Brunswick portion of the Bay of Fundy. In: Hargrave BT (ed). Environmental effects of marine finfish aquaculture. *Handbook of environmental chemistry*. 5(part M), pp.1-28.
- Piedecausa, M. A., Aguado, F., Cerezo, J., Hernández, M. D., Garcia, B. (2010). Simulating the temporal pattern of waste production in farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*), European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and Atlantic Bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Ecological Modelling*, 221(4), pp.634-640.

- Price, C. S., y Morris Jr, J. A. (2013). Marine Cage Culture and the Environment: Twenty-first Century Science Informing a Sustainable Industry. *NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS*, 164(1), p.158.
- Price, C. S., Black, K., Hargrave, B., Morris Jr, J. Marine cage culture and the environment: effects on water quality and primary production. *Aquaculture environment interactions*, 6(1), pp.151-174.
- Rendón, J. R., Frías, M. G., Hernández, C., Osuna, D. A., Romero, E., y Voltolina, D. (2014). Efectos del cultivo de peces en jaulas flotantes sobre la calidad del agua y de los sedimentos en el Pacífico mexicano. 1, pp. 859-872. En: Botello, A. V., Paéz, F., Méndez, L., Betancourt, M., Álvarez, S., y Lara, R. (eds.). *Pacífico Mexicano. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. UAC, UNAM-ICMYL, CIAD-Mazatlán, CIBNOR, CICESE. p.930.
- Roden, G. I. (1972). Thermohaline structure and baroclinic flow across the Gulf of California entrance and in the Revillagigedo Islands regions. *Journal of Physical Oceanography*, 2(2), pp.177-183.
- Rojas, R., Narváez, J., Zamudio, M., Mena, M. E. (2008). A Simple Silica-based Method for Metagenomic DNA Extraction from Soil and Sediments. *Molecular Biotechnology*, 40(1), pp.13-17.
- Sanderson, C., Cromey, J., Dring, J., Kelly, S. (2008). Distribution of nutrients for seaweed cultivation around salmon cages at farm sites in north-west Scotland. *Aquaculture*, 278(1), pp.60-68.
- Santamaría, E., Álvarez, S., Muller, E. (1994). The 1982-1984 El Niño in the Gulf of California as seen in the coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*, 99(C4), pp.7423-7431.
- Sara G. (2007). Aquaculture effects on some physical and chemical properties of the water column: a meta-analysis. *Chemistry and Ecology*, 23(3), pp.251-262.

- Shainee, M., Ellingsen, H., Leira, B. J., Fredheim, A. (2013). Design theory in offshore fish cage designing. *Aquaculture*, 392, pp.134-141.
- Silva, Y., Castañeda, R., Lango, F., Landeros, C. (2011). Impacto ambiental del cultivo de peces en jaulas flotantes en isla Arena Campeche. *Tropical and Subtropical Agro systems*, 13(3), pp.291-298.
- Skejic, S., Marasovic, I., Vidjak, O., Kuspilic, G., Gladan Z., Sestanovic, N. (2011). Effects of cage fish farming on phytoplankton community structure, biomass and primary production in an aquaculture area in the middle Adriatic Sea. *Aquaculture Research*, 42(9), pp.1393-1405.
- Skejic, S., Bojanic, N., Matijevic, S., Vidjak, O., Grbec, Z., Nincevic, G., Sestanovic, S., Santic, D. (2014). Analysis of the phytoplankton community in the vicinity of domestic sewage outflow during stratified conditions. *Mediterranean Marine Science*, 15(3), pp.574-586.
- Smith, V. H. (2006). Responses of estuarine and coastal marine phytoplankton to nitrogen and phosphorus enrichment. *Limnology Oceanography*, 51(1), pp.377-84.
- Sorrell, B. K., Chagué, C., Basher, L. M., y Partridge, T. R. (2011). N:P ratios,  $\delta^{15}\text{N}$  fractionation and nutrient resorption along a nitrogen to phosphorus limitation gradient in an oligotrophic wetland complex. *Aquatic Botany*, 94(2), pp.93-101.
- Strain, P., Hargrave, B. (2005). Salmon aquaculture, nutrient fluxes and ecosystem processes in south western New Brunswick. En: Hargrave BT (ed) Environmental effects of marine finfish aquaculture. Hand book of environmental chemistry, *Springer Berlin Heidelberg*, 1(5), pp.29-57.
- Strub, P. T., and James, C. (2002). Altimeter-derived surface circulation in the large-scale NE Pacific Gyres. Part 1. Seasonal variability. *Progress in Oceanography*, 53(2), pp.163-183.

- Tacon, J., y Halwart, M. (2008). La acuicultura en jaulas: un panorama mundial. En Halwart, D., y Arthur, J. (eds). *Acuicultura en jaulas – Estudios regionales y panorama mundial. FAO Documento Técnico de Pesca*, 498, pp.1-16.
- Thoman, E. S., Ingall, E. D., Davis, D. A., y Arnold, C. R. (2001). A nitrogen budget for a closed, recirculating mariculture system. *Aquacultural Engineering*, 24(3), pp.195-211.
- Tomassetti P., Gennaro P., Lattanzi L., Mercatali I., Persia Emma., Vani D., Porrello, S. (2016). Benthic community response to sediment organic enrichment by Mediterranean fish farms: Case studies. *Aquaculture*, 450, pp.262-272.
- Tomassetti, P., Persia, E., Mercatali, I., Vani, D., Marusso, V., Porrello, S. (2009). Effects of mariculture on macrobenthic assemblages in a western mediterranean site. *Marine Pollution Bulletin*, 58(4), pp.533-541.
- Torres, E. (1993). Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis (maestría), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México. p.80.
- UNDP/FAO. (1989). Site selection criteria for marine finfish netcage culture in Asia. Regional seafarming development and demonstration project network of aquaculture centres in Asia. National Inland Fisheries Institute, Kasetsart University Campus. Bangkok, Thailand.
- Valdez, E. Distribución de la biomasa y productividad del fitoplancton en el golfo de California durante el evento de El Niño 1982–1983. Tesis Doctoral. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México. p.92.
- Valdez, E., Álvarez, S., Trees, C. (1999). Seasonal and spatial Characterization of the Gulf of California phytoplankton photosynthetic parameters. *Ciencias Marinas*, 25(4), p.445–467.

- Escalante, F., Valdez, E., Álvarez, S., y Lara, J. (2013). Temporal and spatial variation of sea surface temperature, chlorophyll a, and primary productivity in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 39, pp.203-215.
- Vergara, J. M., Haroun, R., González, N., Molina, L., Briz, O., Boyra, A., et al. (2005). Evaluación de impacto ambiental de acuicultura en jaulas en Canarias. *Telde: Oceanográfica*, pp.1-56.
- Verhoeven, J. T., Arheimer, B., Yin, C., y Hefting, M. M. (2006). Regional and global concerns over wetlands and water quality. *Trends in Ecology and Evolution*, 21, pp.96-103.
- Yabanlı, M., Egemen, Ö. (2009). Monitoring the environmental impacts of marine aquaculture activities on the water column and sediment in vicinity of the Karaburun Peninsula (Turkey-Eastern Aegean Sea). *Journal of Fisheries Sciences*, 3(3), pp.207-213.
- Zhang, Y., Bleeker, A., y Liu, J. (2015). Nutrient discharge from China's aquaculture industry and associated environmental impacts. *Environmental Research Letters*, 10(4), pp.1-14.