



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

**IMPACTO AMBIENTAL POR LA APLICACIÓN DE
ALIMENTO BALANCEADO EN EL CULTIVO MARINO DE
PARGOS EN JAULAS FLOTANTES EN EL ESTADO DE
OAXACA**

TESIS

Para Obtener el Grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

P R E S E N T A

M.I.P. Miguel Ángel Flores

TUTOR:

DR. HERIBERTO SANTANA HERNÁNDEZ

COTUTOR:

DR. JESUS T. PONCE PALAFOX



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

**IMPACTO AMBIENTAL POR LA APLICACIÓN DE
ALIMENTO BALANCEADO EN EL CULTIVO MARINO DE
PARGOS EN JAULAS FLOTANTES EN EL ESTADO DE
OAXACA**

TESIS

Para obtener el Grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

P R E S E N T A

M.I.P. Miguel Ángel Flores

TUTOR:

DR. HERIBERTO SANTANA HERNÁNDEZ

COTUTOR:

DR. JESUS T. PONCE PALAFOX

Bahía de Matanchén, San Blas, Nayarit; febrero de 2008



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO - AGROPECUARIAS

M. EN C. FRANCISCO DE JESÚS CARO VELARDE
COORDINADOR DEL POSGRADO EN CIENCIAS
BIOLÓGICO-AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE NAYARIT

Los miembros del Consejo Tutorial adscritos a diversas Instituciones del país, nos reunimos el 20 de febrero de 2008 para examinar la tesis de grado titulada:

“Impacto ambiental de la aplicación de alimento balanceado en el cultivo marino de pargos en jaulas flotantes en el estado de Oaxaca”

Presentada por el alumno:

Miguel Ángel Flores

Aspirante al Grado de **DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICO - AGROPECUARIAS** de la Universidad Autónoma de Nayarit, en el área de Ciencias Pesqueras.

Una vez analizada en cuanto a forma y contenido y después de intercambiar opiniones, los miembros del Consejo manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

El Comité Tutorial

Tutor: Dr. Heriberto Santana Hernández

Cotutor: Dr. Jesús Ponce Palafox

Asesor: Dr. Roberto Gómez Aguilar

Asesor: Dr. Sergio Castillo Vargasmachuca

AGRADECIMIENTOS:

A MI ESPOSA:

Martha Elva López Jiménez, por su apoyo incondicional durante mi formación profesional y desarrollo académico.

A MIS TUTORES:

Dr. Heriberto Santana Hernández quien fue mi tutor principal por su apoyo para la realización de éste postgrado

Dr. Jesús T. Ponce Palafox, por su apoyo y aportaciones durante la realización de éste trabajo.

Dr. Roberto Gómez Aguilar, por sus orientaciones y aportaciones y apoyo durante la realización de éste trabajo.

Dr. Sergio Castillo Vargas Machuca, por su apoyo durante la realización de éste trabajo

A LOS APOYOS RECIBIDOS POR:

Dr. Ignacio Méndez Ramírez, por sus orientaciones para la realización del presente trabajo.

M. C. Ignacio Méndez Gómez Humarán, por sus orientaciones y apoyo durante su gestión como Director General de Investigación Pesquera en el Pacífico Sur, para la realización de los trabajos de campo y gabinete durante ésta investigación.

M. C. Víctor Hugo Martínez Magaña, por su participación en los trabajos de campo, laboratorio y gabinete realizados durante esta investigación

ÍNDICE

I.- INTRODUCCIÓN	1
I.1 .-JUSTIFICACIÓN	3
I.1.1.- Técnica.	3
I.1.2.- Económica - Social	6
I.1.3.- Ambiental.	7
I.2. ANTECEDENTES.	10
I.2.1 De la acuicultura.	10
I.2.2. Del tema de estudio	19
I.2.3.- Del Istmo de Tehuantepec	28
I.2.3.1 Fisiografía	28
I.2.3.2.- Vientos.	31
I.2.3.3.- Circulación de aguas superficiales	31
I.2.3.4.- Hidrología superficial	33
I.2.3.5.- Tipo y uso de suelos	35
I.2.3.6.- Características fisicoquímicas del Golfo de Tehuantepec	37
I.2.3.6.1.- Temperatura	39
I.2.3.6.2.- Salinidad	40
I.2.3.6.3.- Oxígeno disuelto	41
I.2.3.6.4.- pH	41
I.2.3.6.5.- Nitritos – Nitratos	42
I.2.3.6.6.- Silicio (Si)-Silicatos (SiO ₃)	44
I.3.- HIPÓTESIS DE TRABAJO.	45
I.4.-OBJETIVOS	45
I.4.-1Objetivo general	45
I.4.2 -Objetivos particulares.	45
II. ÁREA DE ESTUDIO.	47
III. METODOLOGÍA.	53
III.1.- SELECCIÓN DEL SITIO	53
III.2.- AREA DE INFLUENCIA DIRECTA DEL SISTEMA DE JAULAS FLOTANTES.	54
III.3.- DEFINICIÓN DE LA RED DE ESTACIONES DE MUESTREO	56
III.4 - PROCEDIMIENTO DE MONITOREO DE LAS VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS DEL AGUA Y EL SEDIMENTO	63
III.5. DISEÑO DEL EXPERIMENTO.	68
III.6. EQUIPOS Y MATERIALES	70

IV.- RESULTADOS	72
IV.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CORRIENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO	72
IV.2- ANÁLISIS DESCRIPTIVO ESPACIO – TEMPORAL DE LAS VARIABLES FÍSICO -QUÍMICAS DEL AGUA EN EL SITIO DE ESTUDIO	78
IV.2.1.- Temperatura	78
IV.2.2.- Salinidad	83
IV.2.3.- Turbidez	88
IV.2.4.- Potencial de Óxido Reducción (ORP)	94
IV.2.5.- pH	99
IV.2.6.- Oxígeno disuelto	104
IV.3.- ANÁLISIS DESCRIPTIVO, ESPACIO – TEMPORAL DE LAS VARIABLES FÍSICO -QUÍMICAS DEL SEDIMENTO	111
IV.3.1.- Granulometría	111
IV.3.2.- Carbonatos	115
IV.3.3.- Carbono Orgánico (CO)	121
IV.4.- ANÁLISIS DE LAS INTERACCIONES ENTRE VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA Y EL SEDIMENTO	128
IV.4.1.- Variable dependiente: Temperatura	128
IV.4.2.- Variable dependiente: Salinidad	130
IV.4.3.- Variable dependiente: Turbidez	131
IV.4.4.- Variable dependiente: pH	132
IV.4.5.- Variable dependiente: Potencial de Óxido Reducción (ORP)	134
IV.4.6.- Variable dependiente: Oxígeno disuelto	135
IV.4.7.- Variable dependiente: Carbonatos	139
IV.4.8.- Variable dependiente: Carbono Orgánico	141
IV.4.9.- Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA por sus siglas en inglés)	145
IV.5 RELACIÓN CONSUMO DE ALIMENTO Y CALIDAD DEL AGUA-SEDIMENTO	151
IV.5.1.-Modelo para el manejo sostenible del cultivo en jaulas flotantes	157

IV.6.- LA SOSTENIBILIDAD DEL CULTIVO DE LUJANIDOS EN JAULAS FLOTANTES	158
IV.6.1.- Los desechos	162
IV.6.2.- Escapes	164
IV.6.3.- Enfermedades y parásitos	165
IV.6.4.- Sustancias químicas	166
IV.6.5.- Alimentación / alimento	166
V. DISCUSIÓN	168
VI. CONCLUSIONES	179
VII RECOMENDACIONES	182
VIII. LITERATURA CITADA	184

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAYRUT



SISTEMA DE BIBLIOTECAS

Resumen

Para determinar el impacto ambiental generado por la aplicación de alimento balanceado en un cultivo de pargos en jaulas flotantes en Bahía Chipehua, Municipio de Tehuantepec, en el Estado de Oaxaca, se utilizaron los resultados del análisis de la información oceanográfica obtenida ente octubre de 2005 y octubre de 2006. Adicionalmente, de febrero de 2006 a octubre de 2006, se realizaron evaluaciones del contenido porcentual de carbono orgánico (CO) y Carbonatos en el sedimento, de la superficie del fondo hasta una profundidad de 16 cm en los mismos puntos de muestreo hidrológico. La primer siembra de las jaulas de engorda de pargos concluyó a finales de octubre de 2005. Como parte del proceso de engorda, al 20 de enero de 2006 se habían aplicado en la zona de cultivo 1,238 kg de alimento balanceado, cifra que se incrementó a 3,416 kg para el 7 de junio de 2006 y a 5,108 kg para el 22 de septiembre de 2006. En virtud de que las condiciones del mar fueron particularmente difíciles durante 2006, no se cuenta con datos de monitoreo hidrológico ni de sedimentos para los meses de enero y junio del mismo año. Según los registros obtenidos, el área de estudio se ha caracterizado por una intensa y permanente actividad hidrodinámica que genera un cuerpo de agua casi homogéneo. Los resultados indican que la aplicación de alimento para la engorda de pargos en la estructura de cultivo, no genera modificaciones en las características hidrológicas de la columna de agua ni en las concentraciones de carbono orgánico o carbonatos en los sedimentos, en el área de estudio. Se observó por otra parte, que la instalación de las estructuras para el cultivo promovió la agregación de una gran variedad de organismos que impactan favorablemente sobre la riqueza y diversidad de especies en la zona.

Abstract

To determine the environmental impact generated by balanced food application in red snapper cultivation floating cages at Bahía Chipehua Municipality of Tehuantepec, State of Oaxaca, the analysis results of the of the oceanographic information obtained during the period from October 2005 to October of 2006 were used. Additionally from February 2006 to October 2006, they were carried out evaluations of organic carbon and Carbonates content percentage, in the sediments of the bottom until a depth of 16 cm in the same points of hydrological sampling. The first sowing of the red snappers cages concluded at the end of October 2005; as part of the growing process, until January 2006 there had been applied in the cultivation area 1,238 kg of balanced food, figure that was increased to 3,416 kg by June 2006 and to 5,108 kg by September 2006. Due to the fact that the conditions of the sea were particularly difficult during 2006, data for the months of January and June of that year are missing. According to the obtained data, the study area has been distinguished with an intense and permanent hydrodynamic activity that creates an almost homogeneous body of water. The results indicate that the food application in the red snapper cultivation structure does not generate modifications in the hydrological characteristics of the water column neither in the organic carbon or carbonates concentrations in the sediments, in the study area. It was observed on the other hand that the installation of the structures for the cultivation promoted the aggregation of a great variety of organisms that impact favorably about the richness and diversity of species in the area.

INDICE DE TABLAS

No.	Descripción	Pag.
1	Entidades Federativas con mayores disminuciones en capturas de huachinango a partir del año de mayor registro	4
2	Clasificación general para compra - venta en playa, de las capturas de huachinango en Oaxaca	4
3	Velocidades promedio de crecimiento en peso y talla, de los organismos en cultivo.	4
4	Puntos de equilibrio calculados para tres diferentes precios de venta	6
5	Especies de peces detectados en los DAP'S y en las estructuras de cultivo FUENTE S. Sarmiento Náfate <i>et al</i> (2005)	7
6	Producción mundial por acuicultura por principales grupos de especies	11
7	Producción mundial de pesca y acuicultura y su utilización (millones de toneladas)	12
8	Perfiles del ORP (en mV) en núcleos de sedimentos tomados en estaciones de muestreo; al lado de una jaula de peces, a 25m y a 1,000 m de la	24
9	Usos del suelo y cambio histórico en la zona de estudio	36
10	Períodos en los que se realizaron las campañas oceanográficas.	39
11	Cantidad de alimento balanceado en kg, aplicado en la zona de cultivo durante el periodo 26 de octubre de 2005 al 22 de septiembre de 2006	69
12	Distribución en Cuantiles de la información de temperatura (T ^o C) por sitios en el periodo de estudio	81
13	Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 2.72900$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)	82
14	Distribución en Cuantiles de la información de temperatura (T ^o C) por meses en el periodo de estudio	83
15	Distribución en Cuantiles de la información de salinidad (PSU) por sitio	86
16	Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 2.72900$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)	86
17	Distribución en Cuantiles de la información de salinidad (PSU) por mes	88
18	Comparación de todos los pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 3.22043$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)	88

19	Distribución en Cuantiles de la información de turbidez (NTU) por sitios en el período de estudio	92
20	Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 2.72900$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)	92
21	Distribución en Cuantiles de la información de turbidez (NTU) por mes en el período de estudio.	93
22	Comparación de todos los pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 3.22043$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)	93
23	Distribución en Cuantiles de la información de ORP (mV) por sitio	97
24	Comparación de todos los pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 2.72900$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)	97
25	Distribución en Cuantiles de la información de ORP (mV) por mes	98
26	Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 3.22043$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)	99
27	Distribución en Cuantiles de la información del pH por sitio	102
28	Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 2.72900$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)	102
29	Distribución en Cuantiles de la información del pH por mes	104
30	Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 3.22043$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes).	104
31	Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 3.22043$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes).	108
32	Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 2.72900$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)	108
33	Distribución en Cuantiles de la información de oxígeno disuelto (mg/l) por mes	109
34	Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 3.22043$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)	110
35	Composición promedio de los sedimentos en el área de estudio, entre los 0 y 16 cm de profundidad	111
36	Escala de tamaño de grano utilizada en el programa GRADISTAT, modificada de Udden (1914) y Wentworth (1922)	114

37	Distribución en Cuantiles de la información de concentración porcentual de carbonatos por sitio	118
38	Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 2.74695$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)	118
39	Distribución en Cuantiles de la información de concentración porcentual de carbonatos por profundidad (cm)	119
40	Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 2.97167$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)	119
41	Distribución en Cuantiles de la información de concentración porcentual de carbonatos por mes	120
42	Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 3.05599$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)	120
43	Distribución en Cuantiles de la información de concentración porcentual de CO por sitio	124
44	Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 2.74695$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)	124
45	Distribución en Cuantiles de la información de concentración porcentual de CO por profundidad.	125
46	Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 2.97167$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)	125
47	Distribución en Cuantiles de la información de concentración porcentual de CO por mes.	126
48	Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 3.05599$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes).	127
49	Resultado del análisis de varianza de la temperatura para los factores y sus interacciones	129
50	Prueba de Tukey (HSD) para la Temperatura en función del sitio	129
51	Prueba de Tukey (HSD) para la Temperatura en función del mes	129
52	Prueba de Tukey (HSD) para la Temperatura en función de la profundidad	130

53	Resultado del análisis de varianza de la temperatura para los factores y sus interacciones	130
54	Prueba de Tukey (HSD) para la Salinidad en función del sitio	130
55	Prueba de Tukey (HSD) para la Salinidad en función del mes	131
56	Prueba de Tukey (HSD) para la Salinidad en función de la profundidad	131
57	Resultado del análisis de varianza de la turbidez para los factores y sus interacciones	131
58	Prueba de Tukey (HSD) para la Turbidez en función del sitio	132
59	Prueba de Tukey (HSD) para la Turbidez en función del mes	132
60	Prueba de Tukey (HSD) para la Turbidez en función de la profundidad	132
61	Resultado del análisis de varianza del pH para los factores y sus interacciones	133
62	Prueba de Tukey (HSD) para el pH en función del sitio	133
63	Prueba de Tukey (HSD) para el pH en función del mes	133
64	Prueba de Tukey (HSD) para el pH en función de la profundidad	134
65	Resultado del análisis de varianza del ORP para los factores y sus interacciones	134
66	Prueba de Tukey (HSD) para el ORP en función del sitio	134
67	Prueba de Tukey (HSD) para el ORP en función del mes	135
68	Prueba de Tukey (HSD) para el ORP en función de la profundidad	135
69	Resultado del análisis de varianza del ORP para los factores y sus interacciones	135
70	Prueba de Tukey (HSD) para el ORP en función del sitio	136
71	Prueba de Tukey (HSD) para el ORP en función del mes	136
72	Prueba de Tukey (HSD) para el ORP en función de la profundidad	136
73	Coefficientes de correlación y su nivel de significancia para las variables de interés.	138
74	Resultado del análisis de varianza de la concentración porcentual de Carbonatos para los factores y sus interacciones	140
75	Prueba de Tukey (HSD) para la concentración porcentual de Carbonatos en función del sitio	140

76	Prueba de Tukey (HSD) para la concentración porcentual de Carbonatos en función del mes	140
77	Prueba de Tukey (HSD) para la concentración porcentual de Carbonatos en función de la profundidad	141
78	Resultado del análisis de varianza de la concentración porcentual de CO para los factores y sus interacciones	141
79	Prueba de Tukey (HSD) para la concentración porcentual de CO en función del sitio	141
80	Prueba de Tukey (HSD) para la concentración porcentual de CO en función del mes	142
81	Prueba de Tukey (HSD) para la concentración porcentual de CO en función de la profundidad	142
82	Coefficiente de correlación y su nivel de significancia para las variables de interés	143
83	Coefficientes de correlación y su nivel de significancia para las variables de interés hidrológicas y de sedimentos.	143
84	Resultados en el modelo completo al utilizar la matriz de identidad	145
85	Resultados de la utilización de la matriz de identidad para conocer el efecto del sitio	145
86	Resultados de la utilización de la matriz de identidad para conocer el efecto del mes	145
87	Promedio de los indicadores hidrológicos por sitio calculados mediante el modelo de análisis de varianza multivariado (MANOVA)	147
88	Resultados del modelo completo al utilizar la matriz de identidad	148
89	Resultados del modelo completo al utilizar la matriz de identidad para conocer el efecto del sitio	148
90	Resultados del modelo completo al utilizar la matriz de identidad para conocer el efecto del mes	149
91	Promedios de las concentraciones porcentuales de CO y Carbonatos por sitio calculados mediante el modelo de análisis de varianza multivariado	151
92	Entrada de CO anual al sistema de jaulas flotantes con una separación de 5 m por lado entre cada jaula	154
93	Regresión múltiple para el CO en función de la temperatura y el ORP	157
94	Análisis de Varianza de la concentración de CO	158

LISTADO DE FIGURAS

No.	Descripción	Pag.
1	Distribución porcentual del volumen de la producción acuícola por agrupaciones regionales en 2004	14
2	Comportamiento de la producción mundial de acuicultura por principales grupos de especies 1970 – 2004 en Millones de toneladas.	15
3	Volumen de la producción mundial de acuicultura por principales grupos de especies en 2004	15
4	Valor de la producción mundial de acuicultura por principales grupos de especies en 2004.	16
5	Elementos de interacción entre el alimento balanceado y el medio en la columna de agua. FUENTE: R. Tapia INP CRIP salina Cruz (2004)	20
6	Representación diagramática de sucesión faunística a lo largo de un gradiente de enriquecimiento orgánico. FUENTE: Pearson y Black (2001)	26
7	Morfología costera y marina asociada con el Golfo de Tehuantepec	28
8	Principales grupos litológicos presentes en la zona costera, sintetizados a partir de la compilación de Padilla y Sánchez <i>et al</i> (1983)	30
9	Corrientes superficiales en el Golfo de Tehuantepec a) época de "nortes" según Roden (1961)	32
10	Vegetación en la zona costera, en el Municipio de Tehuantepec,	34
11	Derrotero de las campañas oceanográficas MIMAR V, SALCRU I y II, FIQUIMBI I y II a bordo del B/O El Puma.	38
12	Distribución de temperaturas superficiales (°C) en invierno (modificado de Roden, 1961)	40
13	Variación vertical del oxígeno, de los iones nitrito y nitrato en las campañas oceanográficas FIQUIMBI I y II	43
14	Localización del Estado de Oaxaca	47
15	Localización de Bahía Chipehua	48
16	Calle principal de Santa Gertrudis Miramar, que conecta con el camino vecinal que lleva a Bahía Chipehua	50
17	Embarcaciones pesqueras y motor fuera de borda en Bahía Chipehua	51
18	Maniobras para hacer al mar una embarcación de la Cooperativa Ensenada de Chipehua	52

19	Maniobras para hacer al mar una embarcación de la Cooperativa Ensenada de Chipehua	54
20	Vista de las proyecciones horizontal y vertical de los cables de fondeo	55
21	Área de influencia directa de la estructura de cultivo, a partir de las proyecciones de la figura anterior	55
22	Vista tridimensional de la batimetría de la Bahía de Chipehua	57
23	Localización de la red de estaciones diseñada para la evaluación de la metodología de campo.	58
24	Comportamiento de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) superficial y de fondo, en la zona de muestreo preliminar.	59
25	Comportamiento de la salinidad ($^{\circ}/_{\text{oo}}$) superficial y de fondo, en la zona de muestreo preliminar.	60
26	Localización de la nueva red de estaciones diseñada para los estudios de campo.	61
27	Área de influencia directa del sistema de cultivo y ubicación aproximada de estaciones JAULA, ESTRUCTURA 1 y ESTRUCTURA 2	62
28	Vista esquemática tridimensional de la localización de los sitios de muestreo en el área de estudio.	62
29	Parte de uno de los núcleos colectados durante el mes de noviembre.	64
30	Detección de presencia de organismos mediante el "lavado" de los sedimentos de los núcleos	65
31	Proceso de separación de secciones en los núcleos colectados, partiendo de la interfase agua sedimento hacia el fondo.	66
32	Colectores cilíndricos para residuos orgánicos y sedimentos y esquema general de su localización en la jaula	67
33	Dirección y velocidad promedio de la corriente (cm/s) en el fondo, en la estación de muestreo conocida como ESTRUCTURA 1 durante el muestreo de noviembre de 2005	72
34	Dirección y velocidad instantáneas de la corriente (cm/s) en el fondo, en la estación de muestreo conocida como estructura 1, lecturas durante el muestreo de noviembre de 2005	73
35	Dirección y velocidad promedio de la corriente (cm/s) en el fondo, en la estación conocida como estructura 1 durante el muestreo de diciembre de 2005	74

36	Dirección y velocidad instantáneas de la corriente (cm/s) en el fondo en la estación conocida como estructura 1, lecturas durante el muestreo de diciembre de 2005	75
37	Velocidad y dirección promedio de la corriente (cm/s) en el fondo en la estación conocida como estructura 1, lecturas durante el muestreo de septiembre de 2006	76
38	Velocidad de la corriente (cm/s x10) en el fondo en la estación conocida como estructura 1, lecturas instantáneas durante el muestreo de octubre de 200	77
39	Distribución vertical de la Temperatura $^{\circ}\text{C}$, por sitio de muestreo, profundidad y mes	79
40	Promedios mensuales de temperatura por sitio y correspondientes desviaciones estándar	80
41	Análisis de Varianza de la temperatura ($T^{\circ}\text{C}$) por sitio durante el período de estudio	81
42	Análisis de Varianza de la temperatura ($T^{\circ}\text{C}$) mensual del período de estudio.	82
43	Distribución vertical de la salinidad en $^{\circ}/_{\infty}$ (PSU), por sitio de muestreo, profundidad y mes	84
44	Promedios mensuales de salinidad por sitio y correspondientes desviaciones estándar	85
45	Análisis de Varianza de la salinidad (PSU) por sitio durante el período del estudio	86
46	Análisis de Varianza de la salinidad (PSU) por mes durante el período del estudio.	87
47	Distribución vertical de la Turbidez NTU, por sitio de muestreo, profundidad y mes	89
48	Promedios mensuales de turbidez por sitio y correspondientes desviaciones estándar.	90
49	Análisis de Varianza de la turbidez (NTU) por sitio durante el período de estudio	91
50	Análisis de Varianza de la turbidez (NTU) por mes durante el período de estudio	92
51	Distribución vertical del potencial de óxido reducción (ORP) en mV, por sitio de muestreo, profundidad y mes	95
52	Promedios mensuales de ORP por sitio y correspondientes desviaciones estándar.	96

53	Análisis de Varianza del ORP (mV) por sitio durante el periodo de estudio	97
54	Análisis de Varianza del ORP (mV) por mes durante el periodo de estudio	98
55	Distribución vertical del pH, por sitio de muestreo, profundidad y mes	100
56	Promedios mensuales de pH por sitio y correspondientes desviaciones estándar	101
57	Análisis de Varianza del pH por sitio durante el periodo de estudio	102
58	Análisis de Varianza del pH por mes durante el periodo de estudio	103
59	Distribución vertical del oxígeno disuelto en mg/l, por sitio de muestreo, profundidad y mes	105
60	Promedios mensuales de Oxígeno disuelto por sitio y correspondientes desviaciones estándar	107
61	Análisis de Varianza del oxígeno disuelto (mg/l) por sitio durante el periodo de estudio	108
62	Análisis de Varianza del oxígeno disuelto (mg/l) por mes durante el periodo del estudio	109
63	Composición general de los sedimentos (%) en el área de estudio, en función de la profundidad	112
64	Composición específica de los sedimentos en % en el área de estudio, en función de la profundidad	113
65	Distribución vertical de la concentración porcentual de Carbonatos, por sitio de muestreo, profundidad y mes	116
66	Promedios mensuales de contenido de Carbonatos (%) por sitio y correspondientes desviaciones estándar	117
67	Análisis de Varianza de la concentración porcentual de carbonatos por sitio durante el periodo del estudio	118
68	Análisis de Varianza de la concentración porcentual de carbonatos por profundidad durante el periodo del estudio	119
69	Análisis de Varianza de la concentración porcentual de carbonatos por mes durante el periodo del estudio	120
70	Distribución vertical de la concentración porcentual de Carbono Orgánico (CO), por sitio de muestreo, profundidad y mes	122

71	Promedios mensuales de contenido de Carbono Orgánico (%) por sitio y correspondientes desviaciones estándar	123
72	Análisis de Varianza de la concentración porcentual de CO por sitio durante el período del estudio.	124
73	Análisis de Varianza de la concentración porcentual de CO por profundidad durante el período del estudio.	125
74	Análisis de Varianza de la concentración porcentual de CO por mes durante el período del estudio.	126
75	Coefficientes de correlación para las variables hidrológicas de interés	139
76	Coefficientes de correlación para las variables de interés hidrológicas y de sedimentos	144
77	Coefficientes de correlación canónica calculados para conocer el efecto del sitio	146
78	Coefficientes de correlación canónica calculados para conocer el efecto del mes	147
79	Coefficientes de correlación canónica calculados para conocer el efecto del sitio	149
80	Coefficientes de correlación canónica calculados para conocer el efecto del sitio	150
81	Entrada de carbón orgánico al sistema de jaulas flotantes en función del área total utilizada.	155
82	Relación entre el Carbón orgánico en el sedimento y el OPR en el agua en el sistema de jaulas flotantes.	155
83	Relación entre el Carbón orgánico en el sedimento y el Oxígeno disuelto del agua en la profundidad máxima en el sistema de jaulas flotantes.	156
84	Relación entre el Carbón orgánico en el sedimento y la temperatura del agua en la profundidad máxima en el sistema de jaulas flotantes.	156
85	Relación entre el Carbón orgánico en el sedimento y la temperatura del agua en la profundidad máxima en el sistema de jaulas flotantes	157
86	Análisis de predicción utilizando la correlación entre temperatura, potencial de óxido reducción y el contenido de CO en el sedimento.	158
87	Los desechos y sus destinos en el sistema de cultivo de pargos en jaulas flotantes en el mar.	159

I.- Introducción

Las experiencias generadas por el Instituto Nacional de la Pesca (INP) entre otras instituciones en el Pacífico mexicano a partir de 2001, indican que la operación de jaulas flotantes para la engorda de pargos es una posibilidad para el desarrollo socioeconómico de las comunidades ribereñas. No obstante, aún con los resultados positivos obtenidos, que sugieren la factibilidad económica y social de ésta forma de producción, resta por alcanzar uno de los principales retos, que es el de generar los elementos que permitan ubicar esta actividad dentro del concepto de unidades de producción comercial sustentable.

El marco de referencia para esta tipificación de la actividad se puede encontrar en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (1988) que establece en su TITULO PRIMERO de Disposiciones Generales, CAPITULO I de Normas preliminares, Artículo 3º Fracción XI:

Artículo 3o.- Para los efectos de esta Ley se entiende por:

- XI.- Desarrollo Sustentable: El proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras;

Por otro lado en el documento Reports and Studies No. 68 (FAO, 2001), se dan algunas definiciones de Desarrollo Sostenible señalándose que una de las más ampliamente citadas y con más acuerdo es:

Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la posibilidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades (WCED, 1987, citado en Reports and Studies No.68 FAO, 2001)

Específicamente y en relación a la agricultura y la pesca dicho concepto ha sido definido como:

Desarrollo Sostenible es el manejo y conservación de la base de los recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional de tal manera que asegure la satisfacción

continua y a largo plazo de las necesidades humanas para las presentes y futuras generaciones: Tal Desarrollo Sostenible (en los sectores agrícola, forestal y pesquero) conserva la tierra, el agua, recursos genéticos de plantas y animales, es ambientalmente no degradante, técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable (FAO Fisheries Department, 1997, citado en Reports and Studies No.68 FAO, 2001)

Considerando éstas definiciones así como la legislación nacional vigente, en la que se presenta como elemento fundamental a la conservación del ambiente, con independencia de los indicadores de tipo técnico, biológico, financiero y social que justifican la factibilidad económica del cultivo de pargos, para que esta actividad pueda tipificarse en el ámbito de la producción comercial y en consecuencia ser autorizado como tal por las instancias competentes, es necesario que se disponga de una Evaluación de Impacto Ambiental, mediante la cual se demuestre la sustentabilidad del proyecto del que se trate, en el marco del entorno en el que se desarrolla.

En este documento se presentan los resultados obtenidos durante la evaluación del impacto ambiental de la operación de un sistema de engorda de pargos en jaulas flotantes en el Estado de Oaxaca.

1.1.- Justificación

1.1.1.- Técnica.

De acuerdo con la información contenida en el Anuario Estadístico de Pesca (CONAPESCA, 2003), las capturas nacionales registradas de "guachinango"¹ en peso vivo, pasaron de 11,617 t a 6,966 t entre 1993 y 2003, lo que significa una disminución de 4,651 t para el periodo. La principal disminución se observó en el Golfo de México, donde alcanzó 4,553 t. Este litoral representó el 38.07% de la producción total en 2003, después de representar el 62.02% en 1993.

Aparentemente la disminución de la producción de guachinango en el Pacífico no ha sido tan importante, registrándose en 1993 una captura de 4,412 t y de 4,314 t en 2003, lo que implica una disminución de 98 t Sin embargo, las estadísticas consultadas indican que después de un importante incremento de la producción hasta 1996 en que se registraron 4,917 t (año de registro máximo) se presenta una tendencia a la disminución de las capturas, que alcanza las 1,529 t. en 2001, para iniciar una aparente recuperación, de tal suerte que la disminución a 2003 alcanza solo las 603 t.

Llama la atención que el Estado que tiene los máximos incrementos en las capturas registradas es precisamente Oaxaca, sobre todo por el hecho de que no se tiene conocimiento de programas importantes de fomento o desarrollo tecnológico ni de un incremento importante del esfuerzo pesquero, ya sea por incremento de la flota local o proveniente de otras Entidades Federativas, o por mejoramiento de los equipos de pesca. Las disminuciones más drásticas en el Pacífico se observaron en los estados que se relacionan en la tabla 1:

¹ Se ha sugerido para este documento utilizar la palabra huachinango; en los anuarios estadísticos aparece como Guachinango, por otra parte, en la vigésima segunda edición del Diccionario de la Real Academia Española, la palabra Guachinango significa "4. m. Cuba y Méx. Pez comestible marino, de cuerpo y aletas de color rojizo, con el vientre y los costados rosados y los ojos rojo vivo" y no se encuentra la palabra "huachinango" http://buscon.rae.es/draeI/Srvlt/ObtenerHtml?LEMA=guachinango&SUPIND=0&CAREXT=10000&NEDIC=No00_4. Por lo que aquí se designará como Guachinango al organismo que nos ocupa. En este concepto, las estadísticas incluyen al guachinango (*L. peru*) y al pargo flamenco o lunarejo (*L. guttatus*).

Tabla 1.- Entidades Federativas con mayores disminuciones en capturas de guachinango a partir del año de mayor registro

Chiapas	321 t en 1996	16 t en 2003
Colima	430 t en 1993	138 t en 2003
Guerrero	1,076 t en 1993	459 t en 2003
Nayarit	808 t en 1993	587 t en 2003

Es de mencionarse que actualmente la captura comercial de organismos juveniles de pargos y guachinangos es una práctica común en casi todo el litoral del Pacífico, existiendo incluso varias clasificaciones comerciales, según se relaciona en la tabla 2:

Tabla 2.- Clasificación general para compra - venta en playa, de las capturas de guachinango en Oaxaca

Grupo	Peso promedio aproximado (g)	Precio En playa (pesos/kg) ²
1.-Mini baby	50 - 160	8 - 14
2.-Baby	120 - 180	15 - 20
3.-Medio platillo	200 - 350	25 - 35
4.-Platillero	400 - 600	45 - 80
5.-Grande	más de 600	30 - 40

Las cifras anteriores indican que existe un costo de oportunidad para las tallas previas y posteriores a la del "platillero". Los proyectos de engorda agregan valor a las capturas comerciales actuales de organismos de peso menor a 400 g - 600 g. Lo anterior se ratifica con los resultados obtenidos en la engorda experimental realizada durante 2003 en la Bahía de Santiago en Manzanillo Colima, por el Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de Manzanillo. Durante este experimento, los organismos se mantuvieron durante 7 meses (a partir de junio) en cuatro jaulas en las que se realizaron muestreos biométricos regularmente. En la Tabla 3 se presenta el crecimiento promedio obtenido por jaula.

Tabla 3.- Velocidades promedio de crecimiento en peso y talla, de los organismos en cultivo.

JAULA	g./mes	cm./mes
A	58.49	1.74
B	68.02	2.01
C	49.64	3.38
D	50.18	2.29

² Los valores más altos corresponden a los principales periodos vacacionales.

La información anterior indica que el crecimiento promedio de los organismos en el experimento, se dio entre los 68.02 g/mes – 49.64 g/mes y entre los 3.38 cm/mes – 1.74 cm/mes. De lo que puede estimarse que en un proceso de engorda que abarque un período de siete meses, partiendo de un peso promedio de siembra de 100 g, aún con las cifras mínimas de velocidad de crecimiento en peso, se alcanzaría un incremento de 347.48 g y un peso final de 447.48 g, y por lo tanto un incremento en el valor del producto, de al menos \$30.00/Kg según los datos de la tabla 2.

El comportamiento descendente de las capturas de guachinango y la disminución de las tallas de mercado con la consecuente disminución de ingreso de los pescadores, son indicadores de la necesidad de modificar las formas de aprovechamiento del recurso, a fin de evitar efectos negativos sobre las poblaciones que sustentan ésta pesquería. En estas condiciones, resulta necesario brindar alternativas tecnológicas al sector pesquero ribereño, para reorientar sus actividades de captura, hacia la maricultura de especies de alto valor comercial, aplicando técnicas de bajo costo, un enfoque de beneficio social que considere las zonas pesqueras rurales, con el acuerdo y la participación de la comunidad.

Morales-Pacheco (1998) señala que para el estado de Oaxaca, es necesario promover y desarrollar la actividad acuícola, particularmente mediante las técnicas de jaulas flotantes, como una alternativa viable para la generación de empleos y tratar de resolver algunos conflictos sociales entre organizaciones productivas que tratan de aumentar el esfuerzo pesquero

Lo antes señalado justifica la realización de esfuerzos tendientes a la generación de información científica que apoye al fomento de la alternativa tecnológica del cultivo de peces marinos.

I.1.2.- Económica - Social

A partir de la información generada en los experimentos realizados por el Instituto Nacional de la Pesca, y tomando en cuenta las condiciones del apoyo financiero con las que actualmente operan las organizaciones beneficiarias de este tipo de proyectos, así como la composición de la inversión que a precios de 2005, en total para una unidad de producción equivale a \$ 688,400.00 de los cuales 47.21 % (325,000.00) corresponde a capital de trabajo, el 50.61% (348,400.00) a inversiones en equipo y materiales y el 2,17 % (15,000.00) a inversión diferida. Se calculó, para tres escenarios de precio de venta (tabla 4), el punto de equilibrio del proyecto aplicando la siguiente ecuación:

$$PE = CF / (1 - (CV/IPV)), \text{ donde}$$

PE = punto de equilibrio

CF = costos fijos

CV = costos variables

IPV = ingresos por ventas al precio estimado

Tabla 4 - Puntos de equilibrio calculados para tres diferentes precios de venta

Escenario	Punto de equilibrio
precio de venta de \$ 50.00/Kg	$PE = 109,000 / (1 - (259,000 / 837,000)) = 157,842$
precio de venta de \$ 40.00/Kg	177,755
precio de venta de \$ 30.00/Kg	225,081

Estos indicadores hacen atractivo el proyecto como estrategia de desarrollo, toda vez que señalan que operando a menos del 50% de la capacidad instalada se puede estar en equilibrio financiero; esto es, en el peor escenario se requiere de la venta de 15,005 organismos de 500 g a 30.00/kg para estar en equilibrio, mientras que la capacidad del sistema es de 50,000 organismos.

Atender las inquietudes del sector productivo, interesado en estos proyectos, constituye una de las mejores vías de fomento del desarrollo social y económico,

en este caso de las comunidades ribereñas, lo que de la misma manera justifica la realización de proyectos de investigación científica como el que se presenta.

1.1.3.- Ambiental.

La experiencia obtenida durante 2002 – 2004, a partir de las observaciones directas, indican que las estructuras de cultivo que son flexibles, flotantes y fijas, ofrecen un área de refugio y de alimentación tanto para fases juveniles como para adultos de diferentes especies de organismos marinos, por lo que se constituyen por si mismas en dispositivos agregadores peces, moluscos y crustáceos, de donde se infiere que no tienen un impacto directo negativo sobre las comunidades bentónicas y/o demersales. Sarmiento-Náfate *et al.* (2005) detectaron, tanto en los dispositivos agregadores de peces (DAP's) como en las estructuras de cultivo, la agregación de diversas especies de peces, cuya presencia es escasa en el resto de la Bahía de Chipehua, cuyo fondo está constituido principalmente por arena. Los resultados de las evaluaciones realizadas a lo largo de un año, indican que fueron avistadas y/o capturadas en los DAP's y estructura de cultivo 22 especies de peces (tabla 5); de acuerdo con las costumbres de consumo en la región el 78 % de esas especies son comerciales.

Tabla 5.- Especies de peces detectados en los DAP'S y en las estructuras de cultivo
FUENTE Sarmiento Náfate *et al.* (2005)

Nombre común	Nombre científico	Comercial
Agustín lara	<i>Aluterus scriptus</i>	No
Agustín lara	<i>Aluterus monoceros</i>	No
Bagre		Si
Blanquillo	<i>Haemulon maculicauda</i>	Si
Boca dulce		No
Cabrilla	<i>Epinephelus labriformis</i>	Si
Camisetita		No
Chivo	<i>Mulloidichthys dentatus</i>	No
Cochina	<i>Balistes polytepis</i>	Si
Cochina	<i>Balistes sp</i>	Si

Tabla 5.- Continuación

Nombre común	Nombre científico	Comercial
Cocinero	<i>Caranx caranx caballus</i>	Si
Cocorocho		Si
Dorado	<i>Coryphaena hippurus</i>	Si
Flamenco	<i>Luŕjanus guttatus</i>	Si
Guachinango	<i>Luŕjanus peru</i>	Si
Jurel	<i>Caranx carinus</i>	Si
Lora	<i>Scarus perico</i>	No
Palmera	<i>Chloroscombrus orqueta</i>	Si
Pargo	<i>Luŕjanus argentiventris</i>	Si
Pintillo	<i>Epinephelus analogus</i>	Si
Pez globo		No
Zapatera		Si

FUENTE: Sarmiento-Náfate *et al.* (2005)

Lo anterior sustenta el planteamiento de que las estructuras de cultivo generan en primer lugar un impacto positivo al constituirse en área de refugio para diferentes especies.

Otros aspectos favorables que vale la pena mencionar y que resultan de la práctica de los maricultivos, son entre otros, que permite desviar fuerza de trabajo de la pesca hacia las actividades acuícolas y la capacidad ya señalada de estas estructuras de cultivo para constituirse en importantes aditamentos agregadores de peces, crustáceos y moluscos; se ha demostrado además que induce al desarrollo de actividades productivas paralelas, como es el caso del ecoturismo, el cultivo de especies asociadas como concha nácar, madreperla, langosta, actividades que, de acuerdo con las observaciones directas, permiten potenciar la abundancia y diversidad de especies en el área de operación de estos proyectos, por lo que en principio se puede pensar en un impacto positivo al entorno.

Las observaciones realizadas en el campo, indican que los materiales con los que se construyen las estructuras de cultivo, como son; polietileno (PE), poliamida o nylon (PA) vidrio (gl) y madera (wd); son totalmente cubiertos en pocos días por

organismos que los utilizan como área de fijación, de donde se puede inferir que el intercambio de estos elementos de construcción con la composición química del agua de mar es poco significativo. De lo anterior se desprende que el elemento que en el área de influencia del cultivo puede interactuar en mayor medida con el agua de mar y eventualmente modificar sus características físico - químicas es el alimento que se adiciona, ya sea por los procesos metabólicos que se dan al ser consumido por los organismos en cultivo o por los que se dan durante su degradación al no ser consumido.

Los incrementos en las densidades de cultivo, que seguramente se darán en la medida en que los pescadores avancen en su conocimiento sobre el manejo de los organismos y el proceso de producción, así como el aumento del número de estructuras instaladas en cada una de las áreas aprovechables de los litorales de las entidades federativas del Pacífico mexicano, implicarán igualmente un incremento en la cantidad de alimento balanceado aplicado

Lo planteado, justifica la realización de trabajos de investigación que permitan acopiar elementos con los que se pueda definir un marco de referencia para futuras evaluaciones del comportamiento de esta propuesta de desarrollo, particularmente en relación con los efectos del vertimiento de alimento balanceado en el medio marino.

I.2. Antecedentes.

I.2.1 De la acuicultura.

Según Avilés-Quevedo (2002) la producción acuícola mundial de la familia *Lutjanidae* se refiere principalmente a dos especies (*Lutjanus argentimaculatus* y *L. riselli*) y solo se reporta en siete países asiáticos, destacando Malasia y China con una producción de 2,997 t. En dichos países, aunque ya se realiza la reproducción y el cultivo larval de estas especies, el cultivo comercial aún depende de la colecta de los juveniles silvestres.

De acuerdo con el documento Reports and Studies No. 68 (FAO 2001) la acuicultura ha sido el sistema de producción de alimento con más rápido crecimiento en el mundo durante la pasada década. La producción por acuicultura se incrementó de 7.4 millones de toneladas en 1980 y 16.8 millones de toneladas en 1990, a 42 millones de toneladas en 1999, con un valor de 53 mil millones de dólares (US). Este sector representa una tasa de crecimiento de más de 10% anual, en comparación con el 3% anual de la producción de carne de origen terrestre y el 1.5% de crecimiento de la producción pesquera por concepto de capturas. Las descargas mundiales de productos de la pesca se han más que duplicado desde 1980; en 1997 30% de los productos pesqueros para el consumo humano de un promedio per cápita de 16.1 kg fueron proveídos por la acuicultura.

Los acuicultores asiáticos continúan contribuyendo con aproximadamente el 90% de la producción mundial; en 1999 más del 82% de los productos de la acuicultura se generaron en países de bajos ingresos y con deficiencia alimentaria. La gran mayoría de los peces producidos en acuicultura se basan en sistemas extensivos y semi-intensivos, predominantemente carpas de China y la India que en 1999 participaron con el 44% en peso de la producción total por concepto de acuicultura.

En la Fisheries Circular No. 1001 (FAO, 2004), Brugère y Ridler coinciden con lo antes planteado, señalando que la producción pesquera mundial llegó a los 130.2 millones de toneladas, duplicándose en los últimos treinta años, lo que refleja el crecimiento de la producción por acuicultura, ya que mientras las capturas crecieron a una tasa anual de 1.2% la producción por acuicultura (excluyendo plantas acuáticas), lo hizo al 9.1%. Esta expansión de la acuicultura se debe a China que presentó crecimientos superiores al promedio general; entre los años 1980 y 2000, este crecimiento fue de 15.5% anual.

Una idea clara de la importancia de China en las cifras de la producción acuícola mundial se puede obtener a partir de los datos que se presentan en la tabla 6.

Tabla 6.- Producción mundial por acuicultura por principales grupos de especies

	Producción mundial			Producción mundial excluyendo China		
	Producción en toneladas	Incremento absoluto anual promedio	Producción t	Producción t	Incremento absoluto anual promedio	Incremento absoluto anual promedio
1970	2 555 591			1 789 115		
1980	4 784 481			3 433 025		
1990	13 044 063			6 574 354		
2000	35 611 656			11 138 103		
1970-80		6.4	220 889		6.8	164 991
1980 - 90		10.6	827 958		6.7	314 133
1990 - 2000		10.6	2 256 759		5.4	458 375
1970 - 2000		9.2	1 758 536		6.3	311 833

FUENTE: FAO Fisheries Circular No. 1001 FIPP/C1001

De acuerdo con información más reciente (FAO, 2006) la producción mundial de pesca y acuicultura suministró alrededor de 106 millones de toneladas de pescado en 2004, lo que equivale a un suministro per cápita aparente de 16.6 kg (equivalente en peso en vivo), que es el más alto registrado en la historia (tabla 7). De este total, la acuicultura representó el 43 por ciento. Sin considerara a China, el suministro per cápita ha crecido moderadamente, alrededor del 0.4 por ciento al año desde 1992, gracias a que el incremento del suministro proveniente de la

acuicultura compensó los efectos del estancamiento de la producción de la pesca de captura y del crecimiento de la población.

En 2004, según estimaciones de la fuente señalada, el suministro per cápita de pescado para consumo humano fue de 13.5 kg si se excluyen las cifras respecto a China. En total, el pescado proporcionó a más de 2 600 millones de personas al menos el 20 por ciento del promedio de su aporte de proteína animal.

La proporción de las proteínas de pescado en el suministro total de proteínas animales en el mundo aumentó del 14.9 por ciento en 1992 al nivel máximo en la década de los noventas, igual a 16.0 por ciento en 1996.

Tabla 7. Producción mundial de pesca y acuicultura y su utilización (millones de toneladas)

Producción	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Aguas continentales						
Captura	8.8	8.9	8.8	9.0	9.2	9.6
Acuicultura	21.2	22.5	23.8	25.4	27.2	28.9
Total	30.0	31.4	32.7	34.4	36.4	38.5
Marea						
Captura	86.8	84.2	84.5	81.5	85.8	84.2
Acuicultura	14.3	15.4	16.5	17.3	18.3	18.9
Total	101.1	99.6	101.0	98.8	104.1	103.1
Captura total	95.6	93.1	93.3	90.5	95	93.8
Acuicultura total	35.5	37.9	40.4	42.7	45.5	47.8
Total mundial	131.1	131.0	133.7	133.2	140.5	141.6
Destino						
Consumo humano	96.2	99.7	100.2	102.7	105.6	107.2
Uso no alimentario	34.2	31.3	33.5	30.5	34.8	34.4
Población (miles de millones de personas)	6.1	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5
Suministro per cápita (kg)	16.0	16.2	16.1	16.3	16.6	16.6

Fuente FAO. FAOSTAT SOFIA 2006 www.fao.org

Como se ha mencionado, China sigue siendo, con mucho, el mayor productor, ya que su producción pesquera declarada en 2004 ascendió a 47.5 millones de toneladas (16.9 y 30.6 millones de toneladas de la pesca de captura y de la

acuicultura, respectivamente), lo que proporcionó un suministro interno para la alimentación humana de 28.4 kg per cápita, así como otras cantidades para la exportación y para fines no alimentarios. Sin embargo, según la FAO, sigue habiendo indicaciones de que las estadísticas de producción de la pesca de captura y la acuicultura de China pueden ser demasiado elevadas, razón por la que tomando en cuenta la importancia de China y a la incertidumbre de sus estadísticas de producción, se trata a este país por separado del resto del mundo.

En lo relativo al suministro de pescado para la alimentación humana, en 2004 el sector de la acuicultura produjo en todo el mundo, con exclusión de China, unos 15 millones de toneladas de productos acuáticos cultivados, mientras que la pesca de captura aportó unos 54 millones de toneladas de pescado destinado al consumo humano directo. Las cifras correspondientes consignadas para China fueron de 31 millones de toneladas de la acuicultura y 6 millones de toneladas de captura, indicación clara del predominio de la acuicultura en ese país (figura 1).

La producción es diversa dentro de cada región. En el plano mundial, un 99.8 por ciento de las plantas acuáticas cultivadas, un 97.5 por ciento de los ciprínidos, un 87.4 por ciento de los penéidos y un 93.4 por ciento de las ostras, proceden de Asia y el Pacífico. En cambio, el 55.6 por ciento de los salmónidos cultivados en todo el mundo proceden de Europa occidental, principalmente de la parte septentrional del continente. No obstante, la producción de carpas es la más importante en Europa central y oriental, tanto en cantidad como en valor (figura 1).

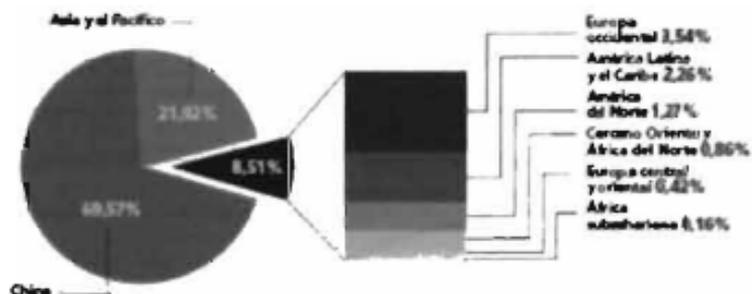


Figura 1 Distribución porcentual del volumen de la producción acuícola por agrupaciones regionales en 2004. Fuente FAO. FAOSTAT SOFIA, 2006 www.faostat.fao.org

La producción de los diferentes grupos de especies sigue creciendo, si bien durante el decenio iniciado en el año 2000 las tasas de aumento han sido inferiores a las extraordinariamente elevadas alcanzadas en los decenios de 1980-1990 (figura 2). En el período 2000-2004 aumentó mucho especialmente la producción de crustáceos y la de peces marinos. Las tasas de crecimiento de la producción de otros grupos de especies han empezado a reducirse y aunque su promedio general es todavía notable, no puede compararse con los grandes incrementos registrados en los dos decenios anteriores. Así pues, aunque la tendencia para el futuro parece indicar la continuación de los aumentos de producción, es posible que vaya reduciéndose la tasa de incremento. En las figuras 3 y 4 se presenta un panorama general de la producción de la acuicultura en volumen y valor, por principales grupos de especies, en 2004.

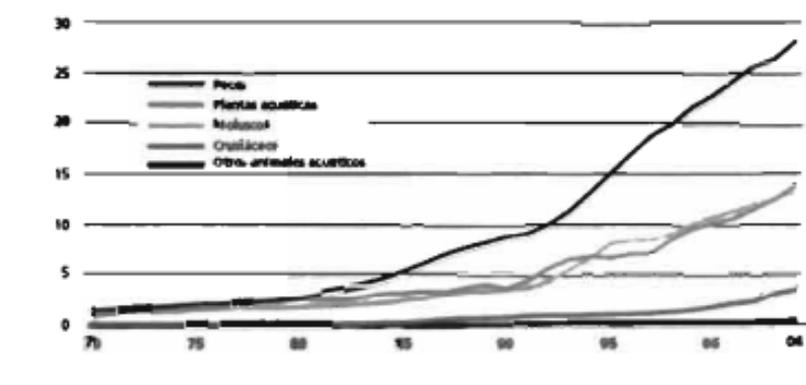


Figura 2 Comportamiento de la producción mundial de acuicultura por principales grupos de especies 1970 – 2004 en Millones de toneladas. FUENTE: FAO. FAOSTAT SOFIA 2006 www.fao.org

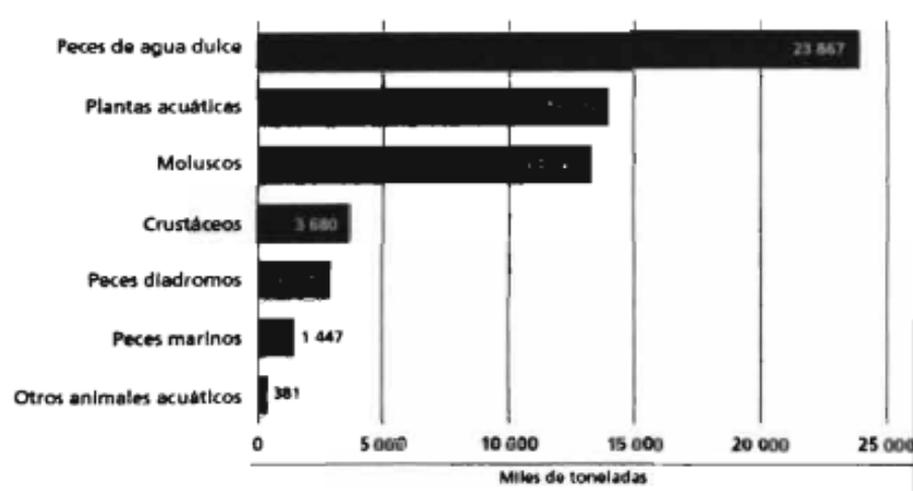


Figura 3 Volumen de la producción mundial de acuicultura por principales grupos de especies en 2004. FUENTE: FAO. FAOSTAT SOFIA, 2006 (www.fao.org)

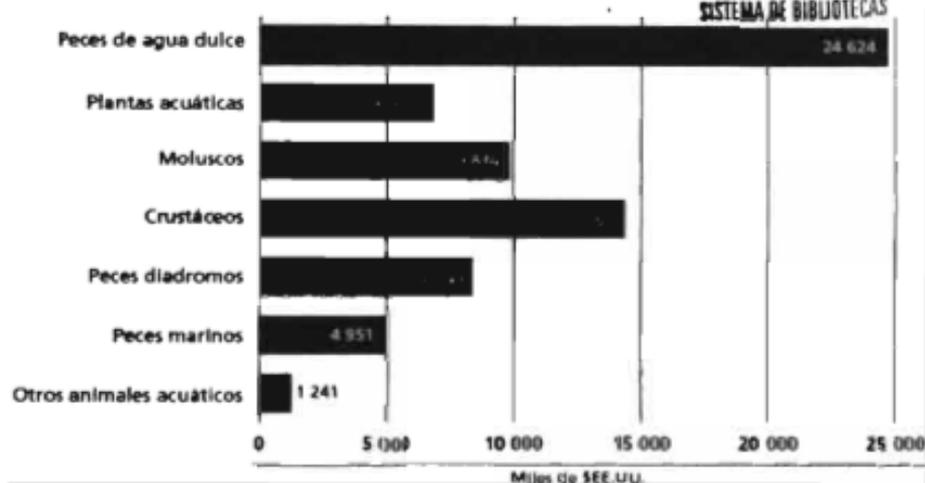


Figura 4 Valor de la producción mundial de acuicultura por principales grupos de especies en 2004.

Fuente FAO. FAOSTAT (www.faostat.fao.org) SOFIA, 2006

El pronóstico de la demanda de productos pesqueros sugiere que la producción de la acuicultura tendrá que continuar incrementándose. La pesca para reducción alcanza aproximadamente un tercio de los productos pesqueros y la producción por captura aporta más de 60 millones de toneladas de alimento en peces, superior a los aproximadamente 45 millones de toneladas de principios de los 70's. Sin embargo la mayor parte de las poblaciones capturadas están en, o cerca del límite; aún si su producción continuara incrementándose a un 0.7 % anual, sería incapaz de alcanzar la demanda proyectada de alimentos provenientes de la pesca.

De acuerdo con trabajos de investigación desarrollados por personal del CRIP de Manzanillo (INP), entre 2002 y 2004 en diferentes Entidades Federativas del

Pacífico Mexicano, las especies *Lutjanus peru* y *Lutjanus guttatus*, se adaptan al cautiverio y es posible su crecimiento hasta tallas comerciales (500 g) a partir de organismos de 40 g, mediante la técnica de jaulas flotantes y la aplicación de alimento balanceado en periodos de entre 6 y 7 meses.

Investigadores del CRIP La Paz, B. C. S del Instituto Nacional de la Pesca (INP), han desarrollado tecnología (Avilés e Iizawa, 1993), tanto para la construcción y operación de jaulas, como para la producción de crías y engorda bajo diferentes técnicas y especies. Avilés-Quevedo, *et al.* (2002) mediante el cultivo experimental encontraron que *L. aratus* alcanza 1,300 g en un año y hasta 1,700 g en 16 meses, *L. peru* 1,359 g en 12 meses, *L. guttatus* 870 g en 16 meses, si bien, no se tiene información sobre el peso inicial en el proceso de engorda de los organismos en cuestión.

Saucedo – Lozano *et al.* (1992) en su trabajo sobre "Distribución y densidad de juveniles de *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy, 1922) en la costa de Jalisco y Colima, México; resumen que durante tres cruces capturaron un total de 641 individuos juveniles, con longitud total de entre 3.7 cm y 21.9 cm y un peso de entre 6.0 g y 153.3 g. Asimismo, señalan que la presencia de estos organismos se limitó a las profundidades de 20 m y 40 m. Por otra parte indican que de acuerdo con modelos de crecimiento propuestos por otros autores, los grupos de organismos identificados tendrían entre 1.0 y 1.5 años de edad. Las cifras antes mencionadas contrastan con las del INP Manzanillo (INP, 2002 - 2004) de acuerdo con las cuales, se pueden encontrar organismos de 6 g – 150 g, en grandes cantidades entre los 3 m y los 20 m de profundidad, los cuales pueden crecer mediante proceso de engorda hasta alcanzar más de 700 g en menos de un año.

Gómez *et al.* (1994), en su trabajo sobre "Aspectos biométricos y de reproducción del pargo ojo amarillo (*Lutjanus vivanus*)", señalan que no encontraron diferencias significativas para las ecuaciones que relacionan la talla y el peso de hembras y

machos y estimaron una ecuación común para ambos sexos, representada como $P = 0.00001 \cdot LT^{3.02}$

Gutiérrez-Vargas y Durán-Delgado (1998 - 1999), en su trabajo "Cultivo del pargo de la mancha *Iutjanus guttatus* (pisces: Iutjanidae) en jaulas flotantes", señalan que en experimentos paralelos se engordaron peces de 100 g a 275 g y de 280 g a 485 g en un período de 123 días (aproximadamente 4 meses). La tasa de crecimiento observada fue de 1.87 y 1.7 g/día, con una tasa de conversión alimenticia de 7.88 con base en alimento húmedo y 1.77 en alimento seco. La mortalidad total se estimó en 6 %. La alimentación proporcionada consistió en alimento vivo (camarones y calamar descartados), que según los análisis realizados tuvieron la siguiente composición agua 77.5%, proteína 4.4%, grasa 0.3% y ceniza 16%, lo anterior equivale a un 25% de proteína en base seca. De la información recabada durante el experimento se generó la siguiente expresión talla - peso

$$P = 0.0188 \cdot L^{2.918} \text{ con } r^2 = 0.99.$$

Olivares-Paulette, *et al.* (1998 - 1999), en su trabajo "Crecimiento de juveniles de pargo de la mancha (*Iutjanus guttatus*) utilizando alimento granulado en condiciones de laboratorio", señalan, como resultado de un experimento de 14 días de duración, en el que se manejaron organismos de 42 g de peso inicial y se aplicaron 5 tasas de alimentación, entre 0 y 5% del peso corporal/día (PC/día), la tasa de crecimiento específico varió desde valores negativos (-0.32% PC/día en ayunas) hasta un máximo de 2.05% PC/día. La tasa óptima de crecimiento se estimó en 1.09% PC/día. El factor de conversión en condiciones de crecimiento óptimo y máximo fue de 0.94 y 1.86, respectivamente.

1.2.2. Del tema de estudio

Tapia (2004) Investigador del CRIP salina Cruz, estimó que en términos muy generales, durante la operación de las jaulas flotantes para el cultivo de pargos, se generan procesos como los que se presentan en la figura 5: Al describir los procesos biológicos que pueden llevarse a cabo con los desechos de alimento y excretas, expuso que puede intervenir la oxidación del amonio a nitrito y la oxidación de nitrito a nitrato; el proceso de nitrificación es afectado por la cantidad y frecuencia de desechos, temperatura, oxígeno disuelto, pH y salinidad, parámetros que a su vez son modificados como resultado de dichos eventos. Los procesos mencionados inducirían a la floración algal por eutroficación representada por incremento de nutrientes y elevación de la productividad primaria. Según esta fuente, autores como Brezzenka (1985) y Ryter (1980) citados por Tapia (2004), suponen que al disminuir la proporción Si/N se puede potenciar la eutroficación reduciendo el potencial de crecimiento de diatomeas, a favor de flagelados nocivos.

Por lo general, los desechos solubles se incorporan a la columna de agua y al sedimento. Los desechos sólidos vertidos son fundamentalmente carbono orgánico y nitrógeno. El enriquecimiento orgánico del ecosistema bentónico puede dar como resultado el aumento del consumo de oxígeno. La dilución/dispersión de las excretas y alimento no consumido, están en función de la velocidad de la corriente y la profundidad de las masas de agua.

Pearson y Black (2001) expusieron, con respecto de hacer los cultivos marinos en jaulas flotantes, que esta tecnología implica que los componentes se vierten directamente en el ambiente marino. Los productos disueltos incluyen amonio fósforo y carbono orgánico disuelto, el cual contiene fracciones ricas en nitrógeno y fósforo; estos solubles pueden ser directamente excretados o disolverse a partir de alimento o partículas fecales. Señalan además, que en ambientes con

intercambio restringido es generalmente útil la estimación del tiempo de recambio, para medir el riesgo de un incremento significativo de las concentraciones de nutrientes.



Figura 5 Elementos de interacción entre el alimento balanceado y el medio en la columna de agua. FUENTE: R. Tapia INP CRIP Salina Cruz (2004)

Por otra parte, según estos autores generalmente se asume que en contraste con cuerpos de agua dulce, el nitrógeno es el que probablemente limita el crecimiento del fitoplancton en aguas marinas; sin embargo, aparentemente no siempre es el caso, mientras que la relación nitrógeno fósforo sí puede causar un efecto sobre el fitoplancton (Arzul *et al.*, 1996). Limitaciones de fosfatos por alteraciones naturales en la proporción N/P han sido implicadas por ejemplo en un bloom de *Crysochromulina polytepis* que es tóxica (Smayda, 1990). Wildish *et al.* (1993)

encontraron que la maricultura de salmónidos no afectó significativamente las concentraciones de Nitratos, fosfatos y silicatos en la bahía de Fundy Nueva Escocia, pero había incrementos locales en la concentración de amonio. Estudios más recientes en el Mediterráneo, Pitta *et al.* (1998) reportaron elevadas concentraciones de fosfatos y amonio, cerca de tres granjas de peces, pero no se detectó efecto significativo en la clorofila.

Un comentario de Pearson y Black (2001) que vale la pena destacar, es el de que solo en raras ocasiones ha sido posible demostrar cualquier relación entre los nutrientes producidos en una granja y una respuesta biológica. Más allá de observar puramente el enriquecimiento local, normalmente no es factible atribuir efectos en escalas mayores a los nutrientes provenientes de los cultivos. Sin embargo, citan, en aguas estuarinas del archipiélago de Finnish, en el norte del Mar Báltico, niveles crecientes de eutroficación atribuible a nutrientes de las granjas de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) han resultado en un rápido crecimiento de algas en el fondo durante el verano, lo que ha causado anoxia en las aguas del fondo y una fuerte reducción en los peces locales y poblaciones bénticas. Por otro lado, un "bloom" de diatomeas en la costa oeste de Escocia fue el causante del mayor cierre de la pesquería de escalopos silvestres durante 1999 – 2000, cuando en un área muy grande dieron positivo a la toxina ácido demoico que causa amnesia por envenenamiento con moluscos. Fue ampliamente reportado en el medio popular que este evento tóxico fue consecuencia de la perturbación ecológica causada por efluentes de nutrientes de las granjas de peces; no obstante no se ha presentado evidencia que soporte este punto de vista y dado que el fenómeno ocurrió a lo largo de una gran área de la costa oeste de Escocia incluyendo zonas muy distantes de la acuicultura costera, existe poca probabilidad de que éste sea el caso.

Respecto al balance del nitrógeno en el cultivo en jaulas flotantes, los aportes de carbono producen procesos sedimentarios biogeoquímicos, pero los materiales de desecho también contienen cantidades importantes de otros elementos

ambientales relevantes que influyen en los procesos biológicos en la columna de agua, entre los que se encuentra el nitrógeno, fósforo, y silicio. Las excreciones de compuestos de nitrógeno por los peces marinos y su toxicidad asociada, ha sido ampliamente revisada por Handy y Poxton (1993). Los peces marinos pueden asimilar una gran proporción del nitrógeno ingerido (hasta el 95%), pero cualquier reducción en la eficiencia de la asimilación puede llevar a niveles significativamente elevados de nitrógeno fecal. Utilizando la amplia información publicada por Handy y Poxton (1993), quienes produjeron el peor y el mejor escenario para la pérdida de nitrógeno al ambiente, concluyeron que entre 95% y 52% respectivamente del nitrógeno adicionado en el alimento finalmente se pierde mediante una combinación de desperdicio de comida y absorción y retención incompletas. Sin embargo, el peor escenario (95% de pérdida de nitrógeno), es tal que resulta cuestionable, ya que ninguna actividad de cultivo en ninguna parte, podría operar tan mal sin estar fuera del negocio. Las pérdidas de nitrógeno en peces subtropicales alimentados con pescado de desecho es alrededor de tres veces la de las especies de aguas templadas. Las dietas a base de desechos son propias de un gran desperdicio como consecuencia de un alto contenido de nitrógeno, su tendencia a descomponerse y verter pequeñas partículas no consumidas durante la alimentación.

En cuanto al fósforo en efluentes de granjas de peces, se dice que ha sido de considerable interés principalmente en agua dulce y en sistemas de aguas salobres, donde puede ser un nutriente limitante para el crecimiento de las plantas. Karrakassis, *et al.* (1999) atribuyeron los incrementos de biomasa béntica de diatomeas, debajo de las granjas en Grecia, a la liberación periódica de fosfatos almacenados en el sedimento a medida que éstos oscilan entre estados de oxidación y reducción. En condiciones de oxidación los fosfatos se transforman en trifosfato de hierro, que se precipita cerca de la superficie de los sedimentos; bajo condiciones de reducción éste se reduce a bifosfato que es soluble.

Por lo que respecta al silicio, se ha pensado que la mayoría de este elemento proviene de diatomeas asociadas con las granjas, las cuales proveen de un buen nicho para los organismos que utilizan el silicio de fuentes externas a la granja. Continúa la preocupación acerca de que las especies de dinoflagelados tóxicos pueden promoverse como resultado de un desbalance de nutrientes (Berry, 1996); por lo tanto, Holby y Hall (1994) han propuesto que con el propósito de mantener las proporciones de silicio en relación con el fósforo y el nitrógeno, las jaulas deben ubicarse en áreas donde exista una buena disponibilidad de agua de mar "fresca", debiendo analizarse adecuadamente la aplicación deliberada de silicio biogénico al alimento.

Pearson y Black. (2001), hacen referencia también a los procesos microbiológicos sedimentarios, exponiendo entre otras cosas que la concentración de oxígeno en cualquier punto del sedimento depende de su consumo, ya sea como combustible para metabolismo aeróbico o para reoxidar productos reducidos liberados desde sedimentos más profundos. Cuando la demanda de oxígeno causada por el aporte de materia orgánica excede la tasa de difusión de las capas adyacentes, el sedimento se vuelve anóxico y dominan los procesos anaeróbicos. A medida que los sedimentos se vuelven más reductores al incrementarse su distancia a la capa de interfase en la columna de agua, van siendo sucesivamente dominantes diferentes procesos microbiológicos:

1. Respiración aeróbica, oxidación de amonio a nitrito, y oxidación de nitrito a nitrato, proceso de nitrificación aeróbico que es inhibido por los sulfuros por lo que su importancia es limitada en los sedimentos bajo las granjas de peces.
2. Denitrificación.
3. Reducción de nitrato produciendo amonio y reducción de manganeso.
4. Reducción de sulfatos produciendo hidrógeno y sulfuros.
5. Bajo las condiciones más reductoras, metanogénesis (producción de metano)

El perfil del potencial de óxido reducción (ORP por sus siglas en inglés) medido en la columna de sedimentos hasta una profundidad de 10 - 15 cm. da una idea útil del grado de enriquecimiento por carbono de los sedimentos (Pearson y Stanley, 1979). Valores positivos de ORP indican condiciones aeróbicas, mientras que los negativos están asociados con procesos microbiológicos anaeróbicos. En condiciones normales de aporte de carbono detrítico a los sedimentos, el nivel de discontinuidad óxido - reducción, que es en el cual los procesos anaeróbicos se vuelven predominantes (RDL por sus siglas en inglés), se encuentra a unos centímetros bajo la superficie. A medida que los aportes de carbono se incrementan, el RDL se acerca a la superficie y la demanda biológica de oxígeno (DBO) se incrementa. Eventualmente bajo condiciones de elevados aportes de detritos, el RDL coincide con la interfase agua/sedimento a partir de donde, en condiciones de bajo flujo, puede elevarse incluso a la columna de agua. Dado que la degradación orgánica es más baja en condiciones anaeróbicas, estas situaciones extremas son indeseables ya que no solo provocan la eliminación de la infauna béntica, la cual juega un papel crucial en la oxigenación de las capas superiores de los sedimentos, sino que además al reducir la velocidad del reciclado del carbono, se estimula la perpetuación de la anoxia de los sedimentos. Un monitoreo regular de los niveles de ORP de los sedimentos adyacentes a las jaulas puede dar una buena indicación de la posible generación de estas condiciones

Tabla 8.- Perfiles del ORP (en mV) en núcleos de sedimentos tomados en estaciones de muestreo; al lado de una jaula de peces, a 25m y a 1,000 m de la jaula.

Posición	Profundidad	Adyacente a la jaula		A 25 m de la jaula		A 1000 m de la jaula	
		1	2	1	2	1	2
Núcleo No.	mm						
Agua	+10	+85	+185	+383	+415	+427	+432
Superficie	0	-149	-98	+318	+198	+428	+416
	-5	-174	-130	+234	+62	+451	+173
	-10	-193	-149	+103	+23	+449	+158
	-20	-198	-164	+99	+10	+235	+127
	-30	-205	-173	+70	+5	+162	+132
	-40	-211	-183	+27	-7	+152	+100
	-50	-220	-192	-7	-25	+148	+56
	-60	-225	-189	-40	-82	+117	+64
	-75	-238	-211	-88	-103	+100	+34
	-100	-240		-99	-134	+91	

Todas las estaciones fueron a la misma profundidad (38 m) y tuvieron el mismo tipo de sedimento (>90% limo/arcilla). FUENTE: Pearson y Black (2001)

Los perfiles de ORP (tabla 8), se obtuvieron de tres áreas, una altamente enriquecida adyacente a las jaulas de peces, una localizada a 25 m de este punto y otra ubicada a 1,000 m del mismo; en éste último perfil, que presenta condiciones normales, el RDL se encuentra bastante más debajo de los 100 mm. A los 25 m de la jaula el RDL se encuentra entre los 40 y 50 mm lo que indica condiciones moderadas de enriquecimiento, mientras que en la estación junto a la jaula de peces el RDL se encuentra en la superficie del sedimento y todos los valores en éste son negativos; esto sugiere condiciones de un elevado enriquecimiento.

Vale la pena considerar los valores registrados sobre la superficie del sedimento de alrededor de 400 mV en las dos estaciones más distantes que representan valores esperados para saturación de oxígeno, mientras que en la estación de la jaula los valores son mucho más bajos, lo que indica abatimiento del oxígeno.

Las poblaciones de macro fauna béntica que reciben aportes normales de detritos resultado de la producción planctónica en las capas inmediatas, son ricas en especies, tienen una relativa baja abundancia total/tasa de riqueza en especies e incluyen una amplia variedad de taxas mayores, tamaños y tipos funcionales; esto es, son comunidades con alta diversidad. A medida que el aporte de detritos se incrementa, también lo hace la diversidad al principio, ya que el aumento de aporte de alimento da oportunidad para la expansión de las poblaciones existentes y la inmigración de especies adicionales. Sin embargo, los cambios asociados en las condiciones físicas y químicas de las capas más profundas del sedimento, progresivamente eliminan las más grandes y profundas formas y de mayor longevidad allí guarecidas y favorece a especies oportunistas más pequeñas y de más rápido crecimiento. Eventualmente, si los aportes continúan incrementándose, la superficie de los sedimentos se vuelve anóxica y solo algunos grupos taxonómicos especializados pueden sobrevivir; principalmente pequeños anélidos y nemátodos. No obstante, bajo estas condiciones las poblaciones de estas especies pueden alcanzar niveles muy altos. Donde el RDL ocurre cerca de

la superficie de los sedimentos puede cubrirse de densas capas de bacterias oxidantes de sulfuro. Finalmente, incrementando los niveles de demanda biológica de oxígeno (DBO) sedimentaria se genera la desoxigenación de las capas inmediatas a los sedimentos, lo que lleva a la eliminación de toda la capa macrobéntica (figura 6).

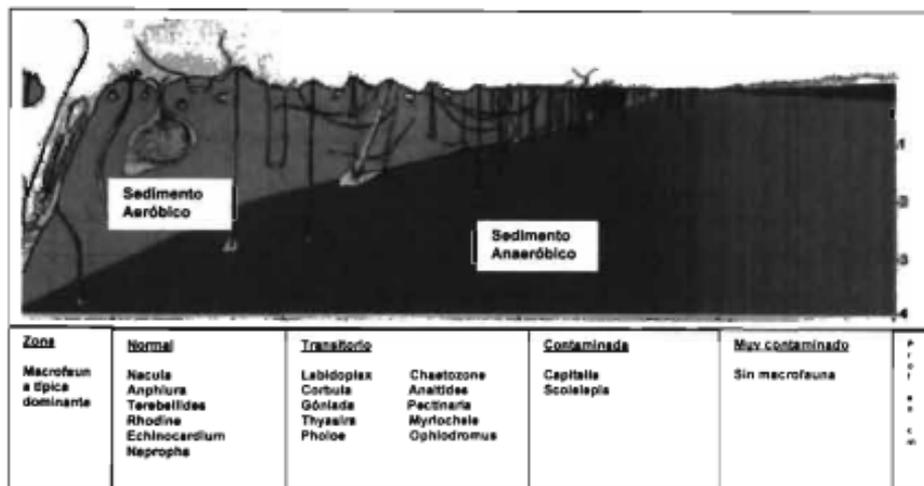


Figura 6.- Representación diagramática de sucesión faunística a lo largo de un gradiente de enriquecimiento orgánico. FUENTE: Pearson y Black (2001)

Al hablar de impactos ecológicos en las poblaciones silvestres, se hace referencia también a impactos genéticos que pueden ocurrir a partir de un escape de organismos de una granja, así como al aporte de parásitos y patógenos a las poblaciones silvestres; sin embargo, en el ambiente marino los organismos enfermos sucumben fácilmente a los depredadores, por lo que no es fácil encontrar animales enfermos en este medio y por lo tanto no es fácil confiar en la frecuencia o significancia de la transferencia de patógenos a las poblaciones naturales; no obstante se estima pertinente referir algunos ejemplos (Pearson y Black, 2001).

Las infestaciones con el piojo de mar, son endémicas de las áreas de cultivo de salmón, en años recientes las declinaciones de las poblaciones de salmón del medio natural han llevado a la creencia generalizada de que existe un vínculo entre el cultivo y estas declinaciones. En Escocia se ha prestado particular atención a la trucha de mar *Salmo trutta* cuyas poblaciones han tenido declinaciones catastróficas, principalmente en el noroeste donde está concentrado el cultivo de salmón (Northcott y Walker, 1996). En su primera visita al mar en la primavera siguiente al año de avivamiento, estos animales pueden enfrentar la presencia de grandes poblaciones de piojos de mar en estado larvario y rápidamente quedar infectados con varios cientos de ellos.

Investigaciones realizadas en Noruega, en cooperación entre el Instituto de Investigación Marina y la Universidad de Bergen, en las que se utilizó una red con un acuario en el copo para evitar daños a las escamas y por lo tanto cualquier pérdida de algún estadio del piojo de mar, se obtuvieron resultados que indicaron que más del 86% del salmón del Atlántico que emigró del fiordo Sognefjord y entre el 48.5 – 81.5% del que emigró del fiordo Nordfjord, murieron como consecuencia de infección con piojo de mar durante la primavera de 1999. Aún cuando la relación entre el piojo de mar y la declinación de las poblaciones naturales de salmón fue notable, no se contó con una prueba prudente de un vínculo causal, como la evidencia genética que pudiera soportar el caso de que al menos algunos de los piojos de los peces del medio natural provenían de las granjas de peces.

1.2.3.- Del Istmo de Tehuantepec

1.2.3.1 Fisiografía

De acuerdo con Carranza, Edwards *et al.* (1998), la llanura costera del Istmo de Tehuantepec se caracteriza por tener una amplitud menor hacia el oeste, que se va incrementando gradualmente a partir de Puerto Ángel hacia el este, presentándose una amplia llanura costera frente a la región de los cuerpos lagunares conocidos como Laguna Superior, Mar Tileme y Laguna Inferior en el Estado de Oaxaca (figura 7).

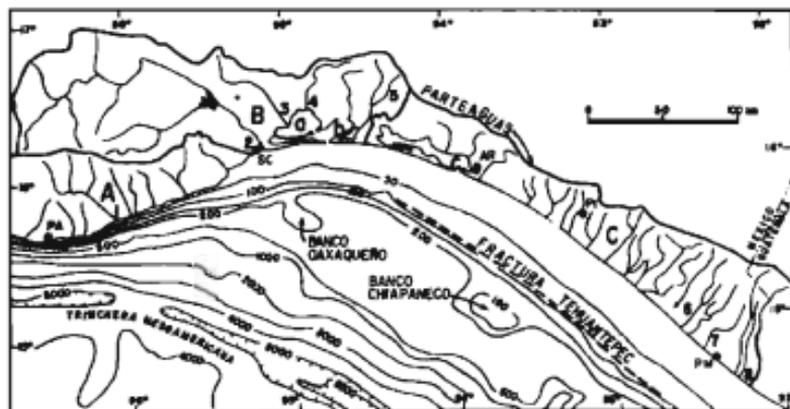


Figura 7.- Morfología costera y marina asociada con el Golfo de Tehuantepec. Cuencas: A) costa de Oaxaca, B) Tehuantepec, C) Costa de Chiapas; Ríos 1) Copalita, 2) Tehuantepec, 3) De los perros, 4) Chicapa, 5) Ostula, 6) Huixtla, 7) Coatlán, 8) Suchiate; Localidades PA) Puerto Ángel, SC) Salina Cruz, AR) Puerto Arista, PI) Pijijiapan, PM) Puerto Madero; Sistemas lagunares a) Laguna Superior, b) Laguna Inferior, c) Laguna del Mar Muerto. La Fractura de Tehuantepec y los Bancos Oaxaqueño y Chiapaneco (sitios ricos en sedimentos fosfatados), se descubren a partir de la Campaña Oceanográfica MIMAR III. Batimetría expresada en metros.

FUENTE: El Golfo de Tehuantepec, El Ecosistema y sus Recursos; Universidad Autónoma Metropolitana 1998.

Carranza, Edwards *et al.* (1998), señalan también la presencia de una gran fractura, la Fractura de Tehuantepec, la cual es perpendicular a la dorsal Tehuantepec, paralela a la línea de costa y a la Trinchera Mesoamericana. Esto sugiere una continua actividad tectónica, la cual a su vez parece ser responsable de que la plataforma en este sitio no se encuentre bien desarrollada hasta los 200 m, pues el quiebre de la plataforma se da a profundidades menores (figura 7).

Los sedimentos litorales, están constituidos (según la clasificación de Folk, 1974) por feldsarenitas. Carranza, Edwards *et al.* (1988) observan que las playas de Oaxaca correspondientes al litoral del Golfo de Tehuantepec, desde Puerto Ángel al oeste hasta Aguachil al este, presentan un 62% de feldespatos con una desviación estándar de 7.8%, en tanto que el promedio de cuarzo es de 35% con una desviación estándar de 8.7%.

De estudios efectuados en sedimentos de la plataforma continental durante la campaña oceanográfica MIMAR III, se definió que los sedimentos de colores oscuros se distribuyen principalmente hacia el este. Las arenas lodosas están más ampliamente distribuidas hacia el este, lo que puede sugerir una relación entre el tamaño de las partículas y la profundidad (Carranza - Edwards *et al.*, 1987). No obstante, se señala que en las vecindades de las lagunas costeras de la región, se han observado largas extensiones de lodos arenosos en aguas someras que sugieren un importante aporte de sedimentos lagunares hacia la plataforma continental del golfo de Tehuantepec. Morales de la Garza y Carranza - Edwards (1995), encontraron que los constituyentes terrígenos de la fracción gruesa de los sedimentos del golfo se caracterizan por la presencia de cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca, material vegetal y como minerales accesorios ilmenita, magnetita, zircón y olivino, entre otros.

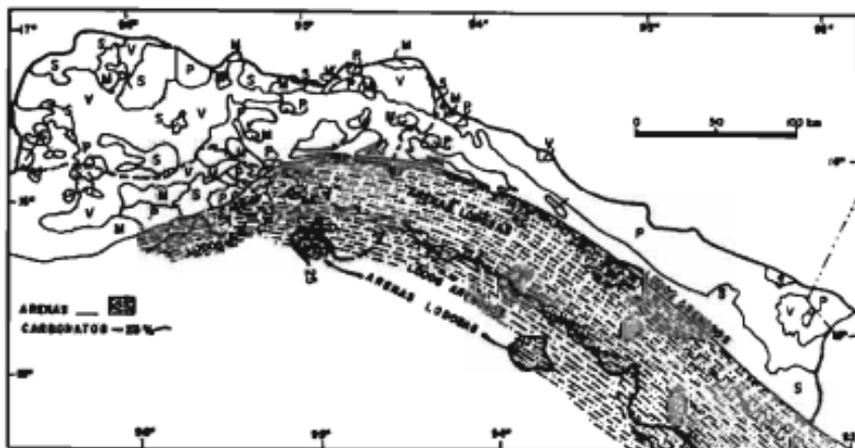


Figura 8.- Principales grupos litológicos presentes en la zona costera, sintetizados a partir de la compilación de Padilla y Sánchez *et al.* (1983): S) sedimentos y rocas sedimentarias de diversas edades V) Rocas volcánicas intermedias y básicas principalmente del terciario y del cuaternario P) Rocas plutónicas ácidas del Paleozoico y Mesozoico M) Rocas metamórficas principalmente del paleozoico. La distribución textural de sedimentos del piso marino es modificada de Carranza - Edwards (1987).

Fuente: El Golfo de Tehuantepec, El Ecosistema y sus Recursos, Universidad Autónoma Metropolitana 1998

Los autores antes mencionados encontraron que el cuarzo y los restos biogénicos son los constituyentes más abundantes en la fracción arenosa y el primero, guarda una relación inversamente proporcional con la profundidad, toda vez que el cuarzo abunda a profundidades entre 70 y 90 m y su contenido disminuye a mayor profundidad; en cambio, a mayor profundidad el contenido de biogénicos se incrementa. Los sedimentos tienden a ser más ricos en carbonatos a medida que la profundidad aumenta, encontrándose la isolínea de más de 20% de carbonatos a profundidades mayores de 150 m (figura 8).

Según la Secretaría de Marina (1988) las profundidades del Golfo de Tehuantepec son menores a mil brazas, la línea batimétrica que corresponde a esa profundidad pasa frente a Puerto Ángel a una distancia de 12 millas de la costa y atraviesa el

Golfo con ondulaciones, hasta llegar a unas 47 millas mar adentro, al suroeste de la desembocadura del río Suchiate

1.2.3.2.- Vientos.

De acuerdo con Monreal Gómez *et al.* (1998), el Golfo de Tehuantepec está influenciado por los vientos provenientes del norte, por las tormentas tropicales, por la oscilación cuasi bianual del Pacífico y a períodos mayores por "El Niño" Oscilación del Sur; durante el verano algunos ciclones tropicales pasan sobre él. Según el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1981), la región es de tipo Aw que corresponde a un clima cálido subhúmedo, el más seco de los subhúmedos, con régimen de lluvia de verano y presencia de Canícula.

En invierno que es época de secas y en primavera, se presentan los "nortes", principalmente de octubre a abril, los cuales se manifiestan como vientos fríos en el Golfo de México. Por efecto de los anticiclones, estos vientos se mueven hacia el sur y atraviesan el Istmo de Tehuantepec; al pasar por la discontinuidad de la cordillera de la Sierra Madre aumentan su velocidad. Dicha discontinuidad tiene un ancho de 40 km y una altitud de 200 m.

1.2.3.3.- Circulación de aguas superficiales

El Golfo de Tehuantepec presenta cuatro patrones de circulación superficial característicos a lo largo del año (Blackburn, 1962). Durante el período de "nortes", de octubre a enero, este patrón muestra dos corrientes paralelas a la costa y en sentido contrario, las cuales se encuentran a la altura de Salina Cruz (la velocidad de la corriente en la parte alta del golfo es inferior a la de la parte sur), una vez que las corrientes convergen, siguen una trayectoria hacia mar adentro con deflexiones hacia el suroeste. A finales de la época de "nortes", entre febrero y abril, el patrón de circulación es similar al anterior, pero con una más importante participación de la contribución del noroeste, por lo que una vez que convergen

forman dos celdas desarrollando un dipolo: un giro anticiclónico en la porción oeste y uno ciclónico en la parte oriental del golfo. En el periodo de junio agosto, época de lluvias y huracanes, el patrón de circulación es muy sencillo, pues la corriente va hacia el noroeste. En los meses de mayo a septiembre, de transición entre época de lluvias y secas, la corriente presenta una línea sinuosa con flujo de Este a Oeste (figura 9). Álvarez *et al.* (1989) realizaron un estudio de la circulación a pocos kilómetros de la costa, las velocidades se obtuvieron con boyas de deriva, encontrándose que el flujo a lo largo del eje del viento es hacia fuera de la costa con velocidades entre 20 – 30 cm/s (0.38 – 0.58 nudos), el flujo hacia el este fue de 50 cm/s (0.97 nudos), a lo largo de la costa la velocidad fue de 50 - 80 cm/s (0.97 - 1.55 nudos).

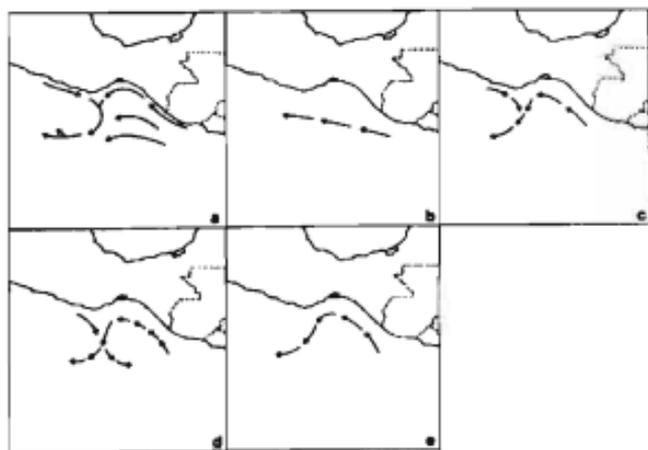


Figura 9.- Corrientes superficiales en el Golfo de Tehuantepec a) época de "nortes" según Roden (1961), b) de junio a agosto, c) de octubre a enero, d) de febrero a mayo, e) mayo y septiembre según Blackburn (1962). - - - - menores a 20 cm/s. — — — — mayores a 20 cm/s.

Fuente: El Golfo de Tehuantepec, El Ecosistema y sus Recursos; Universidad Autónoma Metropolitana 1998

1.2.3.4.- Hidrología superficial

De acuerdo con Camacho (1990) el litoral de Oaxaca, que abarca desde el municipio de Jamiltepec limitrofe con Guerrero, hasta la línea divisoria con el estado de Chiapas en el sistema lagunar Mar Muerto, tiene una longitud de 597 km, a lo largo de los cuales se ubican 61 sistemas lagunares de diferentes dimensiones, profundidad y temporalidad, que ocupan una superficie variable, de acuerdo a la época de lluvias y los aportes de agua dulce; la superficie promedio de estos sistemas es de 145, 000 has. De acuerdo a los criterios de zonificación acuícola de Camacho (1990), dichos sistemas lagunares se distribuyen de la siguiente forma: 17 lagunas en la zona acuícola I que comprende el municipio de Jamiltepec y parte del municipio de Juquila; la zona II cuenta con 6 esteros y marismas que abarcan la parte oriental de Juquila hasta el municipio de Pochutla; los municipios de Tehuantepec y Pochutla comprenden la zona acuícola III y cuentan con 22 sistemas lagunares y finalmente, la zona acuícola IV incluye el macro complejo lagunar de la región Huave y comprende 16 lagunas.

Los balances de precipitación para el litoral de Oaxaca son del orden de 976 mm en promedio, aunque puede alcanzar cifras más elevadas. Esta precipitación, sin embargo, no es homogénea para toda la zona litoral, ya que disminuye de acuerdo a la incidencia de los vientos del norte, la topografía y la vegetación litoral. Es evidente que la precipitación presenta sus mayores picos hacia la región Oeste a partir de Río Grande, y en la región Este a partir de río Nilttepec, en donde se registran precipitaciones medias de 1200 a, 1300 mm; en cambio, hacia la parte central del Istmo de Tehuantepec, las precipitaciones son muy bajas debido a fuertes vientos istmeños, y a que el acarreo de lluvias provenientes del Golfo de México queda atrapado por la Sierra Madre del Sur y la Sierra atravesada de Oaxaca.

La mayor evaporación se registra en las zonas no arboladas de Jamiltepec, Juquila y Tehuantepec, en donde solo se dan los chaparrales y huizacheras (figura 10). Esta alta evaporación favorecida también por los vientos "nortes", la

temperatura elevada de la zona, la fuerte irradiación, los pocos aportes de agua dulce debido a los ríos embalsados y destinados al uso agrícola, así como al cierre de las bocanillas de los principales sistemas lagunares, genera enormes platos de evaporación que sobrepasan los 2,000 mm anuales, lo que descompensa el equilibrio hidrodinámico, climático y ecológico de la zona central del Golfo de Tehuantepec.



Figura 10.- Vegetación en la zona costera, en el Municipio de Tehuantepec, compuesta principalmente de módulos aislados de arbustos y huizacheras; es evidente la ausencia de mangle y palmares.

En el litoral de Oaxaca, existen 38 ríos de muy diversas características en cuanto a longitud, anchura, tipo de fondo y sobre todo de volumen de agua. Seis ríos corresponden al Municipio de Jamiltepec, cinco al de Juquila, Pochutla cuenta con nueve, los de Tehuantepec son nueve, y el Municipio de Juchitán cuenta con nueve ríos. No todos son permanentes y algunos proveen muy poco aporte en época de estiaje, quedando reducida la oferta de afluentes a un total de 13 ríos con características permanentes; tomando en cuenta además, que no todos

desembocan en sistemas lagunares, se reduce aún más la oferta de agua dulce para estos. Por otra parte, algunos de aquellos que desembocan en lagunas han recorrido zonas agrícolas o son receptores de drenaje urbano o industrial. De estos 13 ríos los más importantes son Río Verde, Río Grande, Colotepec, Tonameca, Copalita, Gertrudis, Tehuantepec, Chicapa, y Astuta. El escurrimiento anual del total de estos ríos es del orden de 2, 607,324 m³, siendo los de mayor aporte el Río Verde, el Colotepec, el Copalita y el de Tehuantepec.

1.2.3.5.- Tipo y uso de suelos

De acuerdo con Serrano Guzmán *et al.*, (2004) la porción occidental de la costa de Oaxaca, desde Santiago Astata hasta Salina Cruz, se caracteriza por presentar diversas playas arenosas de corta extensión confinadas por una serie de salientes rocosas que se extienden algunas decenas de metros hacia el océano Pacífico y que - presumiblemente - detienen el transporte litoral de los sedimentos entre las playas contiguas. Por su parte, la porción oriental desde Salina Cruz hasta la boca del Sistema Mar Muerto, está dominada principalmente por procesos agradacionales en donde los depósitos eólicos forman barras, que a su vez dan origen a los sistemas lagunares, Huave y Mar Muerto.

Según estos autores, de acuerdo con la clasificación de FAO/UNESCO (1998)³, del área total de la zona costera referida, aproximadamente 57 % del suelo está clasificado como un suelo de tipo Cambisol que son suelos que se encuentran en un proceso de cambio de estructura o consistencia debido a la intemperización. El suelo clasificado como Regosol cubre aproximadamente 13% del área, éstos son suelos delgados sobre materiales no consolidados. El Vertisol cubre el 11% del área total, son suelos arcillosos oscuros, el elevado contenido de arcilla permite que tengan una baja permeabilidad lo que representa una retención mayor de las aguas superficiales. El Solonchak cubre aproximadamente el 10% del total del área estudiada, son suelos cuya característica principal es la acumulación de

³ Citado por Serrano-Guzmán *et al.*, (2004)

sales solubles. El suelo clasificado como Feozem, representa aproximadamente 6% del total de la superficie, es oscuro debido a un alto contenido de humus. El Litosol, representa poco menos del 3% del área total, son suelos poco profundos sobre rocas duras. Los suelos que presentan menos vulnerabilidad a diversos contaminantes, son los clasificados como Feozem y Vertisol, los clasificados como Regosol y Cambisol presentan capacidad media de retención de contaminantes y los más vulnerables a los contaminantes son Litosol y Solonchak.

Señalan Serrano-Guzmán *et al.*, (2004) que el análisis de fotografía aérea, imágenes (landsat mss) y cartografía temática, permitió distinguir 24 coberturas o usos distintos del suelo. Un análisis histórico indica que las áreas correspondientes a las clases de cobertura vegetal variaron en un periodo de 23 años (tabla 9).

Tabla 9.- Usos del suelo y cambio histórico en la zona de estudio

USO DEL SUELO	HECTÁREAS (1973)	HECTÁREAS (1996)	INCREMENTO TOTAL
Agricultura de temporal	49,945 9000	64,660 9000	14,715 0300
Agricultura de riego	41,190 2500	39,195 0000	-1,995 2500
Asentamientos humanos	2,873 4254	4,568 0173	1,694 5919
Industrial		576 8357	576 8357
Manglar	18,164 1576	18,164 1604	0 0028
Manglar perturbado	12,933 0300	12,910 6700	-22 4000
Matorral espinoso	34,828 8290	26,373 9760	-8,454 8530
Matorral espinoso-craicaule	8,256 9714	8,050 6584	-206 3130
Matorral espinoso-manglar	6,768 6848	6,738 1177	-30 5671
Matorral espinoso-pastizal	1,497 0980	14,970 9800	0 0000
Matorral espinoso-selva baja caducifolia	29,173 4829	25,489 1819	-3,684 3010
Matorral espinoso-vegetación secundaria	73,720 3164	6,070 1267	-1,302 1897
Área sin vegetación	15,619 9651	15,644 3604	24 3953
Palmar	1,716 4174	1,491 0195	-225 3979
Pantano	25 2871	25 2871	0 0000
Pastizal	13,700 2513	343,5113	-4,454 7400
Pastizal-bosque de huanacaxtle	10,470 3271	5,244 0500	-5,226 2771
Pastizal-matorral espinoso	5,755 2421	21,880 1261	7,223 0000
Pastizal-vegetación secundaria	48,777 6680	50,327 3998	1,549 7318
Pastizal halófilo	5,499 9377	5,499 9377	0 0000
Salina	1,196 6724	1,240 7712	53 0988
Selva baja caducifolia	48,775 4373	48,164 4625	-610 9748
Selva mediana perennifolia	237 8288	237 8288	0 0000
Vegetación de dunas costeras	3,047 0232	3,045 4759	-1 5473

FUENTE: Serrano-Guzmán *et al.*, (2004)

Los principales cambios de uso del suelo se han dado con el aumento de la agricultura de temporal, la reducción de matorral espinoso y la pérdida de pastizales; cambios menos relevantes se dieron con un mínimo aumento de la superficie pecuaria como la ganadería extensiva, y una pequeña reducción de los palmares en 225 has. En cuanto al sistema lagunar solo se muestra una reducción en área o desecación de 53 has, que se incorporaron a la extracción de sal. Finalmente, el manglar no presenta cambios en cuanto a su área.

1.2.3.6.- Características fisicoquímicas del Golfo de Tehuantepec

Las características geográficas, atmosféricas y fisicoquímicas, generan condiciones favorables para la formación de minerales de fósforo, que están frecuentemente asociados con áreas de surgencias. Casi todos los sedimentos marinos contienen fósforo en pequeñas cantidades, el promedio del fósforo en los sedimentos marinos cercanos a la costa es de 0.05% y en los sedimentos de mar profundo es de 0.14%. La mayor parte del fósforo está presente en estructuras esqueléticas, especialmente en ciertos braquiópodos, crustáceos, huesos y dientes de vertebrados (Chester, 1990).

Los sedimentos superficiales de la plataforma continental, están constituidos principalmente por arcillas arenosas y arenas arcillosas, con micro fauna constituida por foraminíferos planctónicos y bentónicos, así como micro moluscos, fragmentos de concha, ostrácodos y briozoarios en menor cantidad (Morales de la Garza y Carranza – Edwards, 1995).

El análisis químico del sedimento muestra un incremento gradual de la concentración de materia orgánica, con valores de 0.5% cerca de la costa, hasta 5% entre los 150 m y 200 m de profundidad. El contenido de carbonatos en los sedimentos superficiales varió en un intervalo comprendido entre 0% y 71%, los valores más altos corresponden a las áreas más profundas. Vázquez-Gutiérrez *et al.* (1998) presentan resultados relacionados con las características químicas del

agua en el golfo de Tehuantepec, a partir de cinco campañas oceanográficas realizadas a bordo del B/O "El Puma", cubriendo las estaciones de muestreo que se muestran en la figura 11.

De la distribución de estaciones (figura 11) se desprende que, si bien se tiene una amplia cobertura en cuanto a la superficie del Golfo de Tehuantepec, las estaciones están retiradas de la costa; por otro lado, tomando en cuenta que los muestreos se realizaron utilizando una embarcación mayor de calado importante, es de esperarse que no se tenga información para áreas tan someras como los 12 m de profundidad en los que están instaladas las jaulas de cultivo de peces.

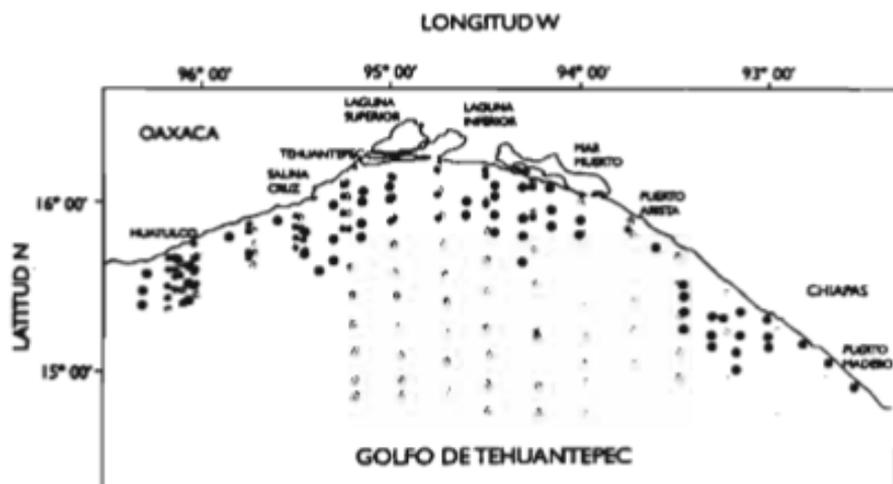


Figura 11.- Derrotero de las campañas oceanográficas MIMAR V (cuadros), SALCRU I y II (puntos), FIQUIMBI I (estrellas blancas) y II (estrellas negras) a bordo del B/O El Puma.

Fuente: El Golfo de Tehuantepec, El Ecosistema y sus Recursos; Universidad Autónoma Metropolitana 1998

Adicionalmente, las estaciones de muestreo no fueron cubiertas en todas las campañas y no se realizan en el mismo periodo anual, como se observa en la tabla 10

Tabla 10 Periodos en los que se realizaron las campañas oceanográficas.

Campaña	Fecha de realización	Campaña	Fecha de realización
MIMAR V	MAYO 1989	SALCRU I	AGOSTO 1990
FIQUIMBI I	NOVIEMBRE 1989	SALCRU II	NOVIEMBRE 1992
FIQUIMBI II	JULIO 1992		

No obstante la información generada a partir de estos trabajos puede servir como marco de referencia para el análisis de los resultados de la investigación a que se refiere este documento.

1.2.3.6.1.- Temperatura

El Golfo de Tehuantepec tiene una capa de mezcla muy somera y rara vez rebasa los 25 m de profundidad (Wyrki, 1964). En los meses de octubre a abril, la temperatura superficial es varios grados menor que la de aguas adyacentes. El área de agua fría se extiende de la línea de costa en el Golfo hasta 650 km en dirección sur suroeste con un gradiente meridional de temperatura muy notorio. El ancho del área de agua fría es mayor en el sur del Golfo de Tehuantepec que dentro del mismo golfo, esta característica sugiere que el efecto de la surgencia en el golfo está contrarrestado parcialmente por el arrastre lateral de agua caliente cerca de la costa, (figura 12).

Según Vázquez-Gutiérrez *et al.* (1998) los datos de temperatura superficial presentan heterogeneidad, debido principalmente al efecto de los vientos; se han reportado en mar abierto datos de temperatura de entre 25 y 30 °C. De la información recabada durante las campañas mencionadas, se tienen temperaturas

minimas de 18.3 – 28.1 °C, máximas de 29.7 – 31.7 °C y promedio de 25.0 – 30.2 °C

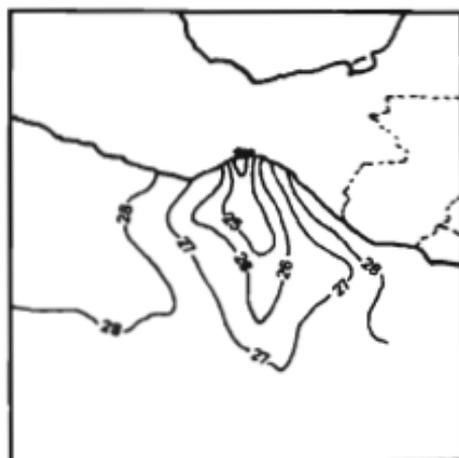


Figura 12.- Distribución de temperaturas superficiales (°C) en invierno (modificado de Roden, 1961)
Fuente: El Golfo de Tehuantepec, El Ecosistema y sus Recursos, Universidad Autónoma Metropolitana 1998

Los valores verticales de la temperatura presentan una termoclina entre los 50 y los 100 m de profundidad para la época de verano, no obstante durante la época de invierno o de vientos Tehuanos, la termoclina puede encontrarse cerca de la superficie

1.2.3.6.2.- Salinidad

Los valores promedio de salinidad superficial obtenidos durante las campañas oceanográficas son de 33.0 ‰ – 34.8 ‰; los más bajos corresponden a la zona costera al este del Golfo de Tehuantepec la cual se encuentra influenciada por los

rios de Chiapas. Los máximos valores que se obtuvieron durante las épocas de secas se encuentran en la zona oeste del Golfo

1.2.3.6.3.- Oxígeno disuelto

Los valores máximos de oxígeno disuelto de 253.6 μM – 233.1 μM (aproximadamente 8.1 mg/l – 7.45 mg/l) en el golfo de Tehuantepec, obtenidos en la superficie de la columna de agua son mayores al porcentaje de saturación. Los valores mínimos de O_2 disuelto en la columna de agua, se presentaron por debajo de los 10 μM (4.0 – 9.9 μM). Los valores promedio fueron semejantes durante todas las campañas oceanográficas y variaron entre 99.4 μM – 134.9 μM (aproximadamente 3.18 mg/l – 4.31 mg/l). La profundidad de la capa del mínimo de oxígeno se encontró generalmente entre los 10 y 100 m dependiendo de la época; estos se encontraron asociados con los máximos de nitritos, nitratos, fosfatos y silicatos (figura 13)

Una sección vertical de la distribución del oxígeno disuelto permite observar una concentración baja de oxígeno hacia la zona costera. La distribución horizontal del oxígeno disuelto a 5 m de profundidad durante la época de vientos Tehuanos, muestra un desplazamiento de aguas pobres en oxígeno hacia la zona de mar abierto y concentraciones altas en la parte este y oeste del golfo característico de la surgencia que ocurre durante la presencia de dichos vientos

1.2.3.6.4.- pH

Según Vázquez – Gutiérrez *et al.* (1998) Los valores promedio del pH observados en el Golfo de Tehuantepec están entre 7.68 y 7.92 (los máximos de las campañas fueron de 8.23 – 8.41 y los mínimos de 6.97 – 7.66) El intervalo normal del pH para aguas marinas superficiales es de 8.1 – 8.3 (Millero y Sohn, 1992). Durante la época de invierno la distribución horizontal del pH muestra valores ligeramente altos hacia la zona costera del Golfo de Tehuantepec, principalmente

en la parte central y este; hacia la parte oeste los valores de pH son bajos y están estrechamente relacionados con una concentración baja de oxígeno disuelto.

Hacia la época de los Tehuanos, esta situación se invierte y los valores más altos se encuentran hacia la parte oeste del golfo, debido probablemente al incremento de dióxido de carbono en aguas superficiales, motivado por la surgencia (Sverdrup *et al.*, 1970; Riley y Chester, 1989; Millero y Sohn, 1992; Sillero, 1996)⁴. Una sección transversal del cambio de pH, durante la campaña FIQUIMBI II, presenta un comportamiento similar al del oxígeno disuelto; dicha similitud se puede deber al contenido de CO₂ total (TCO₂) y su presión total (Sverdrup *et al.*, 1970). Es necesario señalar que la concentración del TCO₂ del agua de mar es interdependiente con la alcalinidad, salinidad y en menor medida de la temperatura.

1.2.3.6.5.- Nitritos – Nitratos

Al hablar de los nutrientes, Vázquez Gutiérrez *et al.* (1998), señalan que la concentración de nitritos en el Golfo de Tehuantepec tuvo un intervalo de 0.007 µM a 4.45 µM. Los valores no son diferentes a los reportados para otras áreas del Pacífico (Sverdrup *et al.*, 1970). La variación vertical encontrada durante las campañas del FIQUIMBI-I y II se muestra en la figura 13. En dicha figura se puede apreciar que la concentración más elevada del ión nitrito está fuertemente influenciada por los mínimos de oxígeno en capas superficiales del golfo, observándose dos mínimos, lo que es característico de las aguas tropicales del Pacífico mexicano. Debido a su inestabilidad química por ser un compuesto intermedio, la concentración de nitritos no alcanza valores altos como los reportados en otras zonas de surgencia (Codispoti y Packard, 1980; Millero, 1996). La concentración promedio de nitratos en la zona eutrófica durante las diferentes campañas, fue de 15.1 µM – 71.4 µM, observándose que los valores altos se encuentran en la época de "tehuanos" debido al rompimiento de la

⁴ Citados por Vázquez – Gutiérrez *et al.* (1998)

termoclina, o a que ésta se encuentra cerca de la superficie, lo cual origina un afloramiento con alto contenido de nutrientes (Roden, 1961; Stumpf y Legeckis, 1977; Vázquez *et al.*, 1990; Turner, 1992; Salvador, 1993)⁵.

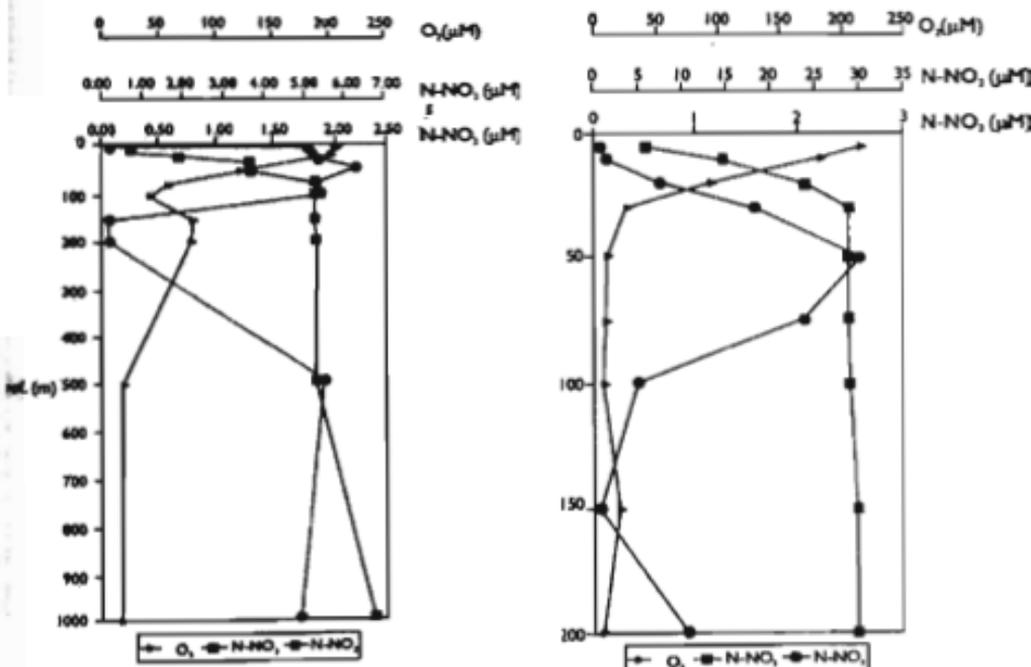


Figura 13.- Variación vertical del oxígeno, de los iones nitrito y nitrato en las campañas oceanográficas FIQUIMBI I y II
Fuente: El Golfo de Tehuantepec, El Ecosistema y sus Recursos; Universidad Autónoma Metropolitana 1998

⁵ Citados por Vázquez - Gutiérrez *et al.* (1998)

Al igual que el nitrito, el ión nitrato está influenciado por el mínimo de oxígeno; no obstante, existe una diferencia entre ambos iones, mientras que el ión nitrato alcanza un máximo con el primer mínimo de oxígeno y después permanece casi constante, el ión nitrito presenta dos máximos, el primero asociado al mínimo de oxígeno y a la profundidad de compensación fotosintética. El segundo máximo es causado probablemente por la reducción bacteriana del NO_3^- (Millero y Sohn, 1992).

1.2.3.6.6.- Silicio (Si)-Silicatos (SiO_3)

Los datos de las mayores concentraciones promedio de Si- SiO_3 para la columna de agua del Golfo de Tehuantepec ($6.5 \mu\text{M}$ – $29.1 \mu\text{M}$), fueron encontradas durante la época de vientos "tehuanos" (SALCRU II – noviembre de 1990 – y FIQUIMBI I – noviembre 1989) y durante la época de lluvias. Durante la época de secas, las concentraciones resultaron ser más bajas ($0.3 \mu\text{M}$ – $4.1 \mu\text{M}$) debido a la actividad de crecimiento de organismos (Sillero y Sohn, 1992; Sillero, 1996). La distribución horizontal del Si- SiO_3 , durante la campaña FIQUIMBI y II muestra un aporte claro proveniente de los ríos que drenan en las costas del Estado de Chiapas y que se desplazan por el efecto de las corrientes hacia la parte oeste del Golfo.

I.3.- Hipótesis de trabajo.

La aplicación de alimento balanceado en el cultivo de pargos en jaulas flotantes, en Bahía Chipehua Municipio de Tehuantepec Oaxaca, no modifica las características de la calidad del agua ni la concentración de carbono orgánico en los sedimentos, en el área de influencia del sistema de producción.

I.4.- Objetivos

I.4.1.- Objetivo general

Evaluar, el efecto de la aplicación de alimento balanceado sobre el ambiente, en un cultivo marino de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*) y guachinango (*Lutjanus peru*) en jaulas flotantes, instalado en Bahía Chipehua Municipio de Tehuantepec en el estado de Oaxaca, durante un ciclo anual (2005 – 2006).

I.4.2 –Objetivos particulares.

- Determinar el efecto de la aplicación de alimento balanceado durante el proceso de cultivo, sobre la T °C, pH, Turbidez (NTU), ORP (mV), Oxígeno Disuelto (mg/l), Salinidad (PSU), en la columna de agua y sobre la concentración porcentual de Carbono Orgánico (CO) y Carbonatos en el sedimento, en el área de influencia de las instalaciones.
- Generar una base de datos que pueda ser de utilidad como marco de referencia para futuras evaluaciones de las expectativas de

desarrollo de la maricultura comercial en el área de estudio y del marco normativo a que deba sujetarse.

- Describir la secuencia metodológica del procedimiento aplicado para la evaluación del impacto ambiental objeto de ésta investigación, así como los resultados obtenidos, que puedan servir como marco de referencia para futuras investigaciones en el área de estudio o en otras áreas de interés.

II. Área de estudio.

En la figura 14 se presenta la ubicación del área de estudio, localizada en el Estado de Oaxaca, en la porción sureste del Pacífico Mexicano.



Figura 14.- Localización del Estado de Oaxaca
Fuente: <http://es.wikipedia.org>

Esta investigación, se desarrolló en la zona conocida como Bahía Chipehua, la cual se localiza en la porción occidental del Istmo de Tehuantepec. A este lugar se tiene acceso desde la comunidad conocida como Santa Gertrudis Miramar, Municipio de Tehuantepec a donde se llega por la carretera Salina Cruz – Huatulco, aproximadamente a 80 km de Salina Cruz. Santa Gertrudis Miramar se

comunica con Bahía Chipehua mediante un camino vecinal con una longitud aproximada de 6 km.

La posición geográfica de los extremos de Bahía Chipehua son: al noreste, $16^{\circ} 05' 35.74''$ N, $95^{\circ} 18' 17.19''$ O y al suroeste $16^{\circ} 01' 13.75''$ N, $95^{\circ} 22' 01.91''$ O. Tiene una superficie aproximada de 22.786 km^2 y un perímetro de 23.569 km . (figura 15).

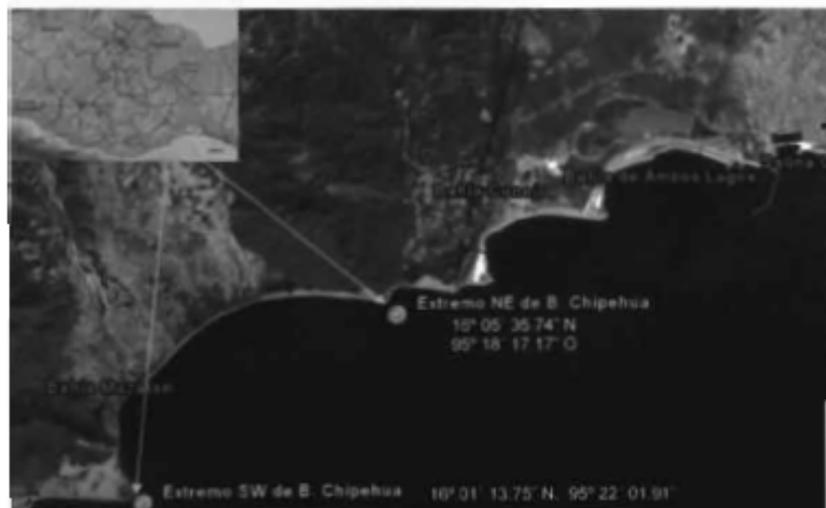


Figura 15.- Localización de Bahía Chipehua

Fuente de la fotografía aérea: © 2006 Google T M, © 2006 Europa Technologies, © 2006 Terra Metrics.

Es pertinente comentar, que tal como se aprecia en la figura 15, Chipehua no corresponde exactamente a una bahía y más bien es una inflexión en la costa tomando en cuenta lo establecido en la *CONVENCIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL DERECHO DEL MAR* (1994) que en su PARTE II referente al MAR TERRITORIAL Y LA ZONA CONTIGUA SECCION 1. DISPOSICIONES GENERALES señala;

Art. 10 Bahías

1. Este artículo se refiere únicamente a las bahías cuyas costas pertenecen a un solo Estado.

VIII. Para los efectos de esta Convención, una bahía es toda escotadura bien determinada cuya penetración tierra adentro, en relación con la anchura de su boca es tal que contiene aguas cercadas por la costa y constituye algo más que una simple inflexión de ésta. Sin embargo, la escotadura no se considerará una bahía si su superficie no es igual o superior a la de un semicírculo que tenga por diámetro la boca de dicha escotadura.

Al respecto de la anterior definición, se aclara que "Bahía" Chipehua, tomando en cuenta que la distancia entre los extremos de la inflexión es de 10.4 km, debiera encerrar una superficie igual a 42.47 km², no obstante como se señaló, el área encerrada es de solo 22.786 km².

Los pescadores que laboran en esta bahía, radican principalmente en la comunidad conocida como Santa Gertrudis Miramar, localizada a 5.7 km en línea recta desde el punto de desembarque en la ribera de la bahía (16° 02' 23.89" N, 95° 22' 39.21" O).

La agricultura de temporal que se combina con ganadería extensiva, principalmente de caprinos, comienza muy cerca de la costa, no obstante, este tipo de actividad agropecuaria no implica la utilización de fertilizantes y/o pesticidas. Por otro lado, los ríos o arroyos que desembocan en Bahía Chipehua, permanecen secos aún durante buena parte de la temporada de lluvias. La comunidad de Santa Gertrudis Miramar, donde radican los miembros de la Sociedad Cooperativa Ensenada de Chipehua SCP de RL, beneficiaria del proyecto de cultivo de pargos objeto de ésta investigación, tiene una calle principal pavimentada que conecta a la carretera Salina Cruz – Huatulco y al camino vecinal que va a la Bahía (figura 16); el resto de las calles es de terreno natural.

Actualmente casi 90% de las casas están construidas de ladrillo (de barro o cemento) y cuentan con energía eléctrica y agua potable como resultado de los apoyos que de manera permanente brinda el Gobierno del Estado a esta comunidad; no se dispone de sistema de drenaje sino de fosas y letrinas donde se descargan además las aguas de desecho domestico



Figura 16.- Calle principal de Santa Gertrudis Miramar, que conecta con el camino vecinal que lleva a Bahía Chipehua

Como ya se mencionó, en esta comunidad se desarrolla una ganadería extensiva a base de caprinos, que se encuentra en la mayoría de los casos a nivel doméstico, de aquí que una parte de los pocos terrenos disponibles para la agricultura se dediquen a la producción de forrajes y parte de los espaciosos terrenos con que cuentan las casas sean utilizados como corrales para el encierro del ganado.

En coincidencia con la bibliografía consultada, la estrecha franja de costa en la bahía está cubierta de arbustos y existe poca presencia de vegetación típica de

las zonas costeras como mangles y las palmeras. Los procesos litorales, aunados a lo escaso de los escurrimientos, probablemente generaron áreas de inundación, que actualmente son aprovechadas como salinas aparentemente poco eficientes; así pues, para los habitantes de Santa Gertrudis Miramar, miembros de la organización involucrada en el proyecto de cultivo de pargos objeto de estudio, la pesca y en éste caso la acuicultura son actividades complementarias de su principal ocupación que es la producción agropecuaria.

A la bahía de Chipehua concurren pescadores que son empleados de permisionarios particulares, y algunos organizados en cooperativas. Los medios de pesca más utilizados son embarcaciones menores tipo IMEMSA W25, con motor fuera de borda de 50 – 75 hp en su mayoría (figura 17). Los equipos de pesca son principalmente líneas de mano, palangres de fondo y redes agalleras. Mediante la combinación de las redes agalleras y el equipo de buceo semi autónomo se ha desarrollado un sistema de pesca tipo "cerco", mediante el cual se encierra a cardúmenes de peces pelágicos y demersales.



Figura 17.- Embarcaciones pesqueras y motor fuera de borda en Bahía Chipehua

En el punto de desembarque no se cuenta con infraestructura para facilitar la salida al mar y el varamiento o atraque de las embarcaciones, por lo que estas maniobras llegan a requerir hasta 16 pescadores que trabajan durante más de 45 minutos en su realización, lo que representa un elevado costo en horas hombre. Al costo de estas actividades habría que agregar los riesgos que implican, en virtud de que la bahía no está suficientemente protegida contra los temporales, en estas condiciones las marejadas frecuentemente pueden provocar la volcadura o hundimiento de embarcaciones (figura 18).

Al no disponer de energía eléctrica en la zona, las capturas son recibidas en playa por los compradores, en cajones con hielo; en la mayoría de los casos son llevadas diariamente al puerto de Salina Cruz para su venta al mayoreo.



Figura 18.- Maniobras para hacer al mar una embarcación de la Cooperativa Ensenada de Chipechua

III. Metodología.

III.1.- Selección del sitio

El sitio de estudio fue seleccionado en virtud de los siguientes aspectos principales:

- En el estado de Oaxaca, no se han realizado previamente investigaciones relacionadas con el efecto de las actividades productivas sobre las características del ambiente marino. De hecho existe poca información relacionada con las variables fisicoquímicas del agua de mar y los sedimentos, particularmente en la zona cercana a la costa.
- En la bahía de Chipehua se encontró operando regularmente un proyecto de engorda de pargos en jaulas flotantes apoyado en la aplicación de alimento balanceado.
- En la misma bahía se encuentra otra estructura fija con características constructivas similares (estructura flexible, flotante, a base de cabos de PE, profundidades similares de instalación); se trata de una trampa para la captura de peces conocida como Almadraba, en la que permanentemente se encuentran confinados peces demersales y pelágicos, solo que en éste caso no se da la aplicación de alimento ya que los peces capturados se retiran de su confinamiento diariamente (despesque).
- Adicionalmente en la misma zona se encuentran instalados dispositivos agregadotes de peces (DAP's), alrededor de los cuales se congregan cantidades importantes de peces principalmente demersales.

El sitio de instalación de la estructura de cultivo de pargos objeto de éste estudio (16° 03' 19.38" N 95° 21' 29.04" O) se ubica aproximadamente a 2.6 km, del punto de desembarque en la ribera de la bahía; éste sitio de instalación, a su vez se encuentra aproximadamente a 1.5 km. De la almadraba, de donde principalmente

se colectaron crías para la engorda (16° 04' 01.42" N, 95° 21' 21.76" O). (figura 19).



Figura 19.- Localización de los puntos de referencia más importantes en el área de estudio.

Fuente de la fotografía aérea: © 2006 Google T M, © 2006 Europa Technologies, © 2006 Terra Metrics

III.2.- Área de influencia directa del sistema de jaulas flotantes.

Se estimó el área de influencia directa de la estructura de cultivo, tomando en cuenta las dimensiones del área de las jaulas y la proyección de los cabos de fondeo. El área calculada fue de 9,935.28 m², en una superficie de forma elipsoidal con diámetro mayor de 115 m y menor de 110 m (figuras 20 y 21)

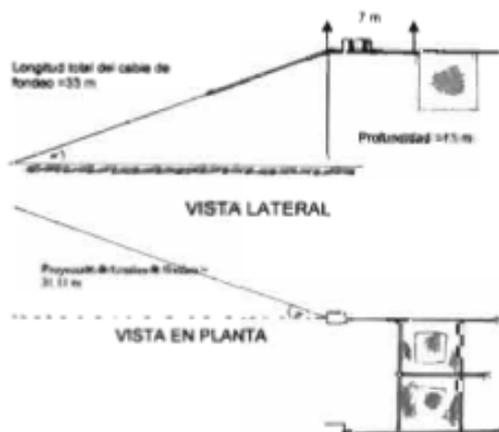


Figura 20.- Vista de las proyecciones horizontal y vertical de los cables de fondeo

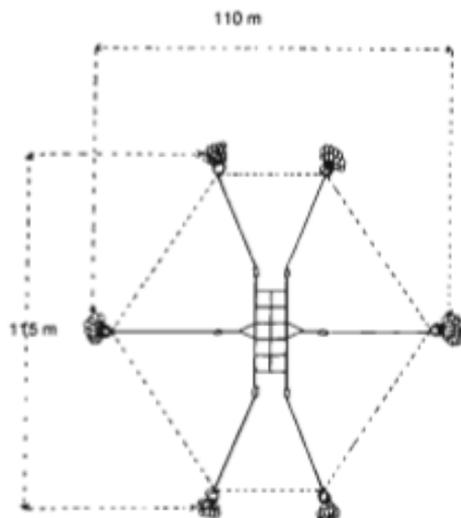


Figura 21.- Área de influencia directa de la estructura de cultivo, a partir de las proyecciones de la figura anterior

La superficie de influencia calculada equivale a 0.9935 ha, que incluye los requerimientos para maniobras alrededor de la estructura. Cabe hacer notar que de la superficie total que cubre la estructura de cultivo, solo 2.51 % es productivo y corresponde al área que ocupan las jaulas de engorda equivalente a 250 m² ó 0.025 ha.

Por otra parte, tomando en cuenta que la profundidad del sitio de instalación de la estructura varía de acuerdo con la marea entre 11 y 13 m, se estimó que el volumen total aproximado en el área de influencia es de 119,282.34 m³ aproximadamente, el volumen de las jaulas estimado, en donde se aplica alimento balanceado es de 1,250 m³ y representa el 1.04% del volumen total.

III.3.- Definición de la red de estaciones de muestreo

En febrero de 2005 se realizó un levantamiento batimétrico de la Bahía Chipehua, utilizando una video sonda JRC Plot 500 F y un sistema de posicionamiento GPS Garmin 12. A partir del proceso y análisis de la información recabada durante éste primer trabajo, se realizaron dos nuevos levantamientos durante marzo y abril de 2005; con ésta información se preparó una carta batimétrica tridimensional georeferenciada de la bahía como la que se presenta en la figura 22. Con estos elementos fue posible ubicar con precisión la estructura de cultivo respecto de otras como la almadraba, dispositivos agregadores de peces (DAP's), así como la formación rocosa más importante de la Bahía.

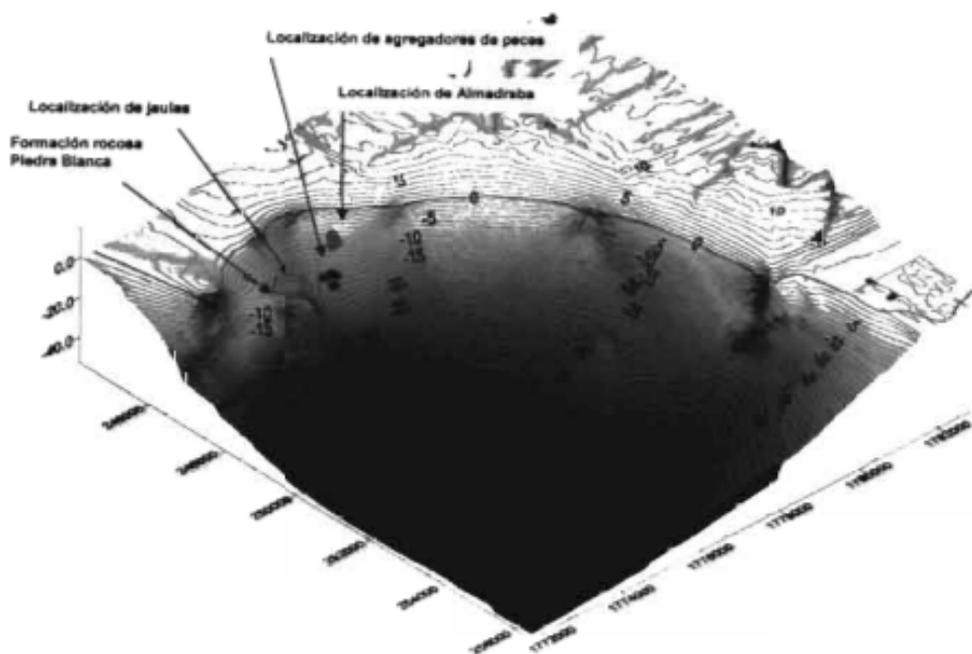


Figura 22. Vista tridimensional de la batimetría de la Bahía de Chipehus.

En la figura 22 se aprecia que la localización de las jaulas respecto de las otras estructuras; se alinean más o menos en dirección noreste – suroeste en un rango de profundidad que va de los 11 a los 15 m, con excepción de algunos DAP's instalados a 20 m de profundidad. A partir de esta información, se diseñó una primera red de quince estaciones de muestreo, en la que se incluyeron, además del área de jaulas, al resto de las estructuras fijas de la bahía, como se aprecia en la figura 23.



Figura 23.- Localización de la red de estaciones diseñada para la evaluación de la metodología de campo.

Fuente de la fotografía aérea: © 2006 Google T M, © 2006 Europa Technologies, © 2006 Terra Metrics

En éstas estaciones se realizaron muestreos de carácter preliminar para la evaluación de la factibilidad logística de la propuesta. Los muestreos correspondientes se realizaron entre finales de abril y principios de mayo de 2005, evaluándose principalmente la factibilidad de la aplicación de la metodología de trabajo de campo, a través de los requerimientos de materiales y equipos, demanda de esfuerzo físico para la toma de datos y muestras en función del estado del mar de las corrientes y las mareas, tiempos de navegación así como el procesamiento primario de muestras. En la figura 24 se presentan algunos de los

resultados obtenidos en éste muestreo preliminar, con el fin de dar idea de los intervalos de variación observados, además de conocer la representatividad de la información grafica.

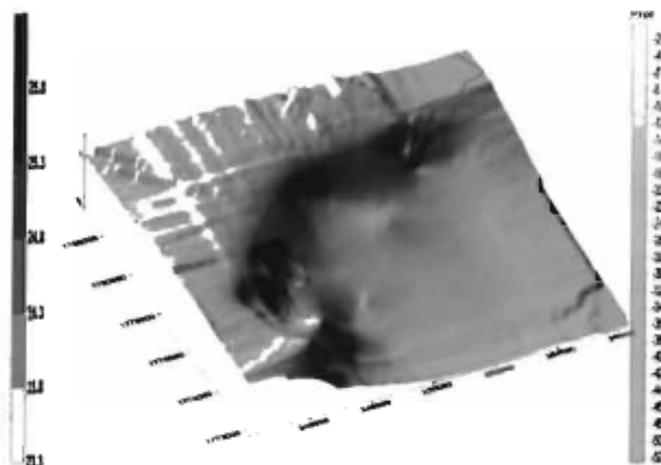


Figura 24.- Comportamiento de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) superficial y de fondo, en la zona de muestreo preliminar.

La diferencia entre la temperatura máxima registrada (25.8°C) en la zona más al este del área de muestreo y mínima (23.7°C) cercana a la saliente rocosa conocida como "Piedra Blanca" fue de solo 2.1°C , mientras que la diferencia entre las temperaturas superficiales y de fondo, que se mantienen dentro del mismo intervalo fueron de apenas 1.5°C en la estación más cercana a la piedra blanca donde se registraron las temperaturas más bajas; la profundidad en esta estación fue de 15 m.

Una situación similar se observó en las variaciones de la salinidad, según se observa en la figura 25.

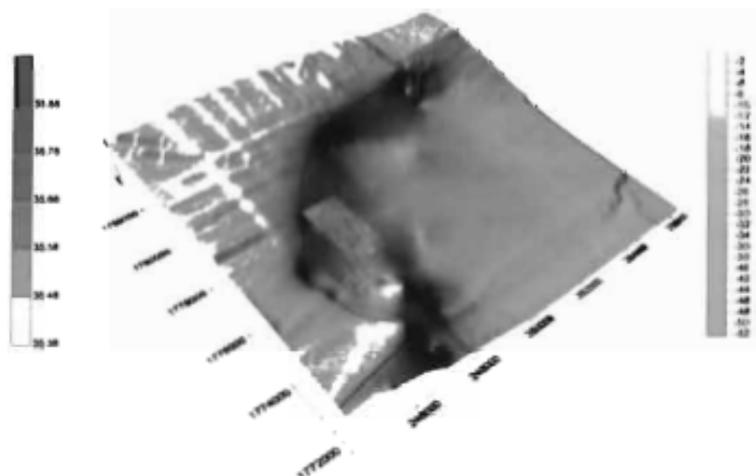


Figura 25.-. Comportamiento de la salinidad (‰) superficial y de fondo, en la zona de muestreo preliminar.

En este caso las diferencias en cada nivel así como entre niveles, fueron más pequeñas que en el caso de la temperatura. La diferencia entre valor máximo registrado de 35.88 ‰ y el mínimo de 35.38 ‰ fue de 0.50 ‰.

A partir de las observaciones sobre el comportamiento de los diferentes indicadores oceanográficos, la demanda de esfuerzo en cuanto a requerimientos de navegación, insumos, medios de trabajo de campo y laboratorio, personas participantes, entre otros, así como el hecho de que la información resultante no permitió identificar con detalle las eventuales diferencias entre el área de cultivo de peces y el resto del área de estudio, se decidió ajustar la metodología de campo, a partir de una red de cinco estaciones de muestreo (figura 26). La nueva red de estaciones, cubre el área total de influencia directa de la estructura de cultivo (figura 27) mediante tres sitios de muestreo, el primero (estación JAULA), se ubicó en el área de jaulas; el segundo (estación ESTRUCTURA 1), a 50 m; y el tercero

(estación ESTRUCTURA 2), a 150 m de distancia de la primera respectivamente (figura 27). Como estación de control se estableció, el sitio de muestreo ALMADRABA que como se dijo, permanentemente mantiene peces confinados; este sitio se localiza aproximadamente a 1,500 m de las jaulas de engorda, el otro sitio de control, ESTACIÓN 2 se ubicó en una posición intermedia entre la almadraba y la jaula, a 500 m de esta última. Con apoyo de la información batimétrica se buscó que los sitios de muestro quedaran ubicados en profundidades similares (figura 28).

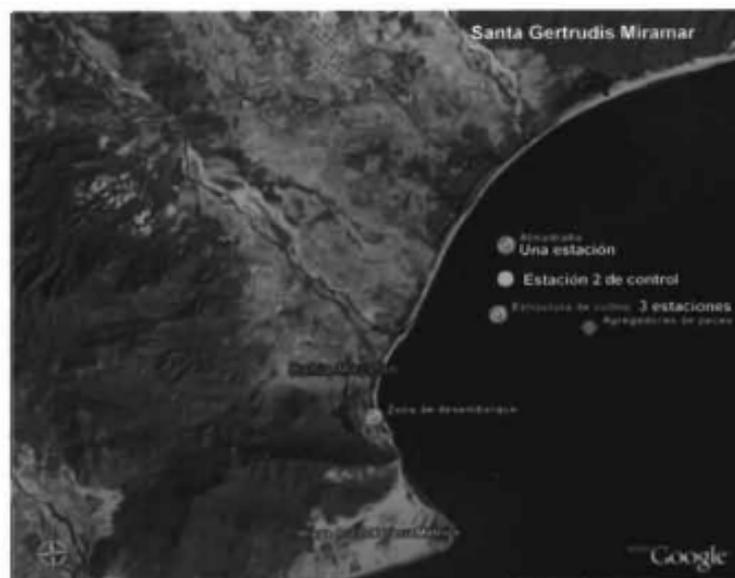


Figura 26.- Localización de la nueva red de estaciones diseñada para los estudios de campo.
Fuente de la fotografía aérea: © 2006 Google T M, © 2006 Europa Technologies, © 2006 Terra Metrics

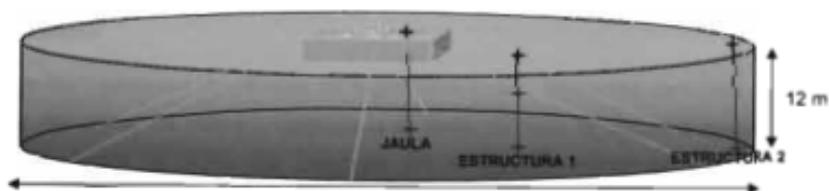


Figura 27.- Área de influencia directa del sistema de cultivo y ubicación aproximada de estaciones JAULA, ESTRUCTURA 1 y ESTRUCTURA 2

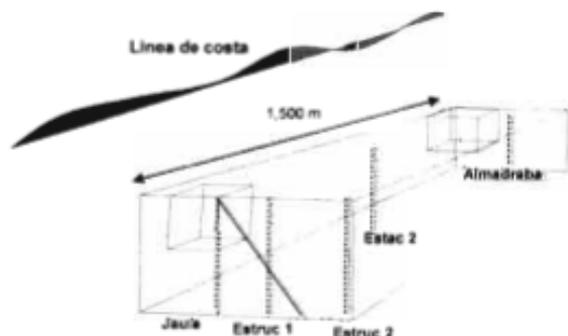


Figura 28.- Vista esquemática tridimensional de la localización de los sitios de muestreo en el área de estudio.

Una vez establecida esta red de estaciones en las que un monitoreo provisional permitió verificar la factibilidad de la realización de las actividades de campo, se llevó a cabo un proceso de monitoreo de las características de la calidad del agua, mediante la realización de un muestreo mensual durante un ciclo manual, a partir de octubre de 2005.

III.4 – Procedimiento de monitoreo de las variables fisico-químicas del agua y el sedimento

Durante los muestreos mensuales se registraron *in situ*, diferentes variables de la calidad del agua, de manera continua a lo largo de toda la columna (desde la superficie hasta la zona de interfase en el fondo), utilizando un equipo multiparámetro marca Troll modelo 9,500; las lecturas se tomaron y registraron la memoria interna del instrumento cada cinco segundos.

Las variables registradas fueron:

- Temperatura °C.
- Salinidad PSU (por las siglas en inglés de Practical Salinity Units)
- Potencial de hidrógeno pH.
- Oxígeno disuelto. Mg/l
- Turbidez. NTU (por las siglas en inglés de Nephelometric Turbidity Units)
- Potencial de Óxido Reducción mV, ORP (por sus siglas en inglés)

Estos muestreos se realizaron dentro de los periodos entre cuarto creciente y luna llena de cada mes, previendo que los trabajos en el campo se ejecutaran entre las 11:00 (al iniciar en la zona de jaulas) y las 13:00 hrs (al terminar en la estación de la almadraba). El horario señalado se estableció a partir de las siguientes consideraciones:

- Dado que una de las estaciones de control se encuentra ubicada en las inmediaciones de una almadraba, se busca evaluar las condiciones hidrológicas, cuando la almadraba está en su mínima densidad, unas tres horas después de que los peces fueron sometidos al estrés de la colecta o “despesque” que los obliga a excretar aceleradamente (observación directa) y dos horas después de que se adicionó el alimento a las jaulas de peces (aproximadamente a las 9:00). La experiencia ha permitido confirmar que el proceso de ingestión de los peces en cultivo, dura aproximadamente 90 minutos y que la expulsión de excretas se da casi de manera simultánea a la ingestión, manteniéndose varias horas después de terminada ésta.

Con el propósito de ampliar el marco de análisis, a partir de febrero de 2006 se colectaron núcleos de sedimentos en las estaciones de muestreo antes señaladas, a fin de detectar un eventual enriquecimiento orgánico por efecto de la aplicación del alimento balanceado.

La toma de muestras de sedimentos se realizó mediante buceo autónomo, utilizando implementos fabricados con materiales locales, específicamente tubos de PVC hidráulico de 2" de diámetro. Los núcleos colectados fueron conservados en hielo hasta su arribo al laboratorio en donde se procedió a congelarlos. Durante el procesamiento del primer conjunto de muestras en laboratorio, se intentó tomar mediciones de indicadores como pH y Potencial de Óxido Reducción (ORP); la escasa cantidad de agua intersticial en virtud del material del sedimento, así como los instrumentos disponibles, no permitieron tomar las lecturas de los indicadores señalados (figura 29).



Figura 29.-. Parte de uno de los núcleos colectados durante el mes de noviembre.

Tomando en cuenta el color de los sedimentos y de la presencia de organismos en ellos a más de 10 cm de profundidad en los núcleos colectados, se estimó en principio que no existía un proceso significativo de deposición y/o degradación de materia orgánica que produjera condiciones anóxicas (figura 30).

A partir de consultas con el Centro de Ciencia Marinas de Ensenada B. C., se definió que el método más adecuado a las condiciones de equipo disponible en el Centro de Investigación Pesquera de Salina Cruz Oax. Para la determinación de Carbono Orgánico y Carbonatos en los sedimentos, debería ser el tradicional de incineración, aún bajo el riesgo de incluir algunas cantidades de carbono inorgánico en los resultados finales (Walter, 1974); lo anterior tomando en cuenta que el método por titulación tiene intervalos de error que varían según la proporción de carbono orgánico (CO) presente en las muestras, intervalo que es particularmente importante cuando la concentración de CO es baja (Walter, 1974, Tapia, 2004)



Figura 30.- Detección de presencia de organismos mediante el "lavado" de los sedimentos de los núcleos

Una vez congelados los núcleos se cortaron en secciones partiendo de la superficie, de 0-2 cm, 2-4 cm, 4-6 cm, 6-9 cm, 9-12 cm, 12-15 cm y 15-18 cm de profundidad (figura 31); cada sección se sometió a secado en condiciones naturales, posteriormente se pasó por un cernidor de 297 micras. El resultado del

cernido se procesó aplicando el método de determinación de carbono orgánico y carbonatos por pérdida en ignición de Walter, (1974) según se mencionó antes



Figura 31.-Proceso de separación de secciones en los núcleos colectados, partiendo de la interfase agua sedimento hacia el fondo.

Del material colectado en los núcleos se tomaron submuestras con el propósito de hacer un el análisis granulométrico, utilizando un contador de partículas marca Oriba y un dispersante a base de ácido fosfórico.

Buscando contar con información más detallada acerca del aporte de materia orgánica proveniente de las jaulas de cultivo, se instalaron colectores de residuos orgánicos y sedimentos, que consistieron en recipientes cilíndricos con entrada en forma de embudo con diámetro para captación igual a 20 cm (figura 32); estos serían substituidos quincenalmente por colectores limpios y el material colectado sería trasladado a los laboratorios del CRIP Salina Cruz, en donde sería nalizado.



Figura 32.- Colectores cilíndricos para residuos orgánicos y sedimentos y esquema general de su localización en la jaula

Este método de captación de información fue desechado, en virtud de que la velocidad y dirección de las corrientes en el sitio de estudio impidieron que los colectores conservaran la posición prevista de trabajo y por lo tanto no se tendría la certeza de que los materiales captados provendrían realmente del fondo de la jaula.

Para verificar el comportamiento de las corrientes inferido a partir de la observación directa mediante el buceo autónomo, durante el período de la investigación se realizaron mediciones de dirección y velocidad de la corriente en el fondo, durante noviembre y diciembre de 2005 y septiembre y octubre de 2006, específicamente en la estación de muestreo ESTRUCTURA 1. Para este tipo de registro se utilizó un correntómetro producido por la empresa Falmouth Scientific Inc. Modelo 3D-ACM. El instrumento se programó e instaló para registrar de manera continua las variaciones de la velocidad y dirección de la corriente a 1 m del fondo, el periodo de registro en cada monitoreo ocurrió entre las fases de cuarto creciente y luna llena, los datos promedio de los registros realizados durante intervalos de 20 minutos, así como las lecturas instantáneas al final de cada intervalo, se almacenaron en la memoria interna del instrumento. La

información se procesó utilizando el paquete Matlab, aplicando para estos propósitos un programa específico diseñado por Charles R. Denham (2002). Durante los muestreos de septiembre y octubre de 2006, la información se registró solo para conocer la velocidad instantánea de la corriente.

La información colectada durante los muestreos se concentró en bases de datos con ayuda del paquete Excel, y posteriormente fue analizada con el apoyo de programas como el Surfer 8 y el JMP5.

Las bases de datos se organizaron identificando los sitios por su nombre y los meses con números progresivos, de modo que octubre de 2005 cuando se inició la investigación corresponde al mes 1 y octubre de 2006 correspondió al mes 13. Es importante retomar lo ya comentado en el sentido de que debido a problemas de carácter meteorológico no se realizaron los muestreos correspondientes a enero y junio de 2006, que de acuerdo con el criterio de organización de la información corresponderían a los meses 4 y 9 del periodo analizado.

III.5. Diseño del experimento.

Se tomó en cuenta que la primera siembra de las jaulas incluidas dentro de esta investigación fue concluida por los pescadores participantes el día 19 de octubre de 2005, con 2,500 organismos confinados. Se consideró además el hecho de que después de la primera cosecha del 20 de enero de 2006, los pescadores cambiaron su estrategia de trabajo en virtud de los bajos precios en el mercado de las especies de interés y la existencia de organismos juveniles que regularmente se estuvieron capturando en la almadraba. De esta manera, realizaron otras dos siembras de 3,500 organismos cada una con pesos por individuo de entre 150 g y 200 g (175 g en promedio) a los cuales mantuvieron en cautiverio por periodos de tres meses aproximadamente, previo a su cosecha con peso promedio final de 550 g, para posteriormente venderlos a mayores tallas y así obtener mejores ingresos por efecto del precio. Con la aplicación de esta estrategia de trabajo, en que los pescadores mantuvieron una ración diaria de alimentación de 18 kg, se

obtuvo una aplicación acumulada de alimento al final de la investigación de 5,108 kg, según se presenta en la tabla 11

Tabla 11. Cantidad de alimento balanceado en kg, aplicado en la zona de cultivo durante el periodo 26 de octubre de 2005 al 22 de septiembre de 2006

Periodo	Ración diaria	Cantidad de alimento acumulado
26 de octubre al 20 de noviembre	10 kg por día	260 kg
21 de noviembre al 20 de diciembre	14 kg por día	260+420=680
21 de diciembre al 20 de enero	18 kg por día	680+558=1,238
28 de enero al 27 de marzo	18 kg por día	1,238+1,080=2,318
8 de abril al 7 de junio	18 kg por día	2,318+1,098=3,416
21 de junio al 22 de septiembre	18 kg por día	3,416+1,692=5,108

Por otra parte, se asumió el planteamiento teórico de que este tipo de investigación corresponde a un estudio de carácter:

- Longitudinal:** Se evaluó la evolución de las variables del estudio en el transcurso de un periodo anual.
- Prospectivo:** La información se generó con propósitos específicos durante la investigación.
- Comparativo:** Se realizó la comparación entre la zona de aplicación del alimento y zonas ubicadas a diferentes distancias de esta.
- Observacional:** La participación del investigador en el estudio no implica el que esté en capacidad de controlar las variables de interés

Bajo estos conceptos y definiciones se analizó la posibilidad de la existencia de una relación estadísticamente significativa entre el comportamiento de las diferentes variables hidrológicas y de los sedimentos en el área de incorporación de alimento balanceado al sistema y el comportamiento de las mismas en el resto de las zonas de muestreo seleccionadas, haciendo un análisis de varianza de una sola vía (ANOVA por sus siglas en inglés) para cada variable, en el que se compararon sitios y meses de muestreo para conocer el comportamiento espacio temporal.

Adicionalmente, a fin de verificar los resultados obtenidos en el análisis para cada variable en particular se realizaron análisis de varianza multifactoriales y un análisis multivariado de varianza (MANOVA por sus siglas en inglés) para estudiar los cambios en los parámetros ambientales (variables dependientes) en función

del sitio el mes y la profundidad (variables independientes), partiendo de la hipótesis estadística de nulidad que establece que no existen diferencias en las variables fisicoquímicas con respecto a los sitios, los meses, y la profundidad esto es:

$$\begin{bmatrix} T \\ S \\ OD \\ pH \\ REDOX \\ Turbidez \\ CO \\ CARBONATOS \end{bmatrix} = f(\text{sitio, mes, profundidad})$$

De esta manera se evaluó si los cambios de las variables dependientes se podían considerar efectos resultantes del sitio o si se debían al azar (variabilidad natural) y por lo tanto estaban vinculados con el mes. Con el MANOVA al igual que el ANOVA se compararon las varianzas para determinar cuál fue el de mayor peso. Como método de extracción para estimar los parámetros se utilizó la matriz de identidad.

III.6. Equipos y materiales

A continuación se describen brevemente los equipos utilizados durante la realización de la presente investigación.

- 2 Embarcaciones menores tipo IMMEMSA W25 con motor fuera de borda
- Equipo de buceo autónomo
- Nucleadores para colecta de sedimento (tubo de PVC hidráulico de $\varnothing=2"$)
- Equipos de buceo autónomo
- Video sonda JRC Plot 500 F
- Equipos GPS Garmin 12
- Equipos de cómputo con la paquetería necesaria
- Equipo multiparámetros Troll 9500, con capacidad para 25 m de profundidad
- Correntómetro producido por la empresa Falmouth Scientific Inc. Modelo 3D-ACM
- Equipo de laboratorio de Química (CRIP Salina Cruz)
- Vehículos

Los materiales utilizados fueron principalmente los que a continuación se relacionan:

- Combustibles y lubricantes
- Papelería
- Consumibles de computación
- Reactivos

IV.- Resultados

IV.1 Características generales de las corrientes en el área de estudio

Las características hidrológicas y de sedimentos que se describen en los siguientes apartados, dan idea de un cuerpo de agua que en términos espaciales (entre sitios) es prácticamente homogéneo, aún cuando se presentaron pequeñas variaciones naturales y de tipo temporal. Como elemento de apoyo para la comprensión de tales condiciones, se presentan, los resultados de los monitoreos de las características generales de las corrientes en el fondo

A partir de los resultados del monitoreo realizado durante el mes de noviembre de 2005, en la figura 33 se muestran las velocidades y direcciones promedio registradas.

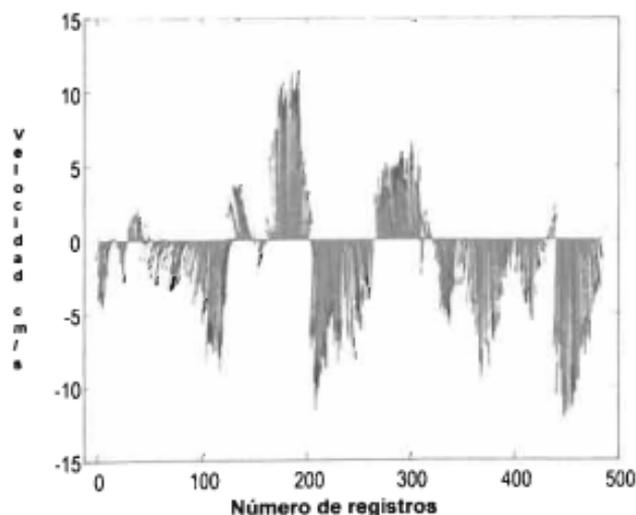


Figura 33.- Dirección y velocidad promedio de la corriente (cm/s) en el fondo, en la estación de muestreo conocida como ESTRUCTURA 1 durante el muestreo de noviembre de 2005

De acuerdo con la figura de referencia, durante éste período dominaron las corrientes con dirección sur (valores negativos) con alguna dominancia hacia el oeste al inicio del período (inclinación hacia la izquierda). Las velocidades máximas alcanzaron los 0.5 km/h, las cuales son elevadas si se toma en cuenta que las mediciones se realizaron a 11 m de profundidad. Estas velocidades se alcanzaron a mediados del período de monitoreo en dirección norte y sur y al final del período solo en dirección sur.

En la figura 34 se presentan los registros instantáneos de cada 20 minutos para el mismo período de 2005 con lo cual se facilita el entendimiento de la dinámica de las masas de agua a esas profundidades

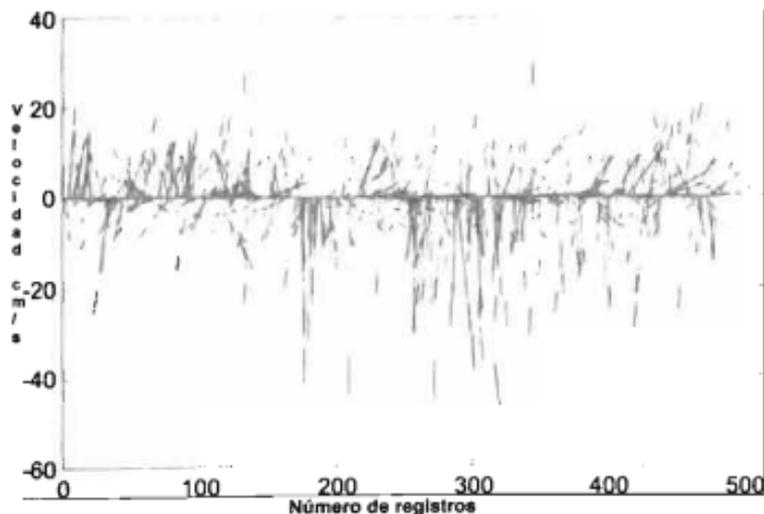


Figura 34- Dirección y velocidad instantáneas de la corriente (cm/s) en el fondo, en la estación de muestreo conocida como estructura 1, lecturas durante el muestreo de noviembre de 2005

Como se observa en la figura 34, las velocidades instantáneas llegan a rebasar en algunos casos los 1.5 km/h, principalmente en dirección sur. Resalta el hecho

de que las velocidades y direcciones cambiaron de manera importante entre un registro y otro (en un espacio de 20 minutos); así, en un momento pueden ser al noreste (positivo hacia la derecha) para después pasar a suroeste (negativo hacia la izquierda). Las mayores velocidades, que se presentan con dirección sur a mediados del período de cuarto creciente – luna llena, pueden designarse como muy elevadas en virtud, de las profundidades a las que fueron registradas. A estos movimientos, principalmente horizontales, habrá que agregar la corriente vertical producida por efecto de las mareas.

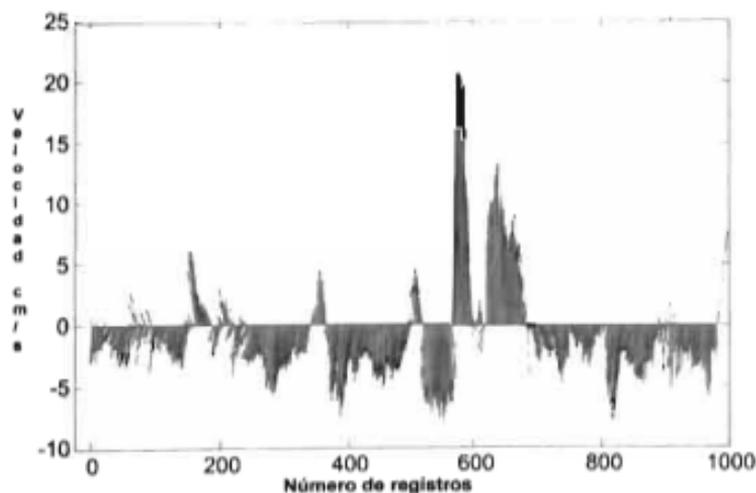


Figura 35.- Dirección y velocidad promedio de la corriente (cm/s) en el fondo, en la estación conocida como estructura 1 durante el muestreo de diciembre de 2005

Durante el mes de diciembre de 2005 las condiciones promedio que se presentan en la figura 35 son diferentes, ya que dominaron más claramente las corrientes con dirección sur, aunque el cambio a la dirección norte casi a medio período de monitoreo (cuarto creciente – luna llena), alcanzó las mayores velocidades de casi 0.8 km/h.

Las lecturas instantáneas, como en noviembre, presentaron una alta variabilidad tanto de direcciones como de velocidades, solo que en este caso las velocidades máximas rebasaron los 1.80 km/h (figura 36).

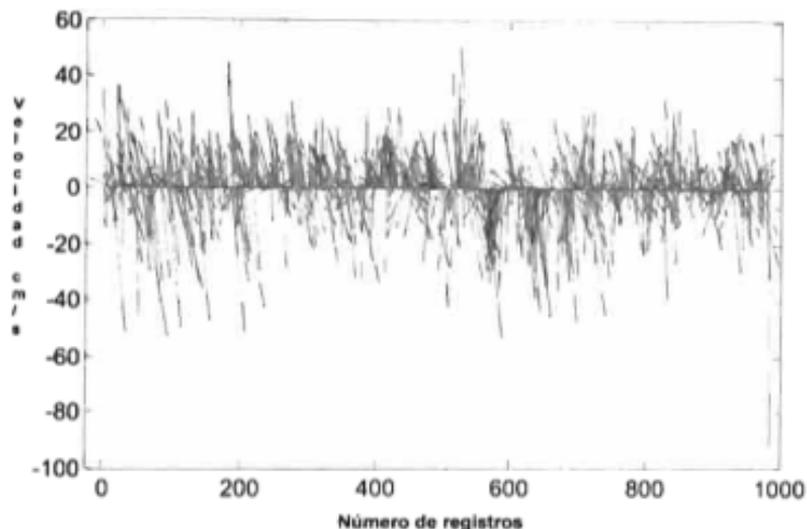


Figura 36.- Dirección y velocidad instantáneas de la corriente (cm/s) en el fondo en la estación conocida como estructura 1, lecturas durante el muestreo de diciembre de 2005

Con el propósito de verificar el comportamiento antes descrito, durante los meses de septiembre y octubre de 2006, la información se procesó solo para conocer las velocidades y direcciones promedio de la corriente; encontrándose valores menores aunque igualmente importantes. Para el mes de septiembre se registraron máximos que rebasaron los 0.26 km/h, predominando las corrientes con dirección sur, mientras que para el mes de octubre, cuando predominaron corrientes con dirección norte, las velocidades máximas promedio alcanzaron los 0.8 km/h; en este caso las velocidades más importantes se presentaron hacia finales del periodo cuarto creciente – luna llena (figuras 37 y 38).

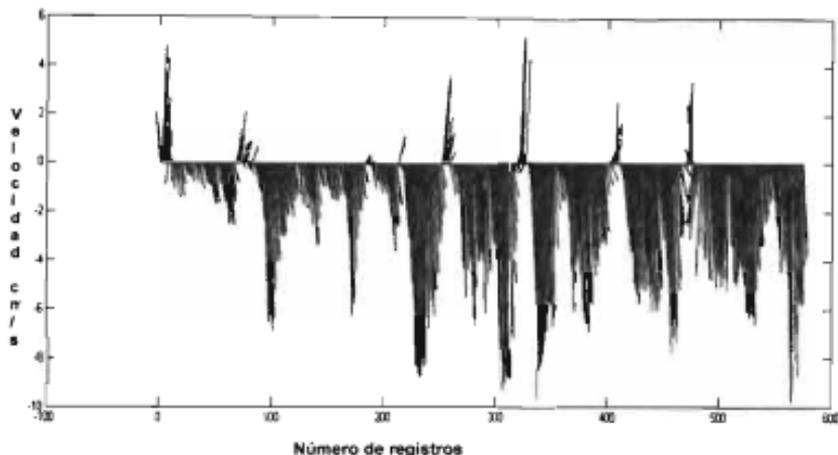


Figura 37.- Velocidad y dirección promedio de la corriente (cm/s) en el fondo en la estación conocida como estructura 1, lecturas durante el muestreo de septiembre de 2006

Seguramente este tipo de movimientos de las masas de agua en el fondo de la zona de estudio han contribuido de manera importante en el proceso de mezcla que genera las condiciones de homogenización que se comentan en la descripción de las variables observadas. Se estima pertinente aclarar que durante los periodos de monitoreo de las corrientes, se tomaron 72 registros cada 24 horas, lo que implica un monitoreo de aproximadamente 7 días en noviembre de 2005, 13 días en diciembre de 2005, 8 días en septiembre de 2006 y 12 días en octubre de 2006.

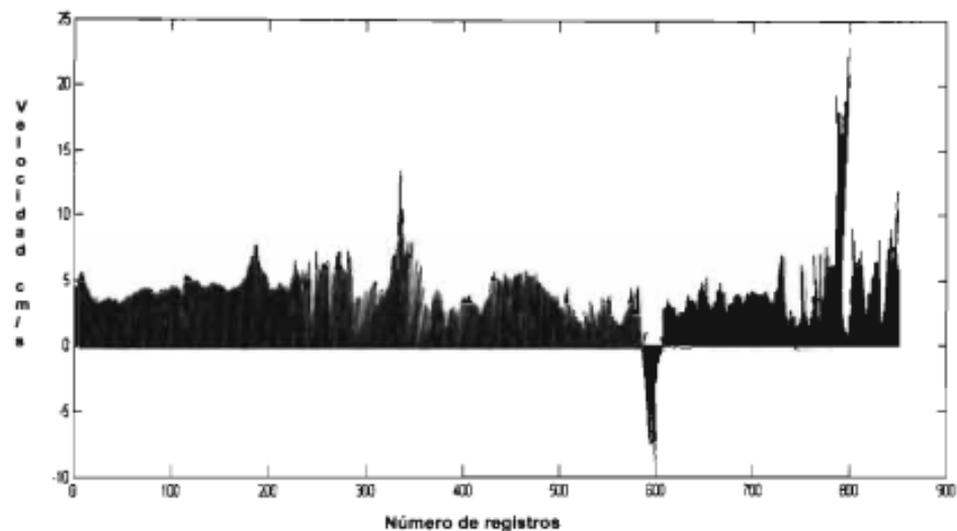


Figura 38 - Velocidad de la corriente (cm/s x10) en el fondo en la estación conocida como estructura 1, lecturas instantáneas durante el muestreo de octubre de 2005

IV.2- Análisis descriptivo espacio – temporal de las variables Físico – químicas del agua en el sitio de estudio

IV.2. 1.- Temperatura

El comportamiento vertical de la temperatura observado durante el período de investigación, permitió conocer que los diferentes sitios de muestreo solo presentan variaciones significativas de temperatura durante el mes 5 (febrero de 2006), cuando se registraron los valores más bajos. En éste caso la temperatura superficial fue de 22 °C, mientras que la del fondo fue de 18 °C, lo que hace una diferencia de 4 °C en aproximadamente 13 metros de profundidad.

Un comportamiento similar se observó durante los meses 1 y 13 (octubre de 2005 y 2006) solo que en este caso las variaciones fueron menores; de 21 °C en la superficie a 20 °C en el fondo, el mes 6 (marzo) en el sitio de muestreo ESTAC 2, registró una diferencia de 3 °C entre la superficie (25 °C) y el fondo (22 °C). Resultó evidente un fenómeno conocido por los pescadores de la región, que consiste en el incremento de la temperatura de octubre a diciembre, período en el que ésta pasó de 20 °C a 24 °C para luego descender a un promedio de 19 °C en el mes de febrero. Según se ha explicado antes, no se dispuso de información para los meses de enero y junio de 2006.

Las más altas temperaturas en todos los sitios de muestreo se registraron durante los meses 8 – 11 (mayo – agosto de 2006), cuando se registraron temperaturas de casi 30 °C. En términos generales, se puede decir que el comportamiento de la temperatura en función de la profundidad fue similar en todos los sitios de muestreo y que las variaciones verticales son pequeñas, con excepción de las observadas durante el mes de febrero (figura 39)

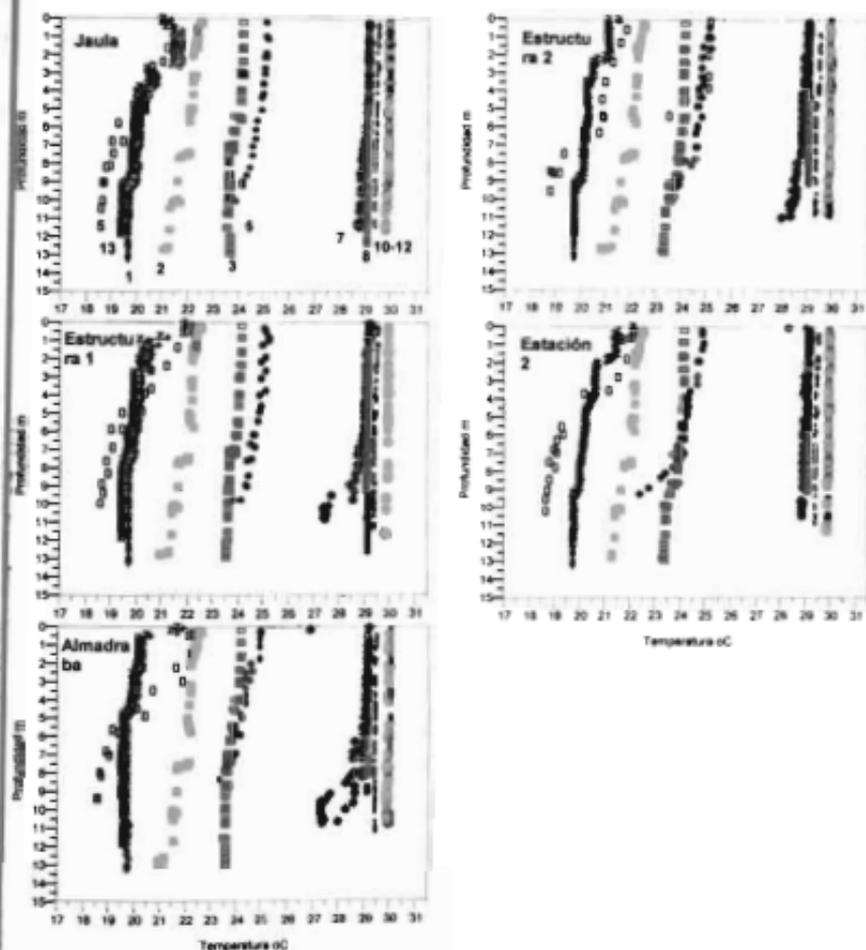


Figura 39 - Distribución vertical de la Temperatura °C, por sitio de muestreo, profundidad y mes; + = mes 1 (octubre), ■ = mes 2 (noviembre), □ = mes 3 (diciembre), ◻ = mes 5 (febrero), ⊗ = mes 6 (marzo), + = mes 7 (abril), ◊ = mes 8 (mayo), ■ = mes 10 (julio), ⊙ = mes 11 (agosto), ⊚ = mes 12 (septiembre), Z = mes 13 (octubre)

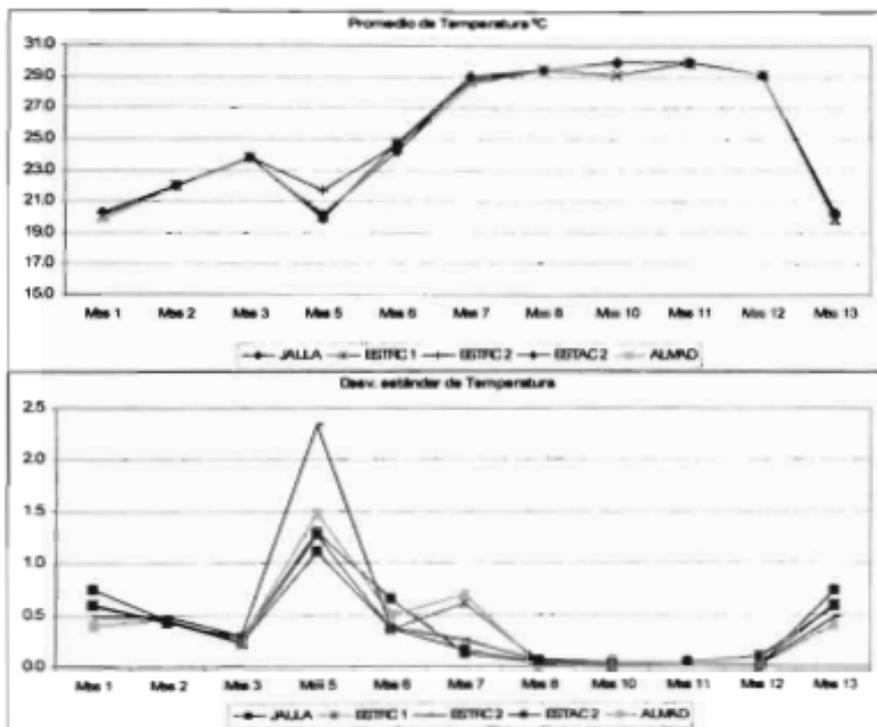


Figura 40.- Promedios mensuales de temperatura por sitio y correspondientes desviaciones estándar.

De la figura 40 se desprende; entre otras cosas, que las diferencias entre los promedios son muy pequeñas, con excepción de los meses 5 (febrero de 2006) y 10 (julio de 2006), que resultan ser el mes más frío y el más caliente, en los que se presentan valores claramente mayores para el caso de los sitios ESTRUCTURA 2 y ALMADRABA. Por su parte la desviación estándar evidencia una importante dispersión de los valores registrados también en el mes 5, además del mes 7 (abril de 2006) percibiéndose que aunque de poca magnitud se dan algunas diferencias entre sitios.

Al aplicar un análisis de varianza considerando un solo factor a los datos obtenidos durante el período completo de la investigación, se encontró que las diferencias de temperatura entre las diferentes estaciones de muestreo no fueron significativas, lo que se puede apreciar con mayor precisión en la figura 41 y las tablas 12 y 13.

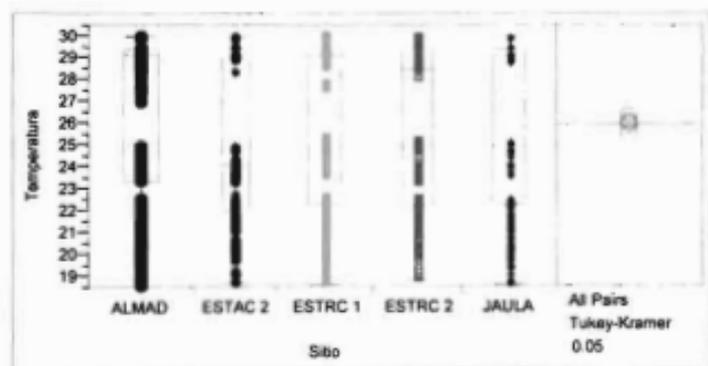


Figura 41.- Análisis de Varianza de la temperatura ($T^{\circ}\text{C}$) por sitio durante el período de estudio

Las temperaturas máximas y mínimas encontradas en los diferentes sitios de muestreo permiten conocer que las diferencias de décimas de grado centígrado son muy pequeñas (tabla 12). En la tabla 13 se aprecia diferencia significativa solo entre el sitio ESTACIÓN 2 y los sitios ALMADRABA y JAULA respecto de los cuales se encuentra a 500 y a 1000 m respectivamente.

Tabla 12.- Distribución en Cuantiles de la información de temperatura ($T^{\circ}\text{C}$) por sitios en el período de estudio

SITIO	MÍNIMOS	10%	25%	MEDIANA	75%	90%	MÁXIMOS
ALMAD	18.55	19.77	23.33	29.15	29.42	29.91	29.99
ESTAC 2	18.64	20.06	22.01	24.07	29.44	29.93	29.99
ESTRC 1	18.59	19.87	22.30	29.07	29.41	29.53	29.98
ESTRC 2	18.81	20.18	22.19	28.47	29.44	29.93	29.99
JAULA	18.58	20.02	22.26	29.11	29.43	29.96	29.98

Tabla 13.- Comparación de pares utilizando Tukey - Kramer HSD $q = 2.72900$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)

Sito	ALMAD	JAULA	ESTRC 1	ESTRC 2	ESTAC 2
ALMAD	-0.48420	-0.16526	-0.12437	-0.00548	0.36657
JAULA	-0.16526	-0.51374	-0.47290	-0.35377	0.01862
ESTRC 1	-0.12437	-0.47290	-0.51019	-0.39109	-0.01874
ESTRC 2	-0.00548	-0.35377	-0.39109	-0.52710	-0.15457
ESTAC 2	0.36657	0.01862	-0.01874	-0.15457	-0.55091

En el caso de la variación mensual, sí se registraron diferencias significativas, como lo muestran la figura 42 y tabla 14 siguientes. Estas diferencias reflejan desde luego el efecto de las variaciones naturales relacionadas con las diferentes estaciones del año (estacionales).

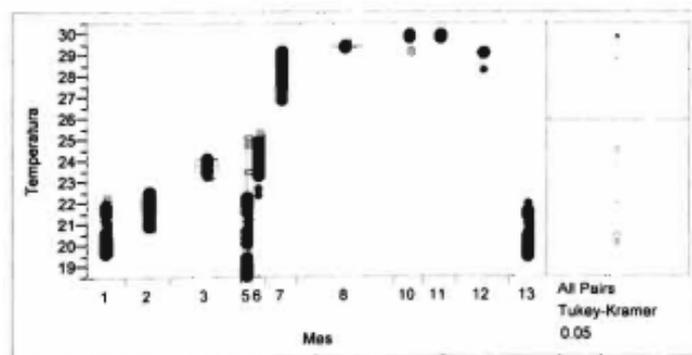


Figura 42.- Análisis de Varianza de la temperatura ($T^{\circ}\text{C}$) mensual del período de estudio.

De acuerdo con la figura 42 se registró una evidente variación estacional de la temperatura en la que destaca el calentamiento del agua entre los meses de octubre y diciembre, un enfriamiento importante en febrero, y a partir de éste el

inició de un incremento de la temperatura, hasta alcanzar los máximos durante mayo y agosto; es de señalarse que las diferencias entre las temperaturas máximas y las mínimas registradas en los meses cálidos (mayo – septiembre; meses 8 al 12) fueron menores a un grado centígrado (tabla 14).

Tabla 14.- Distribución en Quantiles de la información de temperatura (T°C) por meses en el período de estudio

Mes	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Máximo
1	19.91	19.67	19.69	20.04	20.30	21.06	22.17
2	20.78	21.25	21.61	22.14	22.31	22.49	22.56
3	23.21	23.47	23.54	23.78	24.04	24.08	24.12
5	18.55	18.68	18.99	20.25	21.57	22.29	25.10
6	22.40	23.86	24.21	24.64	24.92	25.11	25.27
7	26.90	28.29	28.63	28.97	29.10	29.19	29.26
8	29.37	29.40	29.41	29.43	29.45	29.52	29.58
10	29.13	29.14	29.89	29.94	29.97	29.98	29.99
11	29.85	29.88	29.90	29.96	29.97	29.98	29.99
12	28.34	29.12	29.13	29.14	29.15	29.17	29.18
13	19.33	19.41	19.58	19.67	20.20	21.04	22.02

IV.2.2.- Salinidad

En cuanto a la salinidad, a excepción del mes 5 (febrero de 2005), en el que se observó una dispersión de 1 a 2 PSU entre la superficie y los 10 m de profundidad, los datos registrados en el resto de los sitios y meses de muestreo, no presentaron variaciones importantes con respecto a la profundidad.

Se registró una variación estacional de entre 36 PSU en el mes 13 (octubre de 2006) y 39 PSU en abril – mayo, antes del inicio de la temporada de lluvias (figura 43). Destaca en éste caso el que las variaciones observadas obedecen a cambios temporales naturales, similares a los descritos en el caso de la temperatura, que no reflejan variaciones asociadas con los sitios.

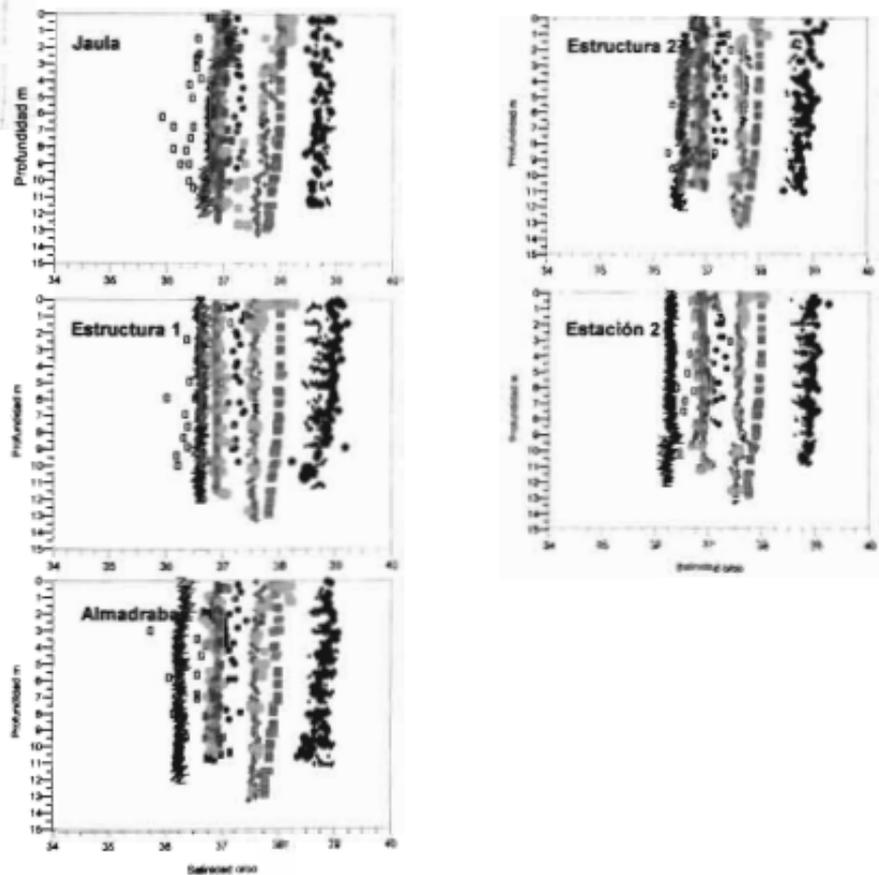


Figura 43. - Distribución vertical de la salinidad en o/oo (PSU), por sitio de muestreo, profundidad y mes; + = mes 1 (octubre), ■ = mes 2 (noviembre), □ = mes 3 (diciembre), ▣ = mes 5 (febrero), ● = mes 6 (marzo), + = mes 6 (abril), ◇ = mes 8 (mayo), ■ = mes 10 (julio), ○ = mes 11 (agosto), ○ = mes 12 (septiembre), Z = mes 13 (octubre)

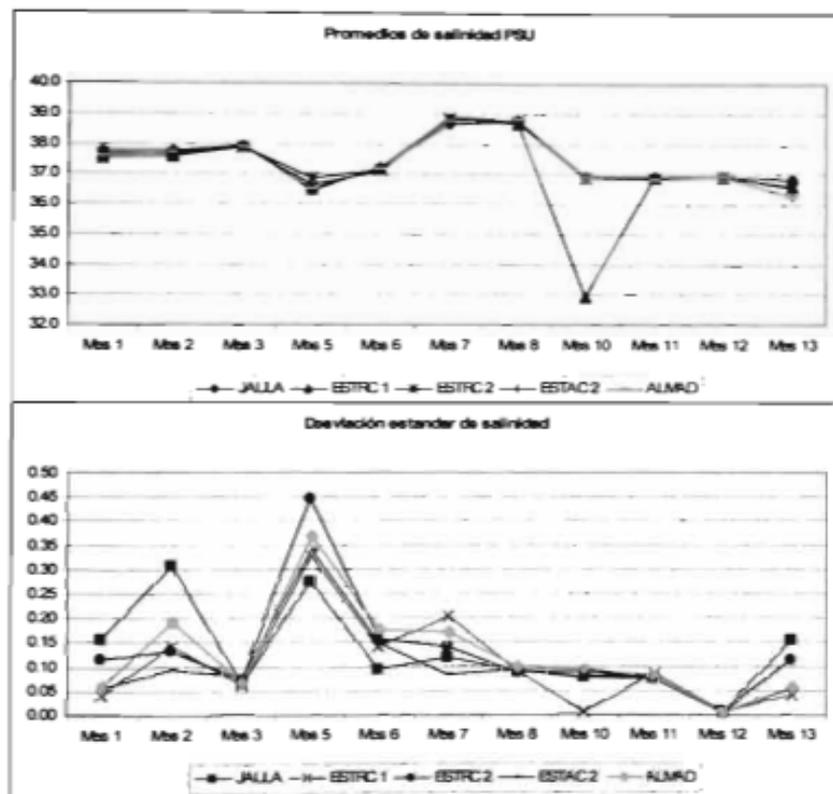


Figura 44.- Promedios mensuales de salinidad por sitio y correspondientes desviaciones estándar.

De acuerdo con la figura 44, los promedios por sitio para cada mes estuvieron muy cercanos, con excepción del sitio ESTRUCTURA 1 en el mes 10 (julio de 2006) que registró un promedio menor al resto de los sitios. Por otra parte las desviaciones estándar estuvieron muy cercanas durante el período de la investigación con excepción de los meses 1, 2 y 5 (octubre, noviembre de 2005 y febrero de 2006)

La salinidad, medida en PSU (Practical Salinity Units), igual que en la mayoría de las variables analizadas, presentó algunas diferencias estadísticamente significativas entre sitios, aún cuando en valores absolutos estas diferencias fueron muy pequeñas (figura 45 y tablas 15 y 16).

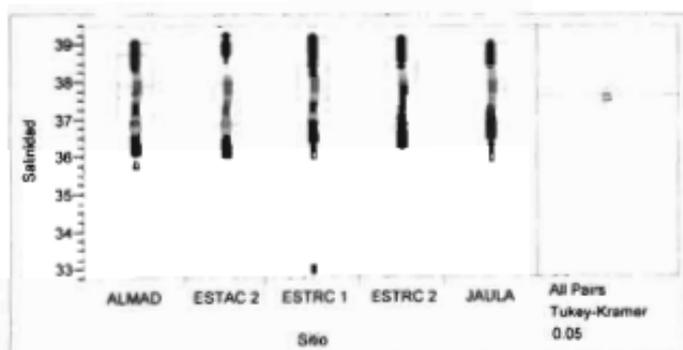


Figura 45 - Análisis de Varianza de la salinidad (PSU) por sitio durante el período del estudio

Tabla 15.- Distribución en Cuantiles de la información de salinidad (PSU) por sitio

Sitio	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Máximo
ALMAD	35.73	36.77	36.90	37.92	38.78	38.88	39.06
ESTAC 2	36.11	36.45	36.91	37.58	37.96	38.84	39.25
ESTRC 1	32.92	35.62	36.91	37.55	38.50	38.75	39.20
ESTRC 2	36.27	36.75	36.92	37.68	38.61	38.76	39.18
JAULA	35.91	36.86	36.92	37.36	37.97	38.75	39.04

Tabla 16.- Comparación de pares utilizando Tukey - Kramer HSD $q = 2.72900$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)

Sitio	ALMAD	ESTRC 2	ESTAC 2	JAULA	ESTRC 1
ALMAD	-0.11384	0.07638	0.17623	0.22481	0.31800
ESTRC 2	0.07638	-0.12393	-0.02396	0.02443	0.11761
ESTAC 2	0.17623	-0.02396	-0.12952	-0.08123	0.01194
JAULA	0.22481	0.02443	-0.08123	-0.12079	-0.02760
ESTRC 1	0.31800	0.11761	0.01194	-0.02760	-0.11995

De acuerdo con la tabla 15 y como en el caso los otros indicadores analizados, las diferencias fueron fraccionarias, con excepción del mínimo registrado en el sitio de

muestreo ESTRUCTURA 1 que fue menor en 3.19 PSU respecto del valor más alto de los mínimos. Por su parte, la mayor diferencia entre los valores máximos fue de solo 0.11 PSU. También en éste caso, prácticamente todos los sitios son diferentes entre sí (tabla 16) aún cuando las diferencias reales son pequeñas.

Para la variación mensual de la salinidad, nuevamente se observó con mayor claridad la existencia de diferencias significativas (figura 46 y tablas 17 y 18)

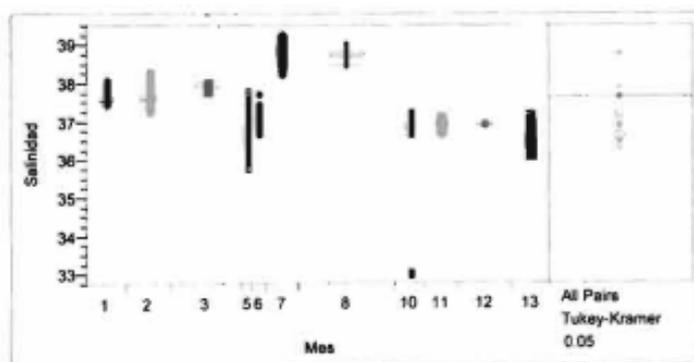


Figura 46 - Análisis de Varianza de la salinidad (PSU) por mes durante el período del estudio.

En la figura 46 se observa además que los aportes de ríos y lluvia pudieron tener efecto sobre los bajos valores registrados durante los meses de julio a octubre de 2006 (meses 10 al 13). De acuerdo con la tabla 17 la diferencia más importante entre los valores mínimos (mayo – julio de 2006) fue de 5.51 PSU, y de 2.31 PSU entre los valores máximos (abril – septiembre de 2006), mientras que la diferencia entre el valor máximo y el mínimo del período (abril – julio de 2006) fue de 6.33 PSU, lo que permite pensar en la importancia del efecto de los aportes sobre la salinidad en el área de estudio.

Tabla 17.- Distribución en Cuantiles de la información de salinidad (PSU) por mes

Mes	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Máximo
1	37.41	37.51	37.54	37.585	37.66	37.77	38.13
2	37.24	37.50	37.55	37.52	37.70	37.97	38.26
3	37.70	37.79	37.86	37.93	37.96	37.97	38.03
5	35.73	36.20	36.36	36.53	36.87	37.16	37.70
6	36.66	36.96	37.11	37.21	37.28	37.34	37.72
7	38.23	38.58	38.69	38.86	38.94	39.01	39.25
8	38.43	38.62	38.68	38.75	38.83	38.90	39.06
10	32.92	32.94	36.78	36.87	36.93	37.00	37.14
11	36.67	36.78	36.84	36.89	36.95	37.01	37.10
12	36.90	36.91	36.91	36.92	36.92	36.93	36.94
13	35.11	36.24	36.28	36.54	36.65	36.82	37.15

Tabla 18 - Comparación de todos los pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 3.22043$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)

mes	7	8	3	2	1	6	12	11	5	13	10
7	-0.1028	-0.0165	0.8268	1.0628	1.1066	1.5078	1.8123	1.8281	2.0546	2.2038	2.4051
8	-0.0165	-0.0586	0.7831	1.0170	1.0598	1.4547	1.7873	1.7802	2.0005	2.1566	2.3569
3	0.8268	0.7831	-0.0692	0.1652	0.2083	0.6047	0.9154	0.9290	1.1507	1.3052	1.5058
2	1.0628	1.0170	0.1652	-0.0852	-0.0418	0.3568	0.8646	0.8793	0.9033	1.0552	1.2562
1	1.1066	1.0598	0.2083	-0.0418	-0.0926	0.3071	0.6135	0.6286	0.8537	1.0044	1.2056
6	1.5078	1.4547	0.6047	0.3568	0.3071	-0.1584	0.1375	0.1558	0.3900	0.5309	0.7333
12	1.8123	1.7873	0.9154	0.6646	0.6135	0.1375	-0.0791	-0.0648	0.1583	0.3113	0.5121
11	1.8281	1.7802	0.9290	0.6793	0.6286	0.1558	-0.0648	-0.1011	0.1252	0.2746	0.4759
5	2.0546	2.0005	1.1507	0.9033	0.8537	0.3900	0.1583	0.1252	-0.1757	-0.0370	0.1656
13	2.2038	2.1566	1.3052	1.0552	1.0044	0.5309	0.3113	0.2746	-0.0370	-0.0959	0.1054
10	2.4051	2.3569	1.5058	1.2562	1.2056	0.7333	0.5121	0.4759	0.1656	0.1054	-0.1044

IV.2.3.- Turbidez

En el caso de la turbidez, **resaltó** el hecho de que todas las estaciones de muestreo durante todos los meses se comportaron igual. Las variaciones verticales de este indicador, fueron poco representativas, con excepción de una dispersión observada cerca del fondo en todos los sitios, durante los meses 10-12 (julio a septiembre de 2006); en **este** caso las variaciones más significativas se presentaron en las estaciones de muestreo ALMADRABA, durante los meses de julio a septiembre de 2006 y ESTRUCTURA 2 durante el mes de julio de 2006. Estas variaciones de la turbidez probablemente estén asociadas con aportes de la costa hacia el mar por efecto de las lluvias, en combinación con las corrientes y el movimiento de las mareas. (figura 47).

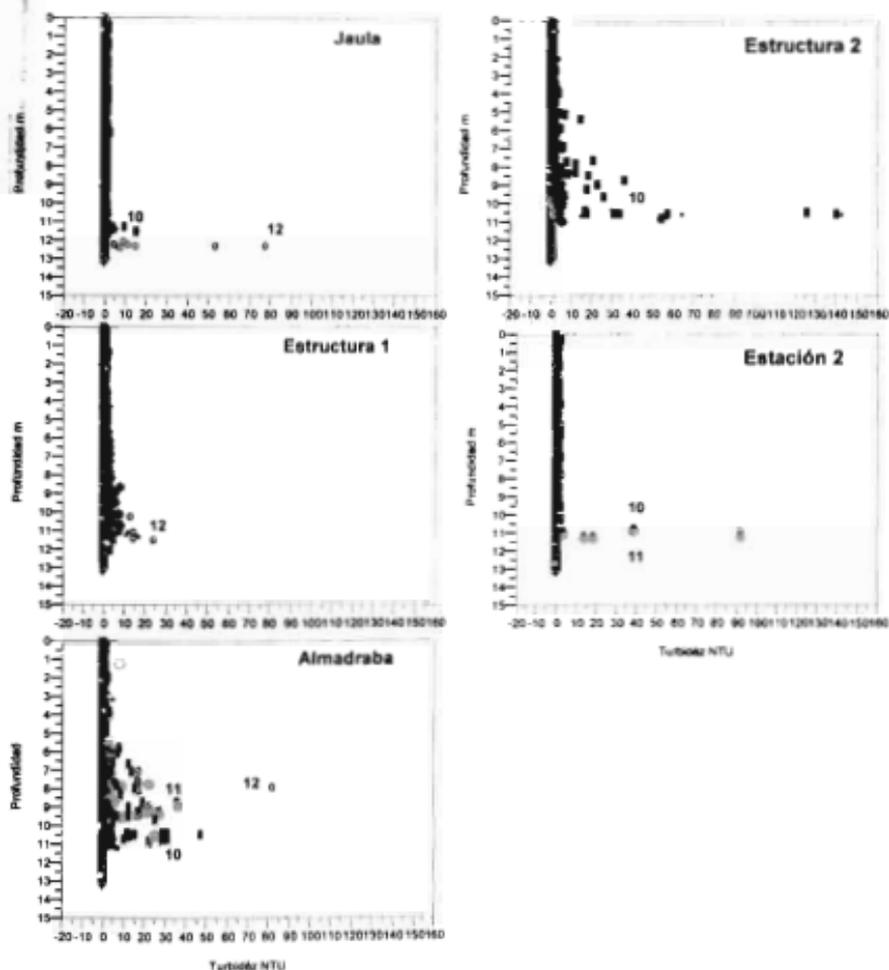


Figura 47.- Distribución vertical de la Turbidez NTU, por sitio de muestreo, profundidad y mes; + =mes 1 (octubre), ■ = mes 2 (noviembre), □ = mes 3 (diciembre), □ = mes 5 (febrero), ● = mes 6 (marzo), + = mes 7 (abril), ◇ = mes 8 (mayo), ■ =mes 10 (julio), ○ =mes 11 (agosto), ○ = mes 12 (septiembre), Z = mes 13 (octubre)

Casi todos los registros obtenidos en los diferentes meses y sitios de muestreo estuvieron cercanos a cero, lo que significa la existencia de una columna de agua con un buen y uniforme grado de visibilidad. Los valores más altos de la turbidez se registraron durante el mes 10 (julio, de 2006) en la estación ESTRUCTURA 2 en que llegaron hasta 140 NTU (Nephelometric Turbidity Units), aunque el resto de los valores se conservaron por debajo de 60 NTU. Tomando en cuenta que los valores altos de turbidez se dan solo en meses lluviosos en las capas del fondo, se puede inferir que en términos generales en el área de estudio se tiene una columna de agua uniforme en relación con éste indicador.

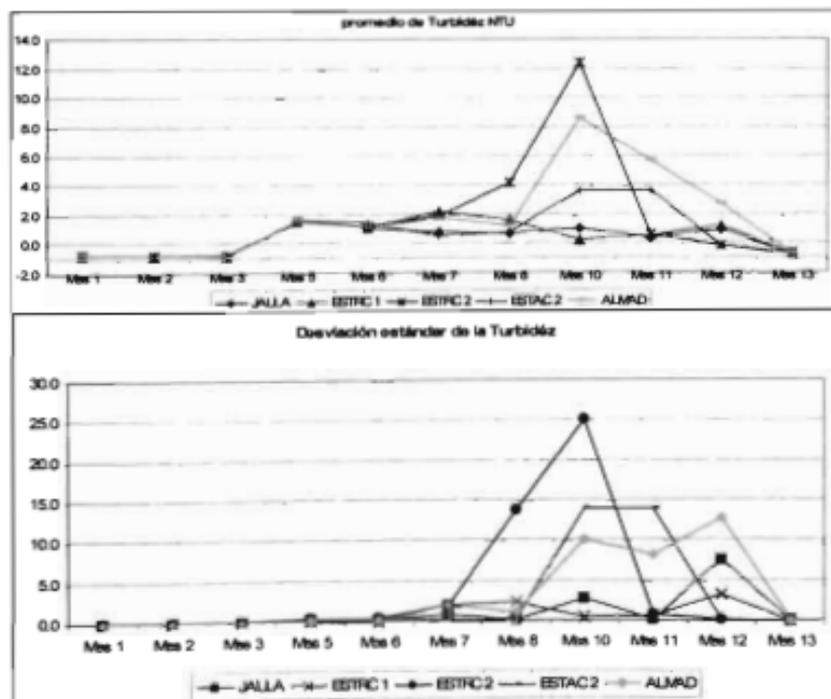


Figura 48.- Promedios mensuales de turbidez por sitio y correspondientes desviaciones estándar.

La figura 48, parece confirmar que las principales variaciones entre sitios coinciden con los meses del periodo de lluvias; la mayor permanencia del incremento de la turbidez en los sitios de muestreo ALMADRABA y ESTACIÓN 2, sugiere también el efecto de los aportes de un arroyo que desemboca precisamente frente a la almadraba, que ocasionalmente durante las lluvias recoge el agua de los terrenos cercanos y la conduce al mar. Probablemente el incremento observado en los promedios entre diciembre y marzo se debe a un efecto de surgencias generadas por los vientos del norte.

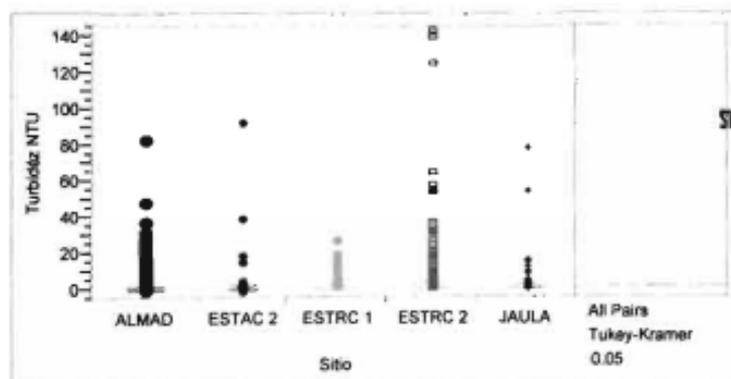


Figura 49 - Análisis de Varianza de la turbidez (NTU) por sitio durante el periodo de estudio

De acuerdo con la figura 49 y las tablas 19 y 20, la turbidez durante el periodo de muestreo solo presentó algunas diferencias entre sitios. No obstante, de acuerdo con los valores observados no se aprecia que estas sean importantes, tomando en cuenta que tales diferencias se presentaron principalmente en los valores más altos observados que coincidentemente fueron los más dispersos. Como se puede observar en la figura antes señalada, los valores con menor dispersión se dieron en las estaciones de muestreo JAULA y ESTRUCTURA 1 (la más cercana a la jaula). En la tabla 19 se observa que las variaciones más importantes se dan en los valores máximos, siendo pequeñas en los mínimos.

Tabla 19 - Distribución en Cuantiles de la información de turbidez (NTU) por sitios en el periodo de estudio

Sito	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Máximo
ALMAD	-0.90	-0.8	-0.78	0.7	1.2	3.00	82.5
ESTAC 2	-0.90	-0.8	-0.78	-0.1	0.6	1.12	91.9
ESTRC 1	-0.83	-0.8	-0.78	-0.1	0.9	1.88	24.5
ESTRC 2	-0.83	-0.8	-0.77	-0.1	1.2	2.60	142.7
JAULA	-0.83	-0.8	-0.75	-0.2	0.5	0.90	78.0

Tabla 20 - Comparación de pares utilizando Tukey - Kramer HSD $q = 2.72900$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)

síto	ESTRC 2	ALMAD	ESTRC 1	ESTAC 2	JAULA
ESTRC 2	-0.78368	-0.37974	0.50873	0.54623	0.78082
ALMAD	-0.37974	-0.71990	0.16774	0.20400	0.43972
ESTRC 1	0.50873	0.16774	-0.75853	-0.72151	-0.48648
ESTAC 2	0.54623	0.20400	-0.72151	-0.81907	-0.58510
JAULA	0.78082	0.43972	-0.48648	-0.58510	-0.76381

En virtud de las dispersiones señaladas como se aprecia en la tabla 20 existen diferencias entre las estaciones de muestro ESTRUCTURA2, ALMADRABA y el resto, aunque éstas no son diferentes entre sí.

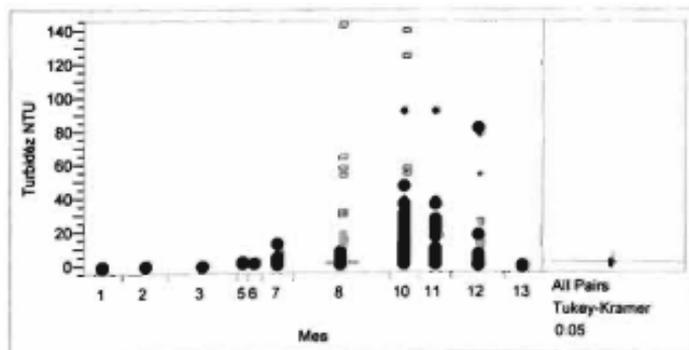


Figura 50.- Análisis de Varianza de la turbidez (NTU) por mes durante el periodo de estudio

En el caso de la comparación por meses, el comportamiento fue similar al que se observó en los sitios, mostrando algunas diferencias estadísticamente significativas, las cuales en términos reales fueron también pequeñas, aunque ligeramente más grandes que en el caso de los sitios (figura 50 y tablas 21 y 22). Es de señalarse el hecho de que las mayores dispersiones observadas coincidieron con los meses cálidos (mayo – septiembre), período en el que coincidentemente se presentaron aportes de los ríos cercanos por efecto de la temporada de lluvias; esto hace que los meses 1, 2, 3 y 13 (octubre – diciembre de 2005 – octubre de 2006), sin ser diferentes entre sí sean diferentes al resto de los meses, como se observa en la tabla 22, en la que destaca el mes 10 (agosto 2006) que es de los meses cálidos y diferente a todos los demás.

Tabla 21.- Distribución en Cuantiles de la información de turbidez (NTU) por mes en el período de estudio.

Mes	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Máximo
1	-0.90	-0.80	-0.80	-0.80	-0.70	-0.66	-0.50
2	-0.83	-0.80	-0.80	-0.79	-0.72	-0.70	-0.68
3	-0.83	-0.82	-0.81	-0.80	-0.78	-0.75	-0.70
5	1.00	1.20	1.40	1.60	1.70	1.90	2.10
6	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	2.50
7	-0.10	0.50	0.50	0.60	2.10	3.80	12.80
8	0.50	0.60	0.70	0.90	1.27	2.00	142.70
10	0.00	0.20	0.30	0.50	3.80	16.68	139.60
11	0.10	0.30	0.30	0.30	1.00	3.74	91.90
12	-0.40	-0.20	-0.20	-0.10	-0.10	0.90	82.50
13	-0.88	-0.78	-0.78	-0.78	-0.68	-0.68	-0.58

Tabla 22.- Comparación de todos los pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 3.22043$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)

Mes	10	11	8	5	7	6	12	13	1	2	3
10	-1.5105	2.0398	2.6758	1.9840	2.6396	2.4875	3.4079	4.8207	4.9525	5.0225	5.1451
11	2.0398	-1.4623	-0.8210	-1.5252	-0.8627	-1.0204	-0.0914	1.4193	1.4515	1.5224	1.6471
8	2.6758	-0.8210	-0.8470	-1.7200	-0.9721	-1.1996	-0.1590	1.3214	1.3591	1.4432	1.5990
5	1.9840	-1.5252	-1.7200	-2.5411	-2.0178	-2.0657	-1.2972	0.2493	0.2745	0.3297	0.4209
7	2.6396	-0.8627	-0.9721	-2.0178	-1.4871	-1.6419	-0.7173	0.7945	0.8264	0.8969	1.0205
6	2.4875	-1.0204	-1.1996	-2.0657	-1.6419	-2.2913	-1.4912	0.0488	0.0763	0.1334	0.2304
12	3.4079	-0.0914	-0.1590	-1.2972	-0.7173	-1.4912	-1.1433	0.3524	0.3873	0.4648	0.6045
13	4.8207	1.4193	1.3214	0.2493	0.7945	0.0488	0.3524	-1.3863	-1.3535	-1.2811	-1.1530
1	4.9525	1.4515	1.3591	0.2745	0.8264	0.0763	0.3873	-1.3535	-1.3393	-1.2659	-1.1358
2	5.0225	1.5224	1.4432	0.3297	0.8969	0.1334	0.4648	-1.2811	-1.2659	-1.2326	-1.0974
3	5.1451	1.6471	1.5990	0.4209	1.0205	0.2304	0.6045	-1.1530	-1.1358	-1.0974	-1.0006

IV.2.4.- Potencial de Óxido Reducción (ORP)

El potencial de óxido reducción (ORP) mostró un comportamiento similar en cuanto a su variación vertical en cada uno de los meses y en prácticamente todas las estaciones de muestreo, con excepción de la estación JAULA, en la que durante el mes 1 (octubre de 2005), se registraron los valores más bajos respecto del resto de las estaciones; dichos valores fueron positivos y mayores a 100 mV en el fondo, lo que indica condiciones aeróbicas aún en esta zona de la columna de agua. Igual que en el resto de las estaciones de muestreo, el ORP en la estación JAULA, se incrementó hasta los 300 mV durante el mes 3 (diciembre 2005), y disminuyó hasta los 100 mV durante el mes 13 (octubre 2006)

Las variaciones verticales fueron pequeñas y las variaciones estacionales fueron similares en todos los sitios de muestreo; la única disminución en el fondo se observó en la estación de muestreo ALMADRABA durante el mes 3 (diciembre 2005); sin embargo, los valores más bajos se encontraron por encima de los 250 mV (figura 51). En general se observó un incremento de los valores del ORP durante los meses cálidos y valores bajos en los meses fríos. Vale la pena señalar que por su estrecha vinculación con los procesos de degradación de la materia orgánica, este indicador es particularmente importante en la evaluación del efecto de la aplicación de alimento balanceado al medio marino.

Según la figura 52, los valores promedio de ORP, aunque con ligeras diferencias entre sitios, estuvieron muy cercanos en todo el periodo de estudio excepto en octubre de 2005 (mes 1), cuando el sitio JAULA fue inferior al resto; por otro lado los valores de la desviación estándar, indican con mayor claridad las diferencias entre los sitios en prácticamente todos los meses, aún cuando tales diferencias son pequeñas; destaca el sitio ALMADRABA por ser el que registró los más altos valores de desviación estándar.

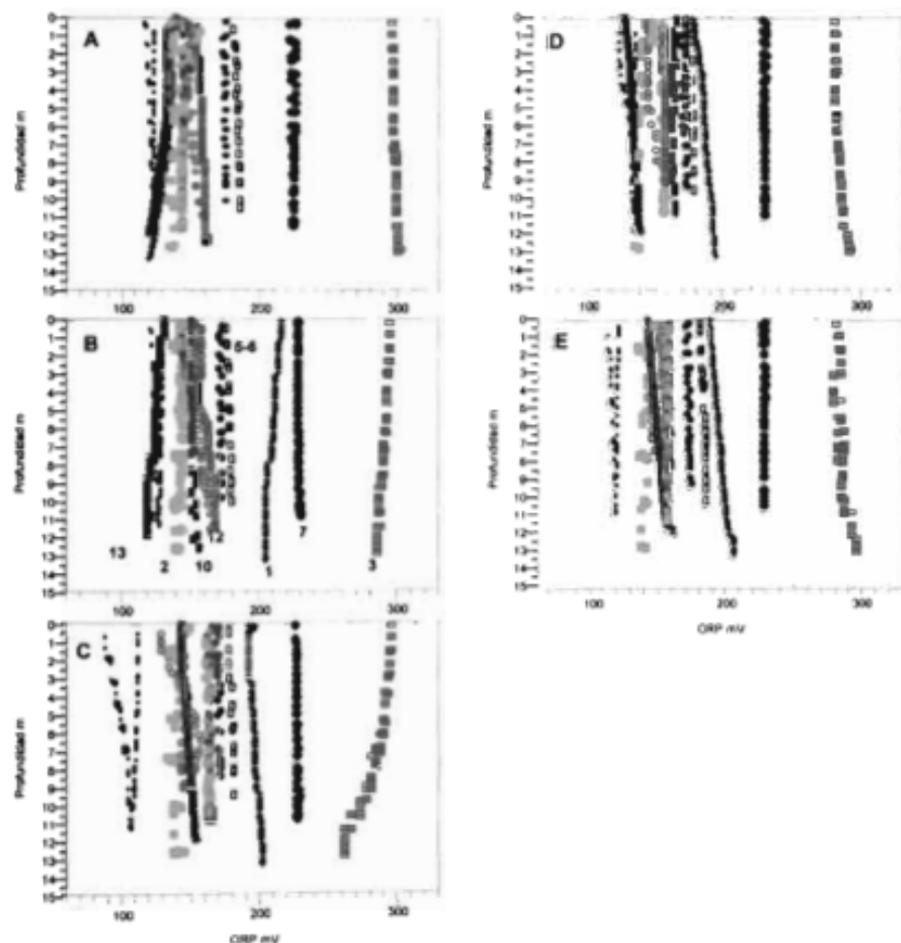


Figura 51.- Distribución vertical del potencial de óxido reducción (ORP) en mV, por sitio de muestreo, profundidad y mes, A= estación JAULA, B= estación ESTRUCTURA 1, C= estación ALMADRABA, D= estación ESTRUCTURA 2, E= estación ESTAC. 2. + = mes 1 (octubre), ■ = mes 2 (noviembre), □ = mes 3 (diciembre), ◻ = mes 5 (febrero), ⊙ = mes 6 (marzo), + = mes 7 (abril), ◊ = mes 8 (mayo), ■ = mes 10 (julio), ○ = mes 11 (agosto), ○ = mes 12 (septiembre), Z = mes 13 (octubre)

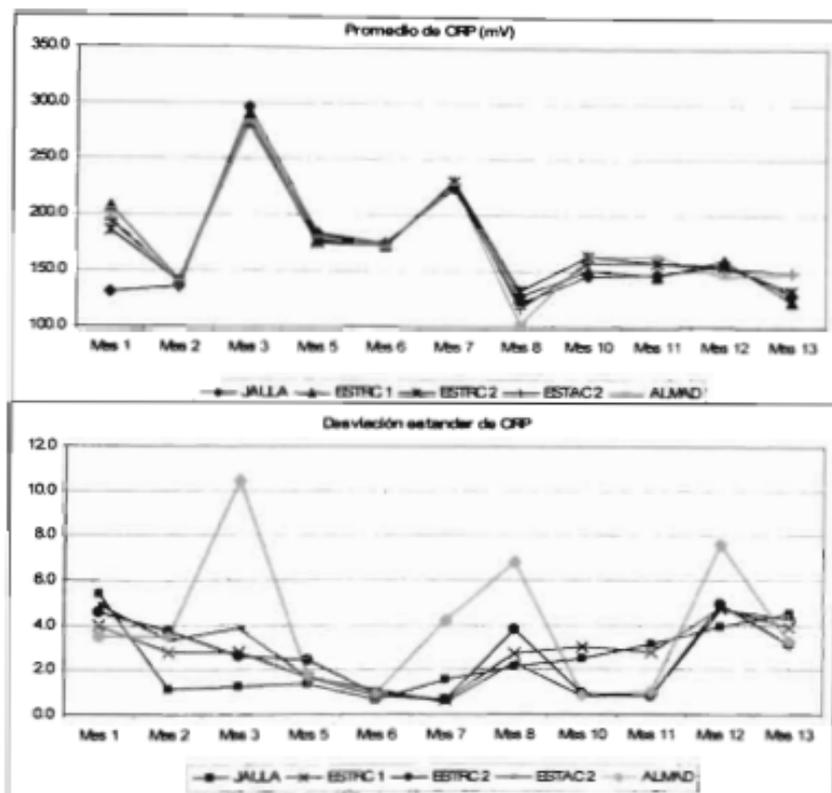


Figura 52 - Promedios mensuales de ORP por sitio y correspondientes desviaciones estándar.

En cuanto al comportamiento del ORP por sitios durante todo el periodo de la investigación, al aplicar el análisis de varianza, de acuerdo con la figura 53 y tablas 23 y 24, se encontró que solo la estación ALMADRABA presentó diferencias estadísticamente significativas respecto del resto de los sitios de muestreo; según la tabla 23 éste sitio registró entre los valores mínimos el más bajo de 89 mV, menor en 34 mV a la estación ESTRUCTURA 2 y en 28 mV a la

estación JAULA. Por otro lado, las diferencias entre los valores máximos entre sitios fueron muy pequeñas, no mayores a 10 mV.

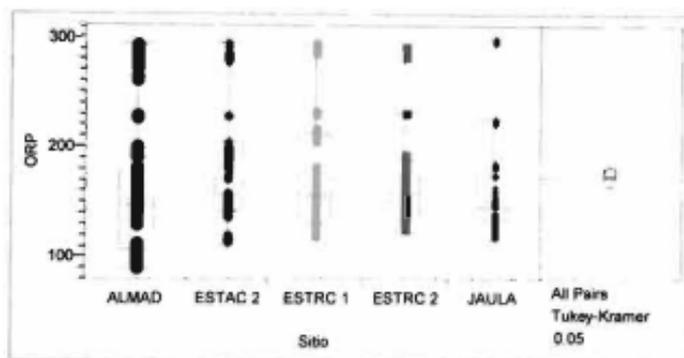


Figura 53.- Análisis de Varianza del ORP (mV) por sitio durante el periodo de estudio

Tabla 23.- Distribución en Cuantiles de la información de ORP (mV) por sitio

Sitio	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Maximum
ALMAD	89	98	108	147	191	276	294
ESTAC 2	112	118	142	157	205	283	295
ESTRC 1	118	125	130	156	212	288	293
ESTRC 2	123	131	135	158	188	281	291
JAULA	117	123	134	146	175	296	301

Tabla 24.- Comparación de todos los pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 2.72900$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)

Sitio	ESTAC 2	ESTRC 1	ESTRC 2	JAULA	ALMAD
ESTAC 2	-8.033	-5.445	-3.960	1.742	11.960
ESTRC 1	-5.445	-7.439	-5.959	-0.253	9.973
ESTRC 2	-3.960	-5.959	-7.686	-1.983	8.241
JAULA	1.742	-0.253	-1.983	-7.491	2.735
ALMAD	11.960	9.973	8.241	2.735	-7.061

En contraste con lo anterior, el comportamiento mensual presentó diferencias significativas, en coincidencia con el comportamiento observado para los indicadores antes analizados, según se muestra en la figura 54 y tablas 25 y 26. Los valores más bajos coincidieron con los meses cálidos (mayo – septiembre) lo que podría ser atribuible al efecto de las mayores temperaturas, así como al aporte entre otras cosas de materia orgánica de los ríos durante la temporada de lluvias, que coincide con el período de referencia.

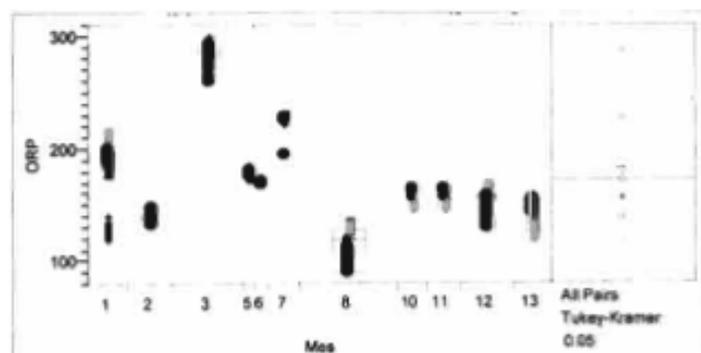


Figura 54.- Análisis de Varianza del ORP (mV) por mes durante el período de estudio

Tabla 25.- Distribución en Cuantiles de la información de ORP (mV) por mes

Mes	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Máximo
1	119	132	183	192	200	208	215
2	133	135	137	139	142	145	148
3	261	280	283	287	293	297	301
5	172	175	177	180	183	184	185
6	169	170	171	172	173	175	175
7	196	225	227	228	229	230	231
8	89	98	107	119	128	133	136
10	144	144	150	158	163	164	165
11	144	144	145	156	158	164	165
12	129	146	153	156	158	162	168
13	118	122	127	132	146	151	159

Tabla 26.- Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 3.22043$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)

Mes	3	7	1	5	6	10	12	11	2	13	8
3	-2.05	56.89	101.83	103.36	111.09	128.04	129.50	131.13	145.17	148.65	168.49
7	56.89	-3.04	41.88	43.57	51.28	68.12	69.51	71.20	85.19	88.70	108.43
1	101.83	41.88	-2.74	-1.10	6.62	23.50	24.90	26.58	40.58	44.09	63.84
5	103.36	43.57	-1.10	-5.20	2.45	19.08	20.36	22.15	36.07	39.63	59.20
6	111.09	51.28	6.62	2.45	-4.69	11.99	13.29	15.06	29.00	32.54	52.15
10	128.04	68.12	23.50	19.08	11.99	-3.09	-1.70	-0.01	13.98	17.49	37.22
12	129.50	69.51	24.90	20.36	13.29	-1.70	-2.34	-0.69	13.33	16.82	36.63
11	131.13	71.20	26.58	22.15	15.06	-0.01	-0.69	-2.99	11.00	14.51	34.25
2	145.17	85.19	40.58	36.07	29.00	13.98	13.33	11.00	-2.52	0.98	20.78
13	148.65	88.70	44.09	39.63	32.54	17.49	16.82	14.51	0.98	-2.84	16.91
8	168.49	108.43	63.84	59.20	52.15	37.22	36.63	34.25	20.78	16.91	-1.73

IV.2.5.- pH

El pH presentó un comportamiento similar al del ORP, solo que las similitudes sobre el comportamiento vertical y estacional de las diferentes estaciones de muestreo fueron más evidentes. En los meses 1 y 2 (octubre y noviembre de 2005), se inició con valores de 7.9, se presentó un incremento el mes 8 (mayo de 2006), en que se alcanzan valores de 8.4, para luego registrarse un descenso en el mes 12 (septiembre de 2006), cuando se alcanzaron los valores más bajos que oscilaron alrededor de 6.2 (figura 55)

Además del ORP el comportamiento de éste indicador parece coincidir con el de la turbidez, en el sentido de que los valores más bajos, o más altos en el caso de la turbidez, están aparentemente asociados con los meses de lluvia y los eventuales aportes de partículas hacia la zona marina.

Las variaciones verticales son similares y pequeñas en todos los sitios con excepción del mes 3 (diciembre de 2005), cuando los valores registrados pasaron de 7.9 en la superficie a 7.4 en el fondo; el intervalo de esta variación es similar en los diferentes sitios.

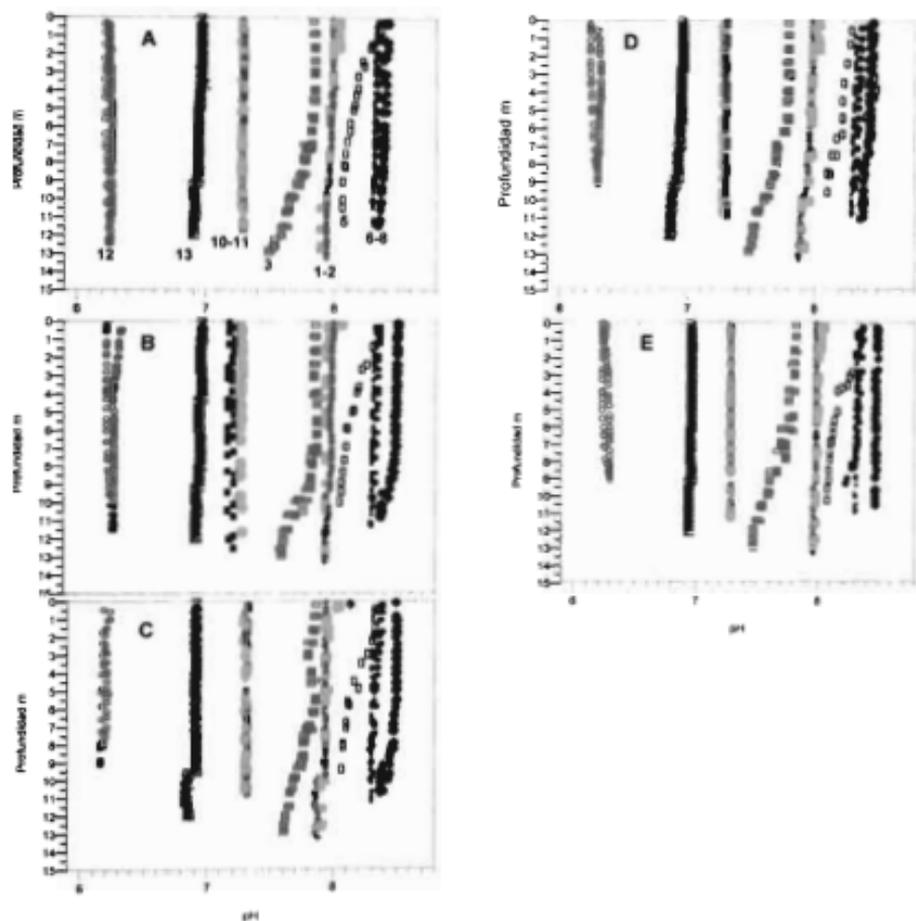


Figura 55.- Distribución vertical del pH, por sitio de muestreo, profundidad y mes, A= estación JAULA, B= estación ESTRUCTURA 1, C= estación ALMADRABA, D= estación ESTRUCTURA 2, E= estación ESTAC. 2. + = mes 1 (octubre), ■ = mes 2 (noviembre), □ = mes 3 (diciembre), ◻ = mes 5 (febrero), ● = mes 6 (marzo), ⊕ = mes 7 (abril), ◇ = mes 8 (mayo), ■ = mes 10 (julio), ○ = mes 11 (agosto), ○ = mes 12 (septiembre), Z = mes 13 (octubre)

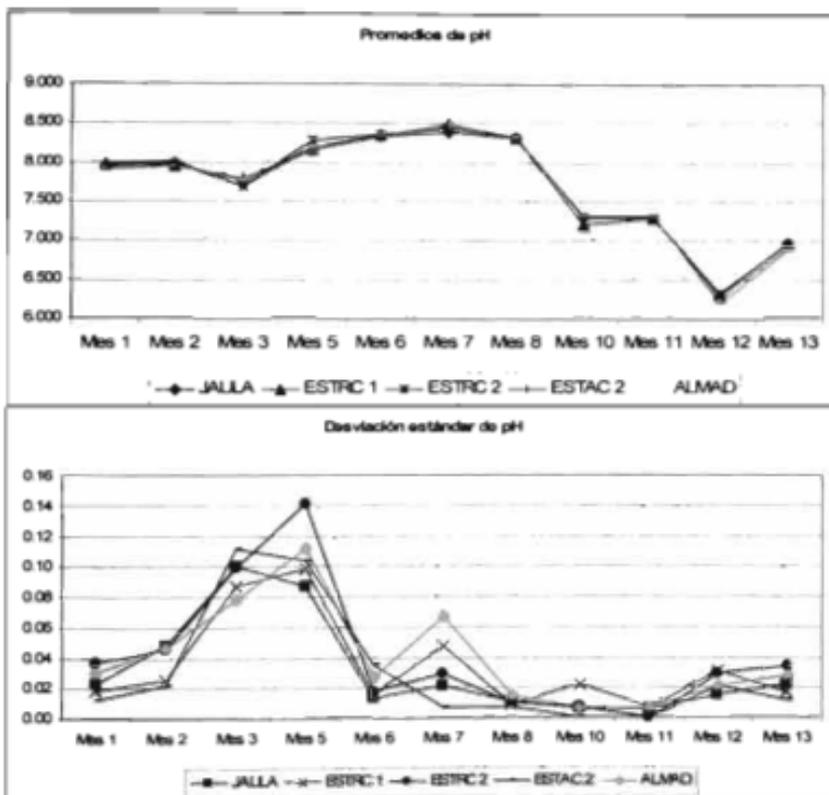


Figura 56 - Promedios mensuales de pH por sitio y correspondientes desviaciones estándar

En la figura 56 se observa que los promedios de los diferentes sitios fueron prácticamente iguales en todos los meses de la investigación; de manera similar las desviaciones estándar para cada sitio y mes se encontraron muy cercanas entre sí, particularmente durante los meses 8 al 12 (mayo – septiembre de 2006).

Al aplicar al pH, el análisis de varianza de una vía, aún cuando se obtuvieron variaciones estadísticamente significativas entre diferentes sitios de muestreo, tales diferencias fueron realmente pequeñas, como se observa en la figura 57 y tablas 27 y 28. En este caso los sitios que presentaron diferencias fueron las estaciones de muestreo ALMADRABA y JAULA.

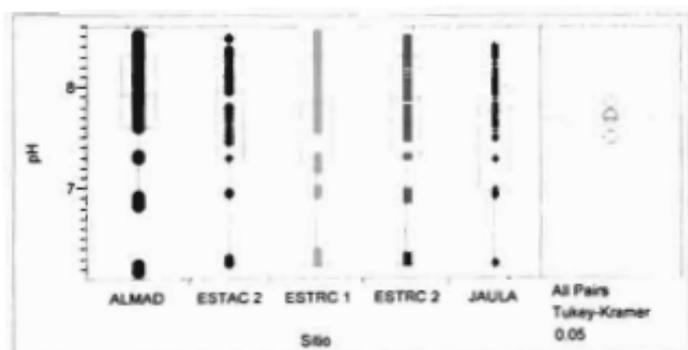


Figura 57.- Análisis de Varianza del pH por sitio durante el periodo de estudio

Tabla 27.- Distribución en Cuantiles de la información del pH por sitio

Sitio	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Máximo
ALMAD	6.17	6.91	7.60	7.93	8.33	8.35	8.52
ESTAC 2	6.24	6.94	7.30	7.96	8.31	8.34	8.50
ESTRC 1	6.24	6.30	7.18	7.86	8.31	8.36	8.52
ESTRC 2	6.25	6.88	7.31	7.90	8.31	8.34	8.49
JAULA	6.23	6.27	6.97	7.78	8.03	8.34	8.43

Tabla 28.- Comparación de pares utilizando Tukey - Kramer HSD $q = 2.72900$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)

Abs(Diff)-LSD	ALMAD	ESTRC 2	ESTAC 2	ESTRC 1	JAULA
ALMAD	-0.08278	0.04775	0.06885	0.14728	0.27134
ESTRC 2	0.04775	-0.09012	-0.06893	0.00936	0.13342
ESTAC 2	0.06885	-0.06893	-0.09419	-0.01597	0.10810
ESTRC 1	0.14728	0.00936	-0.01597	-0.08722	0.03684
JAULA	0.27134	0.13342	0.10810	0.03684	-0.08783

Como se observa en la tabla 27, las diferencias entre los valores mínimos encontrados para los diferentes sitios no fueron mayores de 0.08, mientras que las diferencias entre los valores máximos no rebasaron 0.09. Por su parte las estaciones de muestreo JAULA y ALMADRABA, resultaron diferentes a todas las demás, como se observa en la tabla 28. Cabe recordar que la estación de muestreo ALMADRABA es la más alejada de la estación JAULA (a 1,500 m) en la que se aplica alimento.

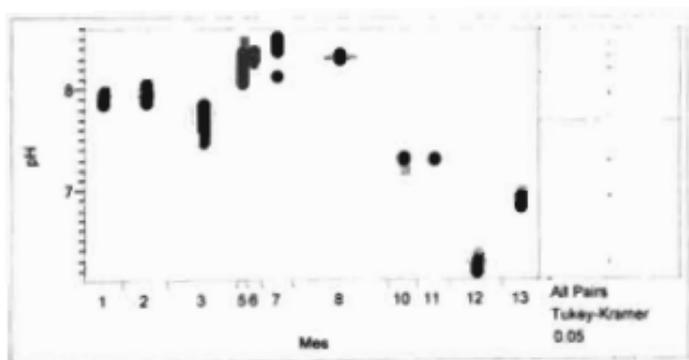


Figura 58.- Análisis de Varianza del pH por mes durante el periodo de estudio

En el caso del comportamiento mensual de este indicador se puede observar con mayor claridad que existen diferencias significativas, aún cuando en términos reales los valores observados siguen siendo pequeños para los propósitos de este estudio, como se desprende de la figura 58 y las tablas 29 y 30. Se observa también que los valores más altos se registraron durante los meses con bajas temperaturas del agua (octubre de 2005 – abril de 2006) con una tendencia a la disminución a partir de mayo de 2006, hasta alcanzar el mínimo en septiembre de 2006; octubre de 2006 no alcanzó los valores del mismo mes de 2005.

Tabla 29.- Distribución en Cuantiles de la información del pH por mes

Mes	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Máximo
1	7.85	7.9	7.93	7.96	7.98	7.99	8.01
2	7.87	7.92	7.93	7.96	8.01	8.03	8.07
3	7.46	7.58	7.67	7.78	7.83	7.85	7.86
5	8.06	8.08	8.1	8.175	8.29	8.37	8.49
6	8.24	8.32	8.34	8.35	8.36	8.376	8.39
7	8.14	8.38	8.4	8.48	8.5	8.51	8.52
8	8.3	8.31	8.31	8.32	8.33	8.34	8.36
10	7.17	7.22	7.28	7.3	7.31	7.32	7.33
11	7.28	7.28	7.28	7.3	7.3	7.31	7.32
12	6.17	6.23	6.25	6.27	6.3	6.32	6.36
13	6.835895	6.96577	6.915752	6.950125	6.967252	6.970075	6.990025

Tabla 30.- Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 3.22043$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes).

Mes	7	6	8	5	2	1	3	11	10	13	12
7	-0.0143	0.0884	0.1220	0.2321	0.4708	0.4873	0.7030	1.1456	1.1528	1.5008	2.1694
6	0.0884	-0.0220	0.0100	0.1219	0.3593	0.3759	0.5913	1.0344	1.0415	1.3894	2.0578
8	0.1220	0.0100	-0.0081	0.1004	0.3402	0.3565	0.5727	1.0147	1.0218	1.3700	2.0389
5	0.2321	0.1219	0.1004	-0.0244	0.2126	0.2292	0.4445	0.8877	0.8949	1.2428	1.9111
2	0.4708	0.3593	0.3402	0.2126	-0.0118	0.0046	0.2205	0.6529	0.6700	1.0181	1.6868
1	0.4873	0.3759	0.3565	0.2292	0.0046	-0.0129	0.2030	0.6454	0.6526	1.0006	1.6693
3	0.7030	0.5913	0.5727	0.4445	0.2205	0.2030	-0.0096	0.4325	0.4396	0.7878	1.4566
11	1.1456	1.0344	1.0147	0.8877	0.6629	0.6454	0.4325	-0.0140	-0.0069	0.3411	1.0097
10	1.1528	1.0415	1.0218	0.8949	0.6700	0.6526	0.4396	-0.0069	-0.0145	0.3335	1.0021
13	1.5008	1.3894	1.3700	1.2428	1.0181	1.0006	0.7878	0.3411	0.3335	-0.0133	0.6553
12	2.1694	2.0578	2.0389	1.9111	1.6868	1.6693	1.4566	1.0097	1.0021	0.6553	-0.0110

En la tabla 30, se observa que prácticamente todos los meses son diferentes al resto y en coincidencia con los indicadores previamente analizados estas diferencias parecen reflejar cambios estacionales naturales.

IV.2.6.- Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (figura 59) registró algunas diferencias entre sitios y meses: en las estaciones de muestreo JAULA y ESTRUCTURA 2, el comportamiento fue similar durante los meses 1,2 y 13 (octubre 2005, noviembre 2005 y octubre 2006), cuando se observó una disminución de 12 mg/l en la superficie a 11 mg/l en el fondo para el primer caso, y de 13 mg/l en la superficie a 12 mg/l en el fondo en el segundo; lo cual significa que existe un gradiente de 1 mg/l en 12 m de profundidad, cifra que para los fines de éste estudio se estima pequeña.

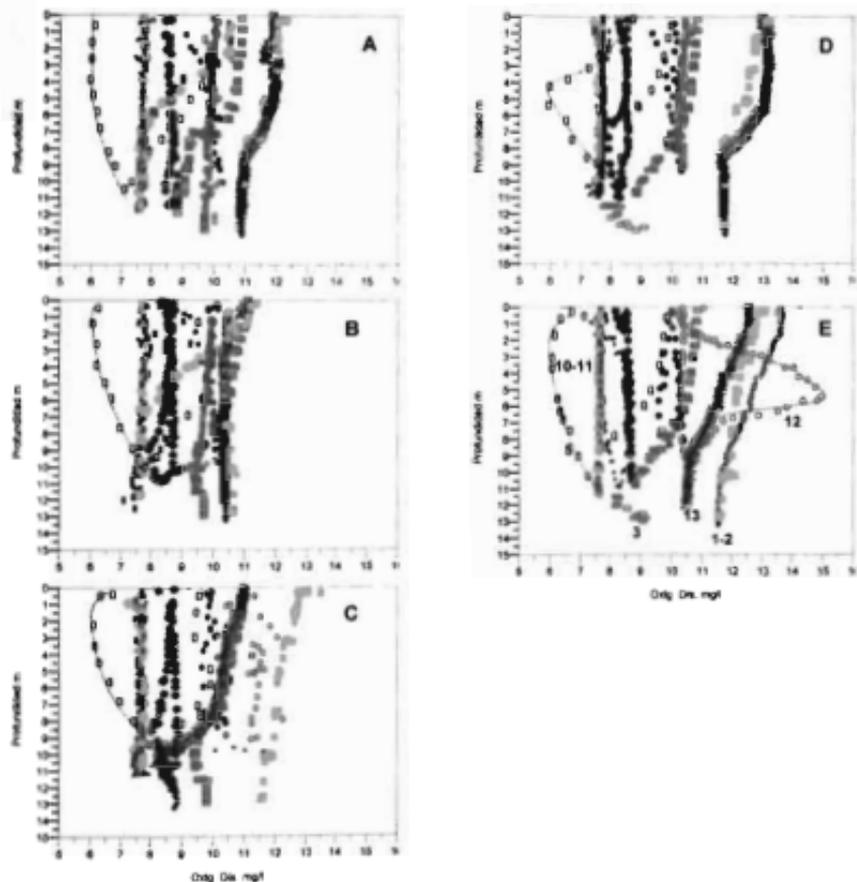


Figura 59.- Distribución vertical del oxígeno disuelto en mg/l, por sitio de muestreo, profundidad y mes; A= estación JAULA, B= estación ESTRUCTURA 1, C= estación ALMADRABA, D= estación ESTRUCTURA 2. E= estación ESTAC. 2. + = mes 1 (octubre), ■ = mes 2 (noviembre), □ = mes 3 (diciembre), ◻ = mes 5 (febrero), ● = mes 6 (marzo), + = mes 7 (abril), ◊ = mes 8 (mayo), ■ = mes 10 (julio), ○ = mes 11 (agosto), ⊙ = mes 12 (septiembre), Z = mes 13 (octubre)

En el caso de la estación ESTRUCTURA 1 que es la más cercana a la jaula, con excepción de febrero de 2006, (mes 5) no se registraron variaciones verticales importantes de la concentración de oxígeno disuelto. En el caso de la estación ALMADRABA que es la más alejada de la jaula, el comportamiento fue parecido al de ésta, solo que las variaciones observadas en octubre 2005 – noviembre 2005 y octubre 2006 fueron de 2 mg/l, pero en valores menores pasando de 11 mg/l en la superficie a 9 mg/l en el fondo.

Durante el mes 5 (febrero de 2005) registrado como el más frío, se observó un comportamiento diferente en todas las estaciones de muestreo, pasando de aproximadamente 6 mg/l en la superficie a 8.5 – 9 mg/l en el fondo; destacando la estación ESTRUCTURA 2, en la que se observó una disminución rápida de 7 mg/l en la superficie a 5.5 mg/l, entre los 4 m y 5 m de profundidad, para iniciar luego un incremento que alcanzó los 8.5 mg/l en el fondo. Durante el mes 12 (septiembre de 2006) destacó que en la estación ESTAC. 2 el fenómeno registrado fue opuesto al anterior, registrando en la superficie 11 mg/l e incrementándose a partir de los 2 m de profundidad hasta alcanzar los 15 mg/l a los 5 m.; este registro fue el más alto durante el período de estudio, el cual luego descendió hasta alcanzar los 10 mg/l en el fondo.

En la figura 60 se observa, además de una variación estacional en la que los valores máximos se registraron en octubre de 2005 y octubre de 2006, con valores menores en los meses intermedios, una importante cercanía entre los promedios de los diferentes sitios, particularmente para los meses 3 al 11 (diciembre de 2005 – agosto de 2006); por su parte las desviaciones estándar denotan una importante diferencia entre la dispersión de los datos para los diferentes sitios entre julio y septiembre de 2006 (mes 10 al mes 12)

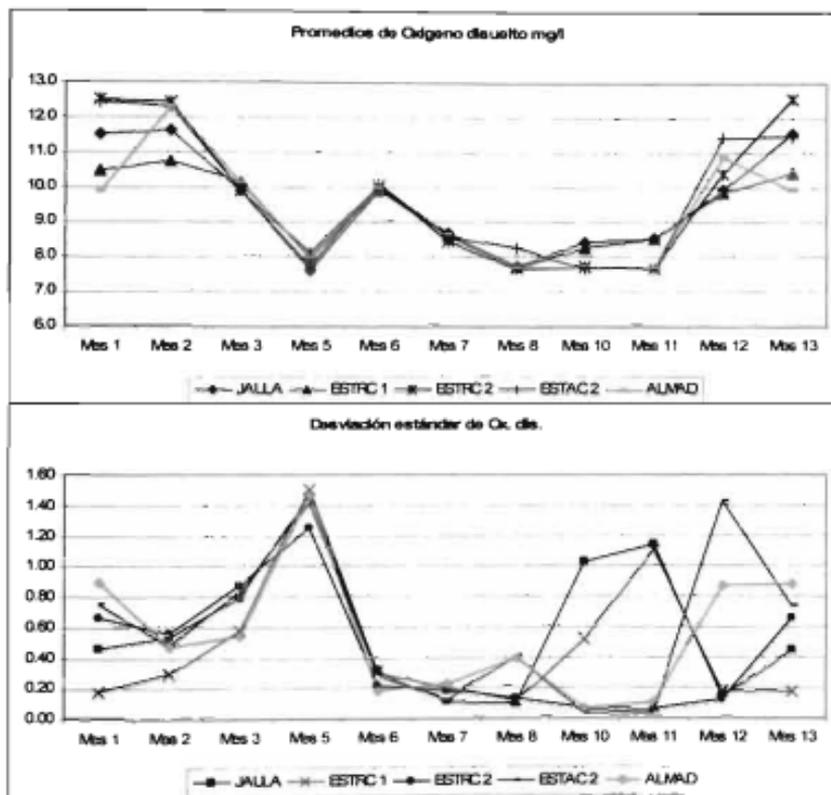


Figura 60.- Promedios mensuales de Oxígeno disuelto por sitio y correspondientes desviaciones estándar

Las evaluaciones mediante el análisis de varianza de una sola vía para el oxígeno disuelto, mostraron diferencias estadísticamente significativas entre la mayoría de los sitios; aunque estas diferencias en términos reales son pequeñas. Por otra parte, prácticamente todos los sitios fueron diferentes entre sí por lo que no fue posible identificar algún efecto de la jaula sobre las diferencias (figura 61 y tablas 31 y 32).

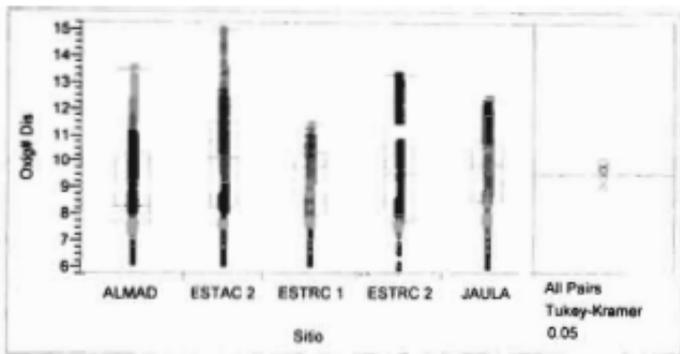


Figura 61.- Análisis de Varianza del oxígeno disuelto (mg/l) por sitio durante el periodo de estudio

Tabla 31.- Distribución en Cuantiles de la información de oxígeno disuelto (mg/l) por sitio

Sito	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Máximo
ALMAD	6.13	7.57	7.63	8.31	10.33	11.50	13.05
ESTAC 2	6.08	7.66	8.25	10.14	11.60	12.63	14.99
ESTRC 1	6.09	7.67	7.93	9.79	10.38	10.68	11.38
ESTRC 2	5.96	7.81	7.72	9.53	11.72	13.01	13.03
JAJULA	5.98	7.71	8.46	9.89	10.86	11.87	12.37

Tabla 32.- Comparación de pares utilizando Tukey - Kramer HSD $q = 2.72900$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)

Sito	ESTAC 2	ESTRC 2	JAJULA	ESTRC 1	ALMAD
ESTAC 2	-0.23452	0.02387	0.03939	0.37582	0.74492
ESTRC 2	0.02387	-0.22438	-0.20880	0.12765	0.49688
JAJULA	0.03939	-0.20880	-0.21869	0.11776	0.48706
ESTRC 1	0.37582	0.12765	0.11776	-0.21718	0.15214
ALMAD	0.74492	0.49688	0.48706	0.15214	-0.20612

De acuerdo con la tabla 31, la mayor diferencia entre los valores mínimos registrados para cada sitio fue de 0.17 mg/l, mientras que para los valores máximos esta diferencia fue de 2.62 mg/l; en éste caso la estación de muestreo JAJULA registró el valor más bajo, el cual sin embargo fue solo 0.68 mg/l, menor

que el registrado en la estación ALMADRABA que como se ha dicho fue la más distante del área de cultivo. Destaca particularmente también en éste caso, el que se registrasen diferencias estadísticamente significativas aún cuando los valores de los cuantiles para cada caso son tan cercanos (tablas 31 y 32).

En el caso de la variación mensual de la concentración de oxígeno disuelto, si se apreciaron diferencias importantes, como en la mayoría de los casos antes descritos (figura 62 y tablas 33 y 34) observándose además una variación estacional con valores más bajos que coincidieron con los meses de temperatura del agua más alta, que a su vez coincidieron con los aportes de ríos durante la temporada de lluvias

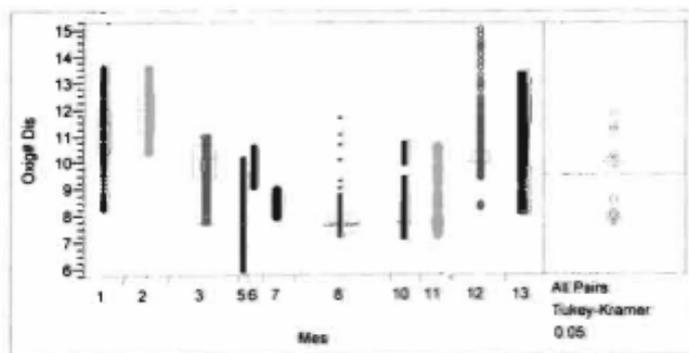


Figura 62.- Análisis de Varianza del oxígeno disuelto (mg/l) por mes durante el periodo del estudio

Tabla 33.- Distribución en Cuantiles de la información de oxígeno disuelto (mg/l) por mes

Mes	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Máximo
1	8.24	10.23	10.39	11.53	12.07	13.15	13.63
2	10.37	10.68	11.15	12.00	12.59	12.81	13.50
3	7.72	9.00	9.40	10.17	10.66	10.79	10.97
5	5.98	8.10	8.50	7.83	9.32	9.80	9.99
6	9.11	9.62	9.88	10.03	10.16	10.25	10.57
7	7.94	8.29	8.47	8.56	8.70	8.76	8.99
8	7.22	7.55	7.60	7.67	7.77	7.96	11.67
10	7.13	7.60	7.66	7.72	7.77	8.67	10.56
11	7.26	7.82	7.85	7.70	7.76	9.74	10.58
12	8.32	9.72	9.88	10.00	10.39	11.16	14.99
13	8.2154	10.26	10.38	11.01	11.94	12.87	13.26

Tabla 34.-Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 3.22043$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)

Mes	2	1	13	12	6	3	7	11	10	5	8
2	-0.1712	0.3404	0.5109	1.4476	1.6264	1.7316	3.1242	3.6499	3.7649	3.7218	3.9738
1	0.3404	-0.1860	-0.0153	0.9206	1.1022	1.2042	2.5982	3.1238	3.2389	3.1979	3.4459
13	0.5109	-0.0153	-0.1926	0.7431	0.9258	1.0265	2.4211	2.9467	3.0619	3.0217	3.2680
12	1.4476	0.9206	0.7431	-0.1588	0.0178	0.1256	1.5170	2.0427	2.1576	2.1128	2.3682
6	1.6264	1.1022	0.9258	0.0178	-0.3182	-0.2400	1.1637	1.6888	1.8048	1.7812	1.9588
3	1.7316	1.2042	1.0265	0.1256	-0.2400	-0.1390	1.2503	1.7762	1.8908	1.8434	2.1044
7	3.1242	2.5982	2.4211	1.5170	1.1637	1.2503	-0.2086	0.3190	0.4343	0.3961	0.6387
11	3.6499	3.1238	2.9467	2.0427	1.6888	1.7762	0.3190	-0.2031	-0.0879	-0.1265	0.1170
10	3.7649	3.2389	3.0619	2.1576	1.8048	1.8908	0.4343	-0.0879	-0.2098	-0.2475	-0.0058
5	3.7218	3.1979	3.0217	2.1128	1.7812	1.8434	0.3961	-0.1265	-0.2475	-0.3530	-0.1416
8	3.9738	3.4459	3.2680	2.3682	1.9988	2.1044	0.6387	0.1170	-0.0058	-0.1416	-0.1177

IV.3.- Análisis descriptivo, espacio – temporal de las variables Físico – químicas del sedimento

IV.3.1.- Granulometría

El análisis granulométrico de los sedimentos utilizados para la determinación de Carbono orgánico (CO) y Carbonatos a lo largo de los núcleos colectados (de la superficie o zona de interfase agua – sedimento a los 16 cm de profundidad) permitió conocer que se colectaron arenas lodosas con concentración máxima de arena, igual a 92.4% entre 6 y 8 cm de profundidad y una mínima de 76.3% entre 10 y 12 cm de profundidad, mientras que la componente de lodos registró un mínimo de 7.6% y un máximo de 23.7% (tabla 35)

Tabla 35 Composición promedio de los sedimentos en el área de estudio, entre los 0 y 16 cm de profundidad

Profundidad en cm	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16
Componente								
Grava	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Arena	89.0%	88.6%	90.2%	92.4%	87.3%	76.3%	84.6%	79.3%
Lodos	11.0%	11.4%	9.8%	7.6%	12.7%	23.7%	15.4%	20.7%
Total	100.0%							
Arena muy gruesa	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.4%
Arena Gruesa	5.9%	0.0%	0.0%	0.2%	0.2%	0.0%	4.7%	6.6%
Arena media	9.6%	4.9%	4.7%	6.1%	6.9%	4.7%	8.6%	11.7%
Arena fina	30.6%	34.5%	36.4%	37.7%	35.3%	28.7%	29.2%	26.4%
Arena muy fina	42.4%	49.3%	49.1%	48.4%	44.9%	42.9%	41.7%	34.3%
Limo muy grueso	7.2%	7.3%	6.2%	5.6%	7.6%	13.3%	9.3%	11.3%
Limo grueso	1.2%	1.2%	1.0%	0.8%	1.7%	4.0%	2.0%	3.4%
Limo medio	0.9%	1.0%	0.9%	0.6%	1.3%	2.4%	1.5%	2.3%
Limo fino	0.7%	0.8%	0.7%	0.4%	0.9%	1.6%	1.1%	1.6%
Limo muy fino	0.6%	0.6%	0.6%	0.0%	0.7%	1.3%	0.8%	1.2%
Arcilla	0.4%	0.5%	0.4%	0.2%	0.5%	1.1%	0.7%	1.0%
Total	100.0%							

En la figura 63 se observa con claridad el predominio de las arenas sobre los lodos, los cuales tienden a disminuir su participación porcentual de la superficie hasta la capa de 6 a 8 cm de profundidad (11% - 7.6%), para luego incrementarse hasta alcanzar el 20.7% en la capa de 14 cm a 16 cm.

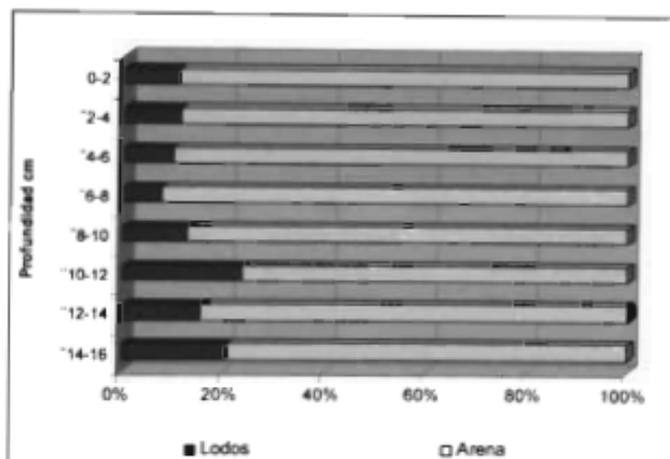


Figura 63.- Composición general de los sedimentos (%) en el área de estudio, en función de la profundidad

En la figura 64 se presenta la composición específica de los sedimentos analizados, apreciándose con claridad un efecto de la profundidad; así por ejemplo, las arenas gruesas solo se obtuvieron en la capa de 0 – 2 cm y de los 12 a los 16 cm de profundidad. Las arenas finas y muy finas tuvieron una participación porcentual similar en las diferentes capas de profundidad, igual que los limos muy gruesos. Los componentes de grano más pequeño, de limos gruesos, medios etc., hasta arcillas, presentaron una tendencia al incremento con el aumento de la profundidad.

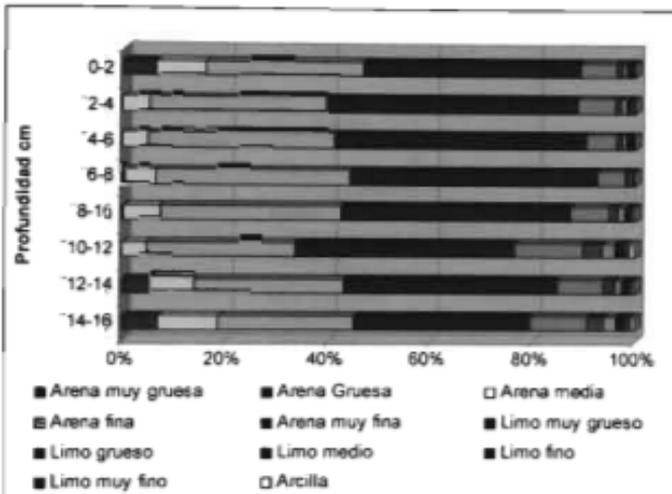


Figura 64.- Composición específica de los sedimentos en % en el área de estudio, en función de la profundidad

En la tabla 36 se presenta la escala de tamaño de grano utilizada en la granulometría antes descrita, tomada del paquete GRADISTAT⁶ (Por sus siglas en ingles)

A partir de la tabla antes señalada se puede comprender que la determinación de CO y de Carbonatos, utilizando un tamiz de 290 micras para seleccionar el material de las muestras, se realizó sobre las fracciones más pequeñas de los sedimentos; esto es a partir de arenas medias, donde particularmente se fijan los componentes analizados.

⁶ Grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. <http://scape.brandonu.ca/download/gradistat.pdf>.

Tabla 36 Escala de tamaño de grano utilizada en el programa GRADISTAT, modificada de Udden (1914) y Wentworth (1922)

Tamaño de grano mm	Término descriptivo	
1024	Muy grande	Canto rodado
	Grande	
512	Medio	
256	Pequeño	
128	Muy pequeño	
64	Muy gruesa	Grava
32	Gruesa	
16	Media	
8	Fina	
4	Muy fina	
2	Muy gruesa	Arena
1 micras	Gruesa	
500	Media	
250	Fina	
125	Muy fina	
63	Muy grueso	Limo
31	grueso	
16	Medio	
8	Fino	
4	Muy fino	
2	Arcilla	

IV.3.2.- Carbonatos

Se determinó la concentración porcentual de carbonatos, tomando en cuenta la cantidad de restos de organismos, principalmente poliquetos, pequeños bivalvos y gasterópodos, pequeñas conchas enteras y trozos de éstas encontrados en los núcleos colectados, principalmente en profundidades de ente 4 y 15 cm.

En la figura 65, se puede observar que la concentración porcentual de carbonatos en términos generales fue homogénea, tanto entre sitios como en función de la profundidad. Las variaciones mensuales se presentaron entre el 2% y el 3.5 %, sin una notable diferencia entre los valores altos o bajos de este intervalo. La excepción se observó durante el mes de febrero, en el que todos los sitios de muestreo registraron valores diferentes a los encontrados en el resto de los meses (entre 4% y 6.5%).

En este mes también se observaron variaciones en función de la profundidad, mostrándose con mayor claridad una tendencia a la disminución en el caso la ESTRUCTURA 1, en donde los valores pasaron de 6.5% en la superficie a 4% en el fondo. En el sitio ALMADRABA, los valores mostraron una ligera tendencia a la disminución en las primeras capas, pasando de 4.5% en la superficie a 4% a 5 cm de profundidad, para luego incrementarse hasta alcanzar el 6.5% en el fondo.

En la figura 66 se observa que los promedios de concentración porcentual de Carbonatos estuvieron muy cercanos, particularmente entre los meses 7 al 13 (abril a octubre de 2006); si bien, los datos de la desviación estándar indican que durante la mayor parte del periodo de estudio la dispersión de los registros fue diferente para cada sitio.

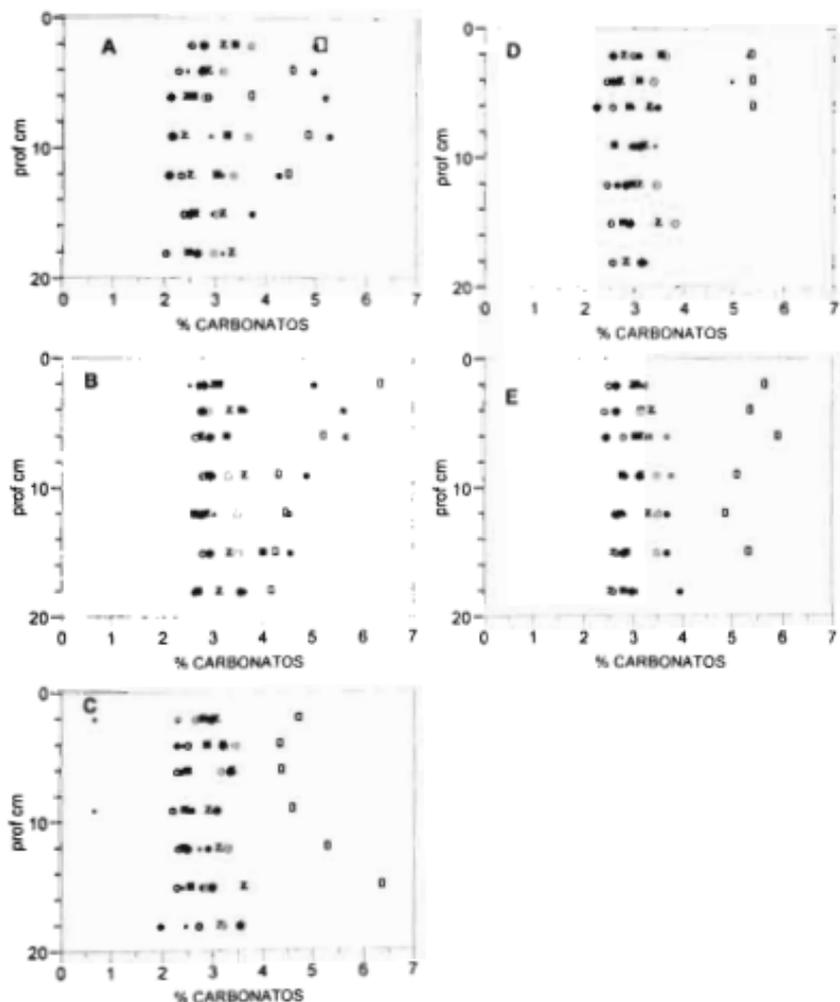


Figura 65.- Distribución vertical de la concentración porcentual de Carbonatos, por sitio de muestreo, profundidad y mes, A= estación JAULA, B= estación ESTRUCTURA 1, C= estación ALMADRABA, D= estación ESTRUCTURA 2, E= estación ESTAC. 2. □ = mes 5 (febrero), ● = mes 6 (marzo), + = mes 6 (abril), ◇ = mes 8 (mayo), ■ = mes 10 (julio), ○ = mes 11 (agosto), ⊖ = mes 12 (septiembre), Z = mes 13 (octubre)

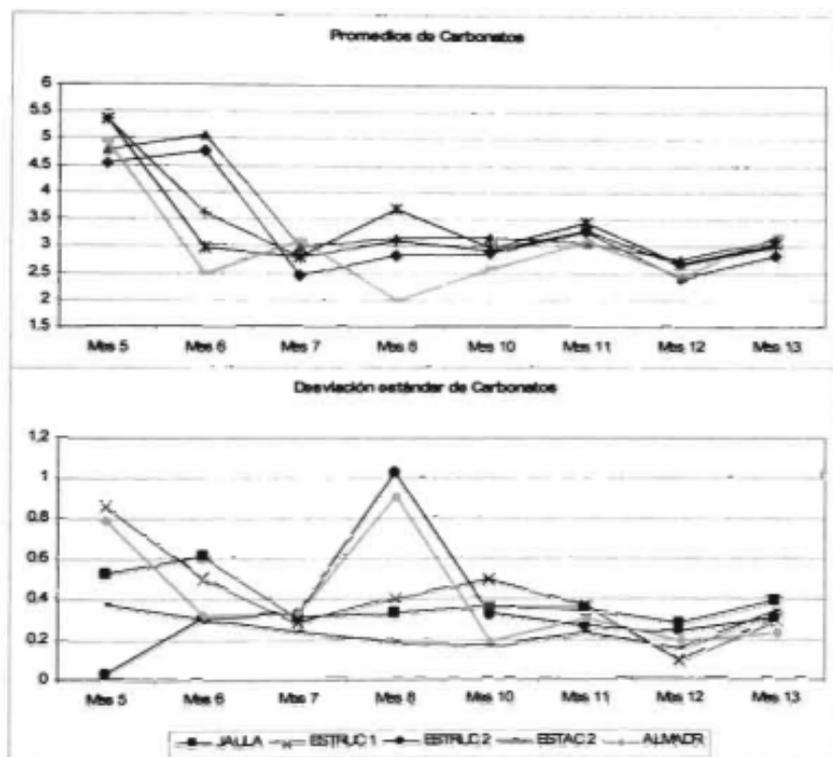


Figura 66 – Promedios mensuales de contenido de Carbonatos (%) por sitio y correspondientes desviaciones estándar

A partir de un análisis de varianza similar al aplicado en el caso de las variables hidrológicas, resultó, que la concentración porcentual de carbonatos fue mayor que la de CO que se describe más adelante y que no hubo diferencia significativa entre las concentraciones de los diferentes sitios de muestreo o entre las diferentes profundidades, y si en cuanto a los meses, lo cual se puede apreciar en las figuras 67 a 69 y tablas de la 37 a la 42.

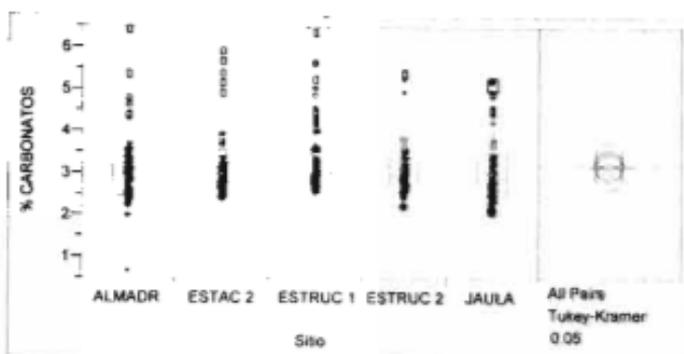


Figura 67.- Análisis de Varianza de la concentración porcentual de carbonatos por sitio durante el período del estudio

Tabla 37.- Distribución en Cuantiles de la información de concentración porcentual de carbonatos por sitio

Site	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Máximo
ALMADR	0.675795	2.315961	2.445583	2.844072	3.224100	4.341854	6.387094
ESTAC 2	2.434917	2.592023	2.794700	3.100024	3.492034	4.961907	5.899559
ESTRUC 1	2.549690	2.878428	2.795607	3.047455	3.749092	4.970391	6.350716
ESTRUC 2	2.258382	2.583394	2.736762	2.992043	3.396384	4.867187	5.368669
JAULA	2.057149	2.239055	2.481585	2.919892	3.523737	4.939091	5.298995

Tabla 38.- Comparación de pares utilizando Tukey - Kramer HSD $q = 2.74695$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)

Site	ESTRUC 1	ESTAC 2	ESTRUC 2	JAULA	ALMADR
ESTRUC 1	-0.45820	-0.29690	-0.22987	-0.16270	0.03996
ESTAC 2	-0.29690	-0.45402	-0.38704	-0.31984	-0.11717
ESTRUC 2	-0.22987	-0.38704	-0.47618	-0.40914	-0.20652
JAULA	-0.16270	-0.31984	-0.40914	-0.46250	-0.25986
ALMADR	0.03996	-0.11717	-0.20652	-0.25986	-0.45820

La tabla 37 muestra que entre los valores mínimos registrados las diferencias son menores de 0.5 %, con excepción de la estación ALMADRABA en donde se encontró el valor más bajo (0.67 %). Por su parte, la mayor diferencia entre los valores máximos de cada sitio fue de 1.1 % (ALMADRABA - JAULA)

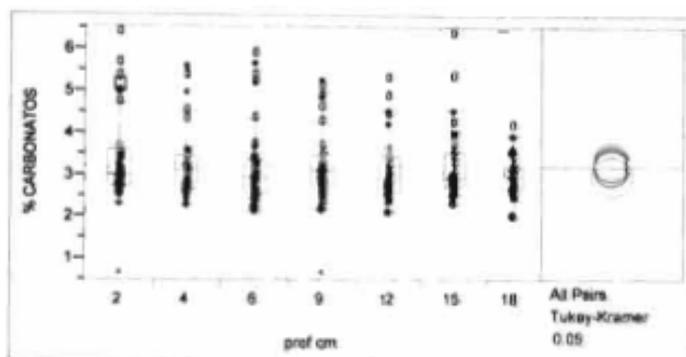


Figura 68.- Análisis de Varianza de la concentración porcentual de carbonatos por profundidad durante el periodo del estudio

Tabla 39.- Distribución en Cuantiles de la información de concentración porcentual de carbonatos por profundidad (cm)

Profundidad	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Máximo
2	0.675796	2.536599	2.745313	3.007326	3.611083	5.276647	6.350716
4	2.288268	2.434917	2.688827	3.100024	3.445366	4.985136	5.625355
6	2.134249	2.401662	2.561604	2.966628	3.377893	5.218617	5.899595
9	0.699694	2.236027	2.759499	3.106388	3.492034	4.870025	5.298995
12	2.105110	2.384018	2.636622	2.937938	3.465258	4.436983	5.300000
15	2.314221	2.581812	2.739599	2.934979	3.544381	4.271349	6.387094
18	1.998744	2.468710	2.688781	2.999562	3.226798	3.655321	4.166931

Tabla 40.- Comparación de pares utilizando Tukey - Kramer HSD $q = 2.97167$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes).

Profundidad	2	4	6	15	9	12	18
2	-0.58442	-0.52343	-0.48647	-0.45432	-0.42755	-0.38586	-0.24940
4	-0.52343	-0.59186	-0.55493	-0.52274	-0.49599	-0.45430	-0.31762
6	-0.48647	-0.55493	-0.58442	-0.55228	-0.52550	-0.48381	-0.34735
15	-0.45432	-0.52274	-0.55228	-0.59960	-0.57288	-0.53118	-0.39428
9	-0.42755	-0.49599	-0.52550	-0.57288	-0.59106	-0.55017	-0.41349
12	-0.38586	-0.45430	-0.48381	-0.53118	-0.55017	-0.59186	-0.45519
18	-0.24940	-0.31762	-0.34735	-0.39428	-0.41349	-0.45519	-0.56386

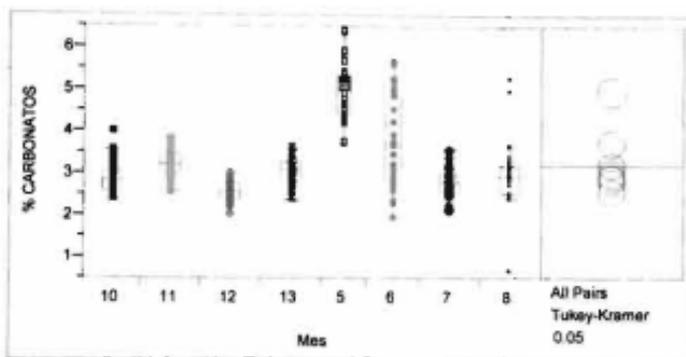


Figura 69.- Análisis de Varianza de la concentración porcentual de carbonatos por mes durante el periodo del estudio

Tabla 41.- Distribución en Cuantiles de la información de concentración porcentual de carbonatos por mes.

Mes	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Máximo
10	2.394016	2.475044	2.593291	2.845163	3.091736	3.464965	3.975149
11	2.567993	2.744982	2.999562	3.228798	3.492034	3.651706	3.847271
12	2.057149	2.267370	2.420599	2.589240	2.770819	2.964615	3.004760
13	2.375912	2.506601	2.801568	3.115332	3.292899	3.405286	3.600976
5	3.728807	4.218168	4.415985	4.985452	5.366342	5.034906	6.387094
6	1.998744	2.349536	2.829048	3.685226	4.812824	5.275204	5.685121
7	2.105110	2.226005	2.587759	2.803728	3.014070	3.284075	3.581646
8	0.675795	2.434094	2.545461	2.943979	3.173387	3.658890	5.296031

Tabla 42.- Comparación de pares utilizando Tukey - Kramer HSD $q = 3.05599$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes).

Abs(Dif)-LSD	5	6	11	13	8	10	7	12
5	-0.4942	0.7781	1.2914	1.4796	1.5778	1.6093	1.6914	1.9339
6	0.7781	-0.4454	0.0684	0.2566	0.3548	0.3860	0.4684	0.7109
11	1.2914	0.0684	-0.4259	-0.2377	-0.1395	-0.1085	-0.0259	0.2166
13	1.4796	0.2566	-0.2377	-0.4259	-0.3277	-0.2966	-0.2141	0.0284
8	1.5778	0.3548	-0.1395	-0.3277	-0.4259	-0.3949	-0.3123	-0.0699
10	1.6093	0.3860	-0.1085	-0.2966	-0.3949	-0.4386	-0.3562	-0.1137
7	1.6914	0.4684	-0.0259	-0.2141	-0.3123	-0.3562	-0.4259	-0.1835
12	1.9339	0.7109	0.2166	0.0284	-0.0699	-0.1137	-0.1835	-0.4259

IV.3.3.- Carbono Orgánico (CO)

Sobre el comportamiento de la concentración porcentual de carbono orgánico (CO) en la columna de sedimentos, tomado entre las profundidades de 0 – 18 cm y analizado a partir de febrero de 2006 en las diferentes estaciones de muestreo, se observó que en términos generales existe una variación vertical de la composición de ésta variable, consistente en una disminución, desde la superficie hasta las primeras capas, seguida de un incremento hacia el fondo. Esto es evidente en la estación JAULA entre 0 cm y 10 cm de profundidad durante casi todos los meses a excepción de octubre de 2006 (mes 13) en el que ésta zona se ubicó cerca de los 14 cm de profundidad, en la ESTRUCTURA 1 destacan, febrero de 2006 (mes 5) que descendió prácticamente a lo largo de toda la columna, abril que se comportó de manera opuesta a la estación JAULA, de la cual se encuentra a 50 m, en el resto de las estaciones se observa mayor cercanía entre los meses y más de una disminución a lo largo de la columna de sedimentos. Estas disminuciones pudieran ser identificadas como zonas de utilización de materia orgánica debida a la actividad de los organismos que habitan en esas profundidades del sedimento.

Destacó el hecho de que los valores más altos (1.2% - 1.3%) fueron similares en todas las estaciones de muestreo y se registraron durante diferentes meses, sin que se haya observado un patrón del comportamiento de la variable en cuanto a máximos y mínimos; la excepción fue el mes de febrero (mes 5) que como se ha mencionado es el que ha registrado las menores temperaturas, y que en prácticamente en todas las estaciones registró los valores más bajos de CO (0.5% – 0.7%), en el caso de los valores mínimos también se encontraron muy cercanos entre los diferentes sitios (0.7% - 0.9%) como se observa en la figura 70.

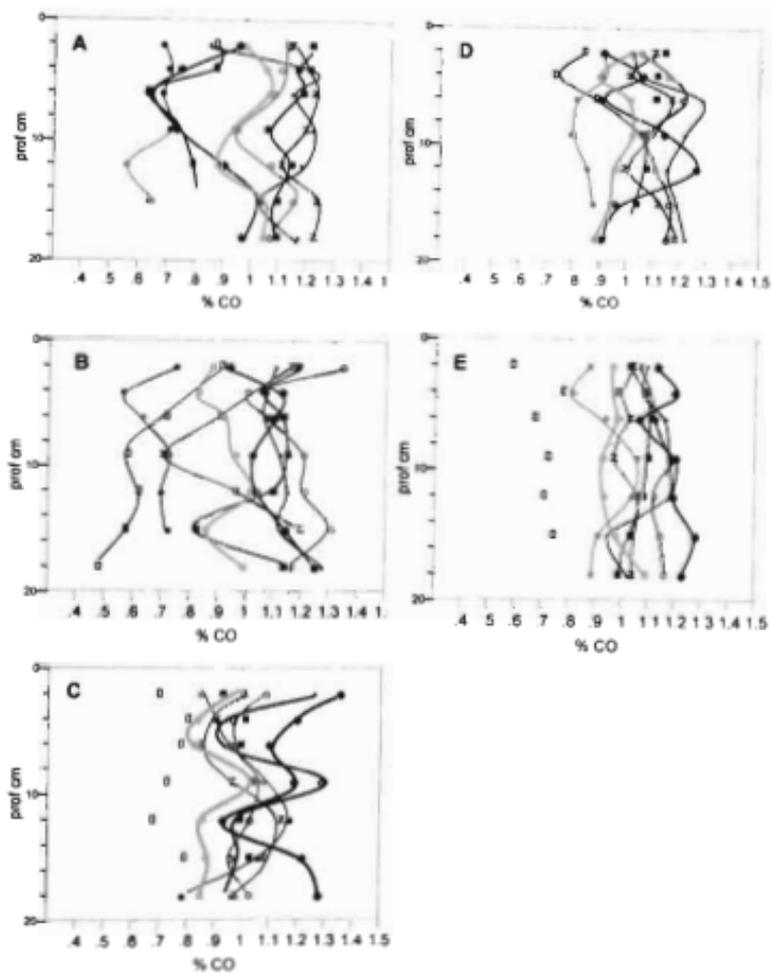


Figura 70.- Distribución vertical de la concentración porcentual de Carbono Orgánico (CO), por sitio de muestreo, profundidad y mes; A= estación JAULA, B= estación ESTRUCTURA 1, C= estación ALMADRABA, D= estación ESTRUCTURA 2, E= estación ESTAC. 2. □= mes 5 (febrero), ● = mes 6 (marzo), + = mes 6 (abril), ◇ = mes 8 (mayo), ■ = mes 10 (julio), ○ = mes 11 (agosto), ○ = mes 12 (septiembre), Z = mes 13 (octubre)

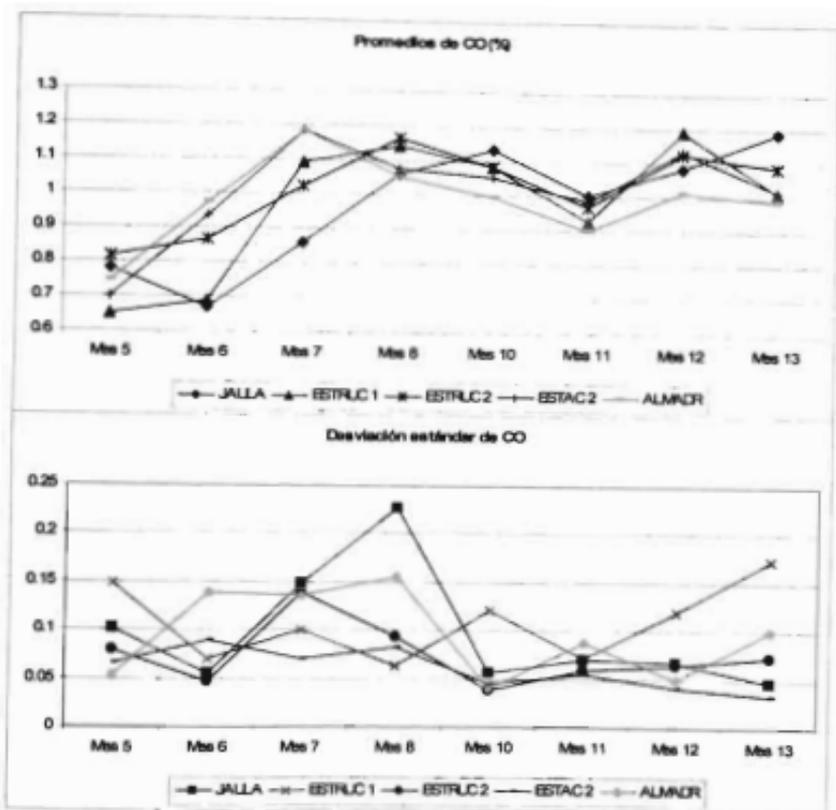


Figura - 71 Promedios mensuales de contenido de Carbono Orgánico (%) por sitio y correspondientes desviaciones estándar

En la figura 71 se observa un incremento en los promedios mensuales por sitio, del mínimo de febrero 2006 (mes 5) hasta abril 2006 (mes 7), para luego mantenerse sin variaciones importantes hasta el mes 13 (octubre de 2006); en éste último período los promedios por sitio estuvieron muy cercanos, registrándose un descenso para todos ellos durante el mes de agosto.

El análisis de varianza de una sola vía de la concentración porcentual de CO indica que no existió diferencia significativa entre los sitios durante el período en que se realizaron las determinaciones (febrero 2006 – octubre de 2006 excepto junio), lo cual coincide con el comportamiento señalado en el análisis descriptivo (figura 72 y tablas 43 y 44).

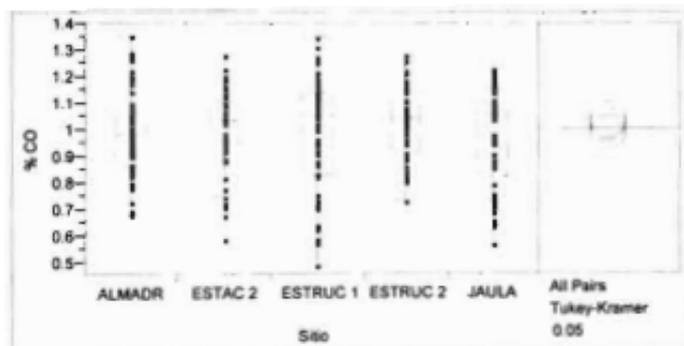


Figura 72.- Análisis de Varianza de la concentración porcentual de CO por sitio durante el periodo del estudio.

Tabla 43.- Distribución en Cuantiles de la información de concentración porcentual de CO por sitio

Sito	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Máximo
ALMADR	0.677621	0.790824	0.865644	0.978519	1.065973	1.212073	1.356186
ESTAC 2	0.586611	0.763429	0.951533	1.032217	1.100349	1.193059	1.27947
ESTRUC 1	0.482892	0.630256	0.828701	1.050401	1.14041	1.215875	1.347389
ESTRUC 2	0.728522	0.962116	0.911179	1.041395	1.14446	1.209698	1.28294
JAULA	0.564171	0.695257	0.822284	1.055425	1.154415	1.215841	1.230889

Tabla 44 - Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 2.74695$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)

Sito	ESTRUC 2	ESTAC 2	ALMADR	JAULA	ESTRUC 1
ESTRUC 2	-0.09484	-0.07557	-0.04517	-0.04507	-0.04419
ESTAC 2	-0.07557	-0.09043	-0.06004	-0.05995	-0.05906
ALMADR	-0.04517	-0.06004	-0.09126	-0.09117	-0.09029
JAULA	-0.04507	-0.05995	-0.09117	-0.09212	-0.09124
ESTRUC 1	-0.04419	-0.05906	-0.09029	-0.09124	-0.09126

En la tabla 43 se observa que dentro de los valores mínimos y máximos la diferencia entre el valor más alto y el menor fue de 0.24% y 0.12% respectivamente

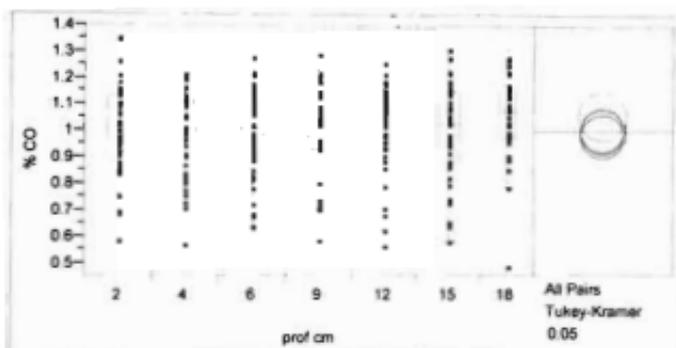


Figura 73.- Análisis de Varianza de la concentración porcentual de CO por profundidad durante el periodo del estudio

Al aplicar el análisis de varianza a los datos en función de la profundidad, se encontró que la situación no es diferente; esto es, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas según se observa en la figura 73 y tablas 45 y 46.

Tabla 45.- Distribución en Cuantiles de la información de concentración porcentual de CO por profundidad.

Profundidad (cm)	Mínimo	10%	25%	Median	75%	90%	Máximo
2	0.586611	0.762911	0.889113	1.01288	1.126290	1.208179	1.356186
4	0.589024	0.754056	0.871105	1.005011	1.106687	1.195075	1.219155
6	0.634674	0.673974	0.855660	1.006190	1.107499	1.179581	1.282940
9	0.583230	0.720132	0.930167	1.045423	1.147006	1.212664	1.293252
12	0.564171	0.704715	0.908873	1.035548	1.125823	1.184382	1.261173
15	0.579003	0.719149	0.879556	1.027527	1.149995	1.223772	1.313392
18	0.462892	0.859243	0.972927	1.072827	1.173896	1.248508	1.281503

Tabla 46.- Comparación de pares utilizando Tukey - Kramer HSD $q = 2.97167$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)

Profundidad	18	9	2	15	12	4	6
18	-0.13069	-0.07287	-0.07121	-0.07021	-0.06542	-0.05419	-0.04691
9	-0.07287	-0.11652	-0.11482	-0.11390	-0.10907	-0.09784	-0.09052
2	-0.07121	-0.11482	-0.11505	-0.11415	-0.10931	-0.09808	-0.09075
15	-0.07021	-0.11390	-0.11415	-0.11804	-0.11321	-0.10198	-0.09466
12	-0.06542	-0.10907	-0.10931	-0.11321	-0.11652	-0.10529	-0.09796
4	-0.05419	-0.09784	-0.09808	-0.10198	-0.10529	-0.11652	-0.10919
6	-0.04691	-0.09052	-0.09075	-0.09466	-0.09796	-0.10919	-0.11505

El comportamiento mensual de la concentración porcentual de CO, parece confirmar el papel de la temporalidad en las variaciones detectadas en las diferentes variables implicadas en el estudio, como se puede observar en la figura 74 y tablas 47 y 48.

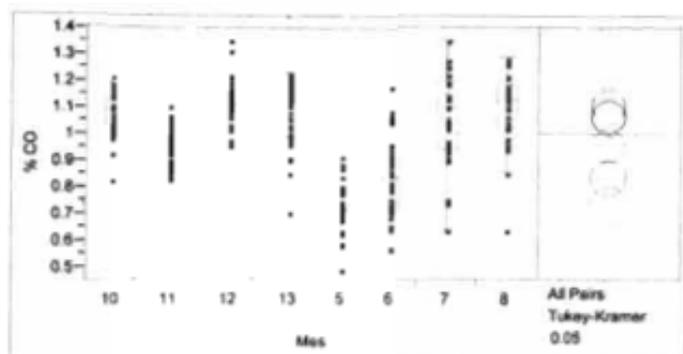


Figura 74 - Análisis de Varianza de la concentración porcentual de CO por mes durante el período del estudio.

De acuerdo con la figura 74, se observó un claro incremento del contenido porcentual de CO a partir de febrero de 2006, el cual prácticamente se mantuvo hasta octubre de 2006, con excepción de agosto de 2006, en que se observó una ligera disminución. En octubre de 2006 se aprecia un ligero descenso el cual pareciera indicar que las concentraciones de CO tienden hacia las registradas en febrero de 2006.

Tabla 47 - Distribución en Cuantiles de la información de concentración porcentual de CO por mes.

Mes	Mínimo	10%	25%	Mediana	75%	90%	Máximo
10	0.824471	0.985238	1.028458	1.090766	1.133793	1.174577	1.210889
11	0.826399	0.946161	0.985200	0.965407	1.019550	1.056021	1.099622
12	0.952572	0.973333	1.058155	1.110920	1.164219	1.215233	1.347389
13	0.702390	0.903357	0.984275	1.061017	1.158816	1.212403	1.230889
5	0.482892	0.581962	0.663194	0.725436	0.796264	0.875028	0.910923
6	0.564171	0.641214	0.708112	0.832105	0.915771	1.062438	1.175288
7	0.636049	0.843620	0.941077	1.100177	1.200207	1.268492	1.356186
8	0.639617	0.947655	1.020365	1.129293	1.188219	1.268640	1.293252

Tabla 48.- Comparación de pares utilizando Tukey – Kramer HSD $q = 3.05599$, $\alpha = 0.05$ (valores positivos muestran pares que son significativamente diferentes)

Meses	12	8	10	7	13	11	6	5
12	-0.08830	-0.07756	-0.05083	-0.04533	-0.03657	0.06684	0.18662	0.28758
8	-0.07756	-0.08830	-0.06157	-0.05606	-0.04731	0.05610	0.17588	0.27684
10	-0.05083	-0.06157	-0.09093	-0.08545	-0.07669	0.02672	0.14653	0.24756
7	-0.04533	-0.05606	-0.08545	-0.08830	-0.07954	0.02387	0.14365	0.24461
13	-0.03657	-0.04731	-0.07669	-0.07954	-0.08830	0.01511	0.13489	0.23585
11	0.06684	0.05610	0.02672	0.02387	0.01511	-0.08830	0.03148	0.13244
6	0.18662	0.17588	0.14653	0.14365	0.13489	0.03148	-0.09234	0.00873
5	0.28758	0.27684	0.24756	0.24461	0.23585	0.13244	0.00873	-0.10245

IV.4.- Análisis de las interacciones entre variables fisicoquímicas del agua y el sedimento

Para estos propósitos se realizó un análisis de varianza multifactorial. Se utilizaron los factores y niveles que se relacionan a continuación.

Factor	Niveles
Sitio (S)	5 (ALMADRABA, ESTAC 2, ESTRC 1, ESTRC 2, JAULA)
Mes (M)	13 (1- 2 -3 -4- 5- 6 -7- 8 -9 -10 -11- 12- 13)
Profundidad del agua (pm)	3 (1= de 0 - 4 m - 2= mayor de 4 y menor de 8 m - 3= igual o mayor de 8 m)
Profundidad del sedimento (pms)	2 (1= de 0 - 8 cm - 2= mayor de 8 cm)

Según se observa en la relación anterior, para facilitar el análisis, en función de las profundidades, tanto en la columna de agua como en el sedimento, se establecieron tres estratos en el caso de la profundidad del agua (pm) y dos en el caso de la profundidad del sedimento (pms), estos estratos se definieron a partir de las principales variaciones verticales observadas según se ha comentado en la parte de análisis descriptivo de las variables.

A continuación se presenta, iniciando con las variables hidrológicas, un resumen de los resultados obtenidos para la respuesta de cada variable dependiente, en el que se observa el efecto de cada variable independiente así como el de las diferentes interacciones de éstas. En todos los casos de las pruebas de Tukey (HSD), los promedios con la misma letra no son significativamente diferentes.

IV.4.1.- Variable dependiente: Temperatura

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Valor de F	Pr > F
Modelo completo	186	65674.43027	395.62910	9030.50	< .0001
R ²		Coef. Var	Raíz MSE		Tem. Promedio
0.997277		0.807074	0.209309		25.93431

Tabla 49.- Resultado del análisis de varianza de la temperatura para los factores y sus interacciones

Factores	DF	Tipo I SS	MS	Fv	Pr>F
S	4	343.619	85.90497	1960.84	<.0001
M	12	64736.478	5394.70656	123138	<.0001
pm	2	209.097	104.54856	2386.39	<.0001
S*M	40	99.824	2.49561	56.96	<.0001
S*pm	8	4.227	0.52845	12.06	<.0001
M*pm	20	244.874	12.24374	279.47	<.0001
S*M*pm	80	36.307	0.45385	10.36	<.0001

Tabla 50.- Prueba de Tukey (HSD) para la Temperatura en función del sitio

Grupos de Tukey	Promedios	Sitio
A	26.34	ALMAD
B	25.97	ESTRC1
B	25.96	JAULA
C	25.83	ESTRC2
D	25.45	ESTAC2

Tabla 51.- Prueba de Tukey (HSD) para la Temperatura en función del mes

Grupos de Tukey	Promedios	Mes
A	29.94	11
B A	29.83	10
B C	29.44	8
D C	29.14	12
D	28.83	7
E	24.53	6
F	23.77	3
G	21.99	2
H	20.44	5
I H	20.16	1
I	20.03	13

Tabla 52.- Prueba de Tukey (HSD) para la Temperatura en función de la profundidad

Grupos de Tukey	Promedios	pm
A	26.210	1
A	26.205	2
B	25.263	3

IV.4.2.- Variable dependiente: Salinidad

Fuente	DF	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	Valor de F	Pr > F
Modelo completo	164	3645.922462	22.231235	2647.05	<.0001
R ²	Coef Var	Raíz MSE	Sali. Promedio		
0.990660	0.243424	0.091643	37.64764		

Tabla 53.- Resultado del análisis de varianza de la temperatura para los factores y sus interacciones

Factores	DF	tipo I SS	MS	FV	Pr>F
S	4	101.563	25.391	3023.250	<.0001
M	10	2981.061	298.106	35495.200	<.0001
pm	2	5.345	2.672	318.190	<.0001
S*M	40	541.515	13.538	1611.940	<.0001
S*pm	8	0.723	0.090	10.770	<.0001
M*pm	20	10.561	0.528	62.870	<.0001
S*M*pm	80	5.155	0.064	7.670	<.0001

Tabla 54 - Prueba de Tukey (HSD) para la Salinidad en función del sitio

Grupos de Tukey	Promedios	Sitio
A	37.895	ALMAD
B	37.699	ESTRC2
C	37.598	ESTAC2
D	37.553	JAULA
E	37.460	ESTRC1

Tabla 55.- Prueba de Tukey (HSD) para la Salinidad en función del mes

Grupos de Tukey	Promedios	Mes
A	38.823	7
B	38.755	8
C	37.908	3
D	37.665	2
E	37.618	1
F	37.181	6
G	36.919	12
H	36.893	11
I	36.624	5
J	36.519	13
K	36.314	10

Tabla 56.- Prueba de Tukey (HSD) para la Salinidad en función de la profundidad

Grupos de Tukey	Promedios	pm
A	37.714	2
B	37.635	1
C	37.583	3

IV.4.3.- Variable dependiente: Turbidez

Fuente	DF	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	Valor de F	Pr > F
Modelo completo	164	45722.3177	278.7946	11.52	<.0001
R ²		Coeff Var	Raíz de MSE		Turb. Promedio
0.315899		578.3224	4.918456		0.850470

Tabla 57.- Resultado del análisis de varianza de la turbidez para los factores y sus interacciones

Factores	DF	Tipo I SS	MS	FV	Pr>F
S	4	1572.98519	393.2463	16.26	<.0001
M	10	12180.10945	1218.0109	50.35	<.0001
pm	2	4682.20191	2341.1009	96.77	<.0001
S*M	40	7767.61497	194.1903	8.03	<.0001
S*pm	8	1834.52703	229.3158	9.48	<.0001
M*pm	20	8451.04431	422.5522	17.47	<.0001
S*M*pm	80	9233.83488	115.4229	4.77	<.0001

Tabla 58.- Prueba de Tukey (HSD) para la Turbidez en función del sitio

Grupos de Tukey	Promedios	Sitio
A	1.747	ESTR2
A	1.374	ALMAD
B	0.466	ESTR1
B	0.399	ESTAC2
B	0.192	JAULA

Tabla 59.- Prueba de Tukey (HSD) para la Turbidez en función del mes

Grupos de Tukey	Promedios	Mes
A	5.635	10
B	2.109	11
B	1.736	8
B	1.561	5
B	1.497	7
B	1.207	6
B	0.890	12
C	-0.737	13
C	-0.745	1
C	-0.766	2
C	-0.791	3

Tabla 60.- Prueba de Tukey (HSD) para la Turbidez en función de la profundidad

Grupos de Tukey	Promedios	pm
A	2.365	3
B	0.435	2
B	0.036	1

IV.4.4.- Variable dependiente: pH

Fuente	DF	Suma de Cuadrados	Promedio de Cuadrados	Valor de F	Pr > F
Modelo	164	1950.0982	11.890843	18890.1	<.0001
R ²		Coeff Var	Raíz MSE	pH Promedio	
0.998681		0.326379	0.025089	7.687184	

Tabla 61. - Resultado del análisis de varianza del pH para los factores y sus interacciones

Factores	DF	Tipo I SS	MS	FV	Pr>F
S	4	62.4477	15.6119	24801.50	<.0001
M	10	1878.1366	187.8137	298366.00	<.0001
pm	2	2.5294	1.2647	2009.11	<.0001
S*M	40	2.9546	0.0739	117.34	<.0001
S*pm	8	0.0664	0.0083	13.19	<.0001
M*pm	20	3.6111	0.1806	286.84	<.0001
S*M*pm	80	0.3525	0.0044	7.00	<.0001

Tabla 62. - Prueba de Tukey (HSD) para el pH en función del sitio

Grupos de Tukey	Promedios	Sitio
A	7.860	ALMAD
B	7.724	ESTRC2
C	7.704	ESTAC2
D	7.628	ESTRC1
E	7.503	JAULA

Tabla 63. - Prueba de Tukey (HSD) para el pH en función del mes

Grupos de Tukey	Promedios	Mes
A	8.46	7
B	8.35	6
C	8.32	8
D	8.20	5
E	7.97	2
F	7.95	1
G	7.74	3
H	7.30	11
I	7.29	10
J	6.94	13
K	6.27	12

Tabla 64.- Prueba de Tukey (HSD) para el pH en función de la profundidad

Grupos de Tukey	Promedios	pm
A	7.723	2
B	7.673	1
C	7.661	3

IV.4.5.- Variable dependiente: Potencial de Óxido Reducción (ORP)

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	Valor de F	Pr > F
Modelo completo	166	14012236.43	84411.06	10530.0	<.0001
R ²	Coef var	Raíz de MSE	ORP Promedio		
0.997664	1.643808	2.831293	172.2399		

Tabla 65.- Resultado del análisis de varianza del ORP para los factores y sus interacciones

Factores	DF	Tipo I SS	MS	FV	Pr>F
S	4	221263.64	55315.91	6900.50	<.0001
M	12	13319002.58	1109916.88	138459.00	<.0001
pm	2	1361.68	680.84	84.93	<.0001
S*M	40	434715.23	10867.88	1355.74	<.0001
S*pm	8	2627.49	328.44	40.97	<.0001
M*pm	20	10476.27	523.81	65.34	<.0001
S*M*pm	80	22789.53	284.87	35.54	<.0001

Tabla 66.- Prueba de Tukey (HSD) para el ORP en función del sitio

Grupos de Tukey	Promedios	Sitio
A	179.91	ESTAC2
B	177.57	ESTRC1
C	175.99	ESTRC2
D	169.98	JAULA
E	160.35	ALMAD

Tabla 67 - Prueba de Tukey (HSD) para el ORP en función del mes

Grupos de Tukey	Promedios	Mes
A	287.09	3
B	227.61	7
C	182.84	1
C	179.78	5
D	172.38	6
E	156.42	10
E	155.35	12
E	153.39	11
F	139.62	2
F	135.94	13
G	116.68	8

Tabla 68 - Prueba de Tukey (HSD) para el ORP en función de la profundidad

Grupos de Tukey	Promedio pm	pm
A	179.46	3
B	171.55	2
C	167.09	1

IV.4.6.- Variable dependiente: Oxígeno disuelto

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	Valor de F	Pr > F
Modelo completo	166	11625.84655	70.03522	457.30	<.0001
R ²		Coeff var	Raíz de MSE	OxDis. Promedio	
0.948841		4.109992	0.391341	9.521697	

Tabla 69.- Resultado del análisis de varianza del Oxígeno disuelto para los factores y sus interacciones

Factores	DF	Tipo I SS	MS	FV	Pr>F
S	4	487.0094	121.7524	795	<.0001
M	12	9400.5639	783.3803	5115.19	<.0001
pm	2	336.4954	168.2477	1098.6	<.0001
S*M	40	939.0506	23.4763	153.29	<.0001
S*pm	8	24.3889	3.0486	19.91	<.0001
M*pm	20	268.3734	13.4187	87.62	<.0001
S*M*pm	80	169.9649	2.1246	13.87	<.0001

Tabla 70.- Prueba de Tukey (HSD) para el Oxígeno disuelto en función del sitio

Grupos de Tukey	Promedios	Sitio
A	9.967	ESTAC2
B	9.716	ESTRC2
B	9.694	JAULA
C	9.365	ESTRC1
D	9.002	ALMAD

Tabla 71.- Prueba de Tukey (HSD) para el Oxígeno disuelto en función del mes

Grupos de Tukey	Promedios	Mes
A	11.875	2
A	11.356	1
A	11.182	13
B	10.262	12
B	9.993	6
B	9.988	3
D	8.561	7
D E	8.037	11
D E	7.919	10
D E	7.876	5
E	7.754	8

Tabla 72.- Prueba de Tukey (HSD) para el Oxígeno disuelto en función de la profundidad

Grupos de Tukey	Promedios	pm
A	9.894	1
B	9.413	2
C	9.193	3

De acuerdo con los resultados anteriores, todas las variables dependientes presentaron diferencias significativas en función de los sitios, de los meses y de los estratos de profundidad; además, presentaron también diferencias en función de las interacciones Sitio – Mes, Sitio – estrato de profundidad, Mes – estrato de profundidad y Sitio – Mes – Estrato de profundidad. Los valores de R^2 fueron superiores a 0.94 en todas las variables analizadas, con excepción de la turbidez donde el valor encontrado fue $R^2=0.3158$.

Los resultados relevantes de la aplicación de la prueba de Tukey (HSD) son:

- Temperatura.- Las diferencias entre sitios fueron menores a 1° C; entre estratos de profundidad fueron aún menores, mientras que entre meses estas superaron los 9° C.
- Salinidad.- Las diferencias en función del sitio y el estrato de profundidad fueron pequeñas, aún cuando en términos estadísticos los componentes de cada factor son diferentes entre sí.
- Turbidez.- En el caso de los sitios se observaron dos grupos uno formado por las estaciones ALMADRABA y ESTRC 2, separados 1,500 m entre sí, y el otro que incluye al resto de las estaciones de muestreo; los valores más altos se registraron en la estación ALMADRABA. El estrato de profundidad más cercano al fondo fue el único diferente registrando los valores más altos de turbidez. En cuanto a los meses se observaron tres grupos con diferencias significativas, con los valores más altos entre mayo y agosto.
- pH.- igual que en la temperatura y la salinidad, solo se observaron variaciones importantes en los promedios calculados para los meses, aún cuando en términos estadísticos los componentes de los factores si son significativamente diferentes.
- ORP.- Destaca el sitio ALMADRABA por registrar los valores más bajos, mientras que los más altos los registró el sitio ESTRUC 1 que es el más cercano al sitio JAULA. Destaca también que el estrato superficial registró los valores más bajos,

en contraste con el estrato del fondo. Los meses registraron la mayor variabilidad.

Oxígeno disuelto.-Las variaciones entre sitios y estratos de profundidad fueron pequeñas, no obstante, las pruebas estadísticas mostraron diferencias significativas. Por su parte los meses mostraron tres grupos significativamente diferentes, entre los promedios máximo y mínimo la diferencia fue de más de 4 mg/l.

Como parte de éste análisis se determinó el coeficiente de correlación entre las variables de interés, así como el nivel de significancia de éste coeficiente; en la tabla 73 se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 73.- Coeficientes de correlación y su nivel de significancia para las variables hidrológicas de interés.

	Tem	Tur	ORP	pH	OxDis	Sal
Tem		0.21693 < .0001	-0.25915 < .0001	-0.04174 0.0064	-0.67113 < .0001	0.24115 < .0001
Tur	0.21693 < .0001		-0.08592 < .0001	0.0004 0.9793	-0.22224 < .0001	-0.00036 0.9811
ORP	-0.25915 < .0001	-0.08592 < .0001		0.04317 0.0048	0.15837 < .0001	0.04902 0.0014
pH	-0.04174 0.0064	0.0004 0.9793	0.04317 0.0048		-0.26831 < .0001	0.69813 < .0001
OxDis	-0.67113 < .0001	-0.22224 < .0001	0.15837 < .0001	-0.26831 < .0001		-0.26669 < .0001
Sal	0.24115 < .0001	-0.00036 0.9811	0.04902 0.0014	0.69813 < .0001	-0.26669 < .0001	

De acuerdo con la tabla anterior, aún cuando en lo general todas las variables tienen algún nivel de correlación y prácticamente todos estos son estadísticamente significativos (en color rojo), solo se observaron dos correlaciones importantes; entre oxígeno y temperatura y ente salinidad y pH (color azul), lo que se aprecia con mayor claridad en la figura 75

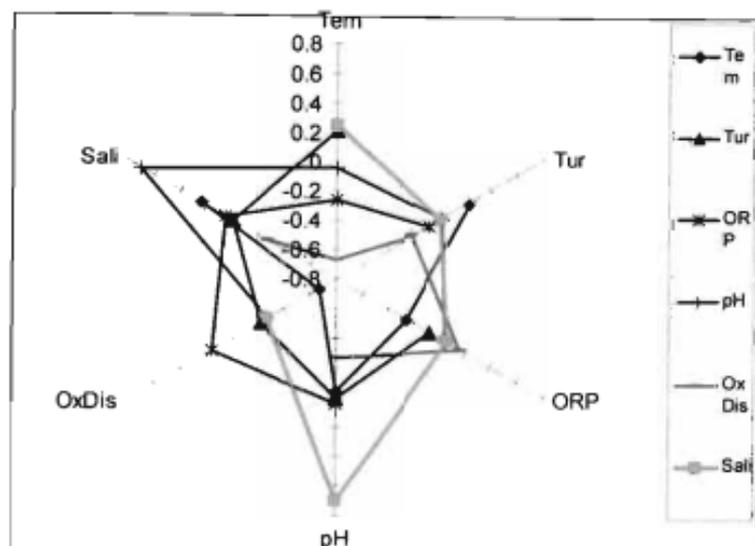


Figura 75.- Coeficientes de correlación para las variables hidrológicas de interés

En el caso los sedimentos, para las variables dependientes, concentración porcentual de carbonatos y de carbono orgánico, se realizaron análisis similares cuyo resumen de resultados se presentan a continuación.

IV.4.7.- Variable dependiente: Carbonatos

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	Valor de F	Pr > F
Modelo completo	78	177.5867065	2.2767526	16.55	<.0001
R ²		Coeff Var	Raíz MSE	Carbonatos Promedio	
0.873456		11.54114	0.370924	3.213929	

Tabla 74.- Resultado del análisis de varianza de la concentración porcentual de Carbonatos para los factores y sus interacciones

Factores	DF	Tipo I SS	MS	FV	P<
S	4	7.2435897	1.8108974	13.16	<.0001
M	7	116.2107269	16.6015324	120.66	<.0001
S*M	28	41.0846192	1.4673078	10.66	<.0001
pm	1	0.0948073	0.0948073	0.69	0.4075
S*pm	4	1.9020536	0.4755134	3.46	0.0094
M*pm	7	1.1159905	0.1594272	1.16	0.3286
S*M*pm	27	9.9349195	0.36796	2.67	<.0001

Tabla 75.- Prueba de Tukey (HSD) para la concentración porcentual de Carbonatos en función del sitio

Grupos de Tukey	Promedios	Sitio
A	3.452	ESTRUC1
B A	3.293	ESTAC2
B	3.215	ESTRUC2
B	3.154	JAULA
C	2.954	ALMADR

Tabla 76.- Prueba de Tukey (HSD) para la concentración porcentual de Carbonatos en función del mes

Grupos de Tukey	Promedios	Mes
A	4.974	5
B	3.726	6
C	3.222	11
D C	3.034	13
D	2.935	8
D	2.898	10
D E	2.822	7
E	2.579	12

Tabla 77.- Prueba de Tukey (HSD) para la concentración porcentual de Carbonatos en función de la profundidad

Grupos de Tukey	Promedios	pms
A	3.27443	1
B	3.12541	2

IV.4.8.- Variable dependiente: Carbono Orgánico

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Promedio de valor de F	Pr > F	
Modelo completo	78	6.13212747	0.07861702	8.39	<.0001
R ²		Coeff Var	Raíz MSE	CO Promedio	
0.777683		9.669778	0.096821	1.001276	

Tabla 78.- Resultado del análisis de varianza de la concentración porcentual de CO para los factores y sus interacciones

Fuente	DF	Tipo I SS	MS	FV	Pr>F
S	4	0.10656716	0.02664179	2.84	0.0255
M	7	4.08634479	0.58376354	62.27	<.0001
S*M	28	1.52494934	0.05446248	5.81	<.0001
pm	1	0.00193103	0.00193103	0.21	0.6505
S*pm	4	0.01142214	0.00285553	0.3	0.8746
M*pm	7	0.13971173	0.01995882	2.13	0.0425
S*M*pm	27	0.26120128	0.00967412	1.03	0.4262

Tabla 79.- Prueba de Tukey (HSD) para la concentración porcentual de CO en función del sitio

Grupos de Tukey	Promedios	Sitio
A	1.034	ESTRUC2
A	1.017	ESTAC2
A	0.986	ALMADR
A	0.986	JAULA
A	0.985	ESTRUC1

Tabla 80.- Prueba de Tukey (HSD) para la concentración porcentual de CO en función del mes

Grupos de Tukey	Promedios	Mes
A	1.111	12
A	1.100	8
A	1.072	10
A	1.068	7
A	1.059	13
B	0.956	11
C	0.834	6
D	0.728	5

Tabla 81.- Prueba de Tukey (HSD) para la concentración porcentual de CO en función de la profundidad

Grupos de Tukey	Promedio	pms
A	1.01434	2
A	0.99235	1

De acuerdo con los resultados anteriores, el análisis de varianza de la concentración porcentual de Carbonatos, el estrato de profundidad y la interacción Mes – estrato de profundidad no generaron diferencias significativas lo que se dio en el resto de los factores e interacciones. Al aplicar la prueba de Tukey (HSD) se encontraron algunas diferencias entre sitios y entre estratos de profundidad, aunque los promedios calculados por la prueba mostraron que estas diferencias son pequeñas, si bien son mayores en el caso de los meses.

En cuanto al CO, de acuerdo con el análisis de varianza fue menor el número de casos en los que se encontró diferencia significativa, mientras que el resultado de la prueba de Tukey mostró que no existe diferencia significativa para sitios ni para estratos de profundidad; aún en el efecto de los meses solo en tres eventos se encontraron diferencias; la diferencia entre el promedio máximo y el mínimo fue de solo 0.38. La estimación del coeficiente de correlación arrojó los resultados que se presentan en la tabla 82:

Tabla 82.- Coeficiente de correlación y su nivel de significancia para las variables de interés

	CO	Carbonatos
CO	1	-0.56668 < 0001
Carbonatos	-0.56668 <.0001	1

Con la información antes presentada se estimó el coeficiente de correlación entre todas las variables de interés, hidrológicas y de los sedimentos, con los resultados que se describen en la tabla 83.

Tabla 83.- Coeficientes de correlación y su nivel de significancia para las variables de interés hidrológicas y de sedimentos.

	Temp	Turb	ORP	pH	Ox. da	Salin	CO	Carbonatos
Temp		0.3658 0.0203	-0.00093 0.9954	-0.0962 0.5548	-0.38754 0.0135	0.3266 0.0397	0.49025 0.0013	-0.55506 0.0002
Turb	0.3658 0.0203		0.11468 0.481	0.05628 0.7301	-0.47774 0.0018	0.06075 0.7096	-0.00096 0.9953	-0.03772 0.8172
ORP	-0.00093 0.9954	0.11468 0.481		0.41006 0.0086	-0.15449 0.3412	0.22346 0.1657	-0.23608 0.1425	0.19488 0.2282
pH	-0.0962 0.5548	0.05628 0.7301	0.41006 0.0086		-0.4845 0.0015	0.51785 0.0006	-0.37506 0.0171	0.39143 0.0125
Oxida	-0.38754 0.0135	-0.47774 0.0018	-0.15449 0.3412	-0.4845 0.0015		-0.20742 0.1991	0.16854 0.2985	-0.21879 0.175
Salin	0.3266 0.0397	0.06075 0.7096	0.22346 0.1657	0.51785 0.0006	-0.20742 0.1991		0.22053 0.1715	-0.21987 0.1728
CO	0.49025 0.0013	-0.00096 0.9953	-0.23608 0.1425	-0.37506 0.0171	0.16854 0.2985	0.22053 0.1715		-0.75849 <.0001
Carbonatos	-0.55506 0.0002	-0.03772 0.8172	0.19488 0.2282	0.39143 0.0125	-0.21879 0.175	-0.21987 0.1728	-0.75849 <.0001	

De acuerdo con la tabla 83 y figura 76 siguientes, las variables en las que se obtuvieron los mayores valores de los coeficientes estimados (mayores de 0.35, marcados en azul en la tabla) son:

Temperatura – Turbidez – Oxígeno disuelto – CO – Carbonatos
 Turbidez – Oxígeno disuelto
 ORP – pH
 pH – Oxígeno disuelto – Salinidad – CO – Carbonatos
 CO – Carbonatos

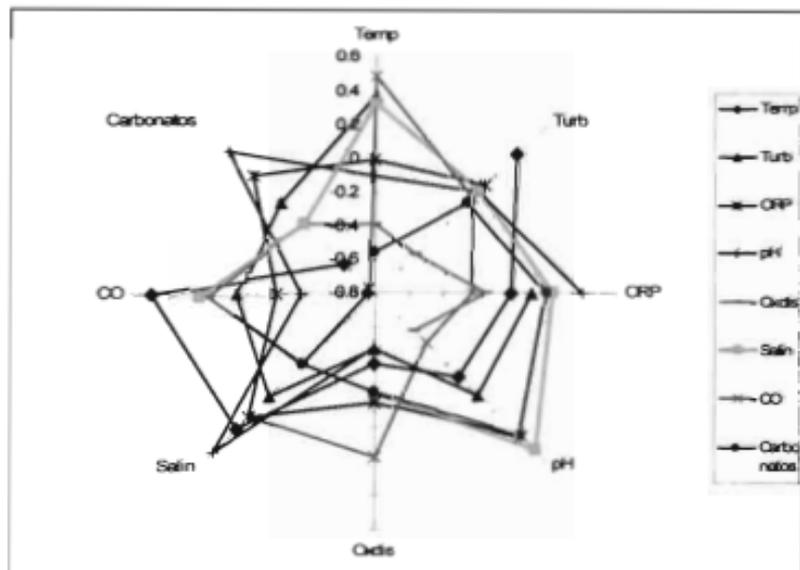


Figura 76.- Coeficientes de correlación para las variables de interés hidrológicas y de sedimentos

Los coeficientes de correlación de las variables hidrológicas tuvieron valores más bajos que los obtenidos cuando se estimaron independientemente de las variables del sedimento.

IV.4.9.- Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA por sus siglas en inglés)

Los resultados obtenidos para el modelo completo al aplicar el análisis multivariado de varianza se presentan en la tabla 84.

Tabla 84.- Resultados en el modelo completo al utilizar la matriz de identidad

Prueba	Valor	Aprox. F	NumDF	DenDF	Prob>F
Wilks' Lambda	2.1899e-7	4133.1242	84	23639	0.0000
Pillai's Trace	4.0601711	634.6446	84	25470	0.0000
Hotelling-Lawley	443.93827	22399.504	84	25430	0.0000
Roy's Max Root	315.66158	95713.099	14	4245	0.0000

Lo anterior indica que el modelo propuesto establece que los cambios de los parámetros físico químicos en función del sitio y del mes, son estadísticamente significativos. En lo que se refiere al efecto del sitio, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 85.

Tabla 85.- Resultados de la utilización de la matriz de identidad para conocer el efecto del sitio

Prueba	Valor	Aprox. F	NumDF	DenDF	Prob>F
Wilks' Lambda	0.7279687	58.7277	24	14793	<.0001
Pillai's Trace	0.2960512	56.5228	24	16972	<.0001
Hotelling-Lawley	0.3412321	60.2630	24	16954	<.0001
Roy's Max Root	0.1806667	127.7615	6	4243	<.0001

Estos resultados también indicaron que los parámetros físico químicos cambian significativamente en función del sitio. Por lo que hace al efecto del mes los resultados obtenidos se presentan en la tabla 86:

Tabla 86.- Resultados de la utilización de la matriz de identidad para conocer el efecto del mes

Prueba	Valor	Aprox. F	NumDF	DenDF	Prob>F
Wilks' Lambda	2.4618e-7	6389.9597	60	22220	0.0000
Pillai's Trace	4.0164039	859.5315	60	25470	0.0000
Hotelling-Lawley	434.09997	30664.330	60	25430	0.0000
Roy's Max Root	308.36504	130900.96	10	4245	0.0000

De la misma manera, estos resultados indicaron que los parámetros físico químicos cambian significativamente en función del mes. Para estudiar de manera más detallada los efectos del sitio y el mes, se procedió a calcular los coeficientes de correlación canónica y se generaron las gráficas de coeficientes; para el efecto del sitio se obtuvo el resultado que se observa en la figura 77:

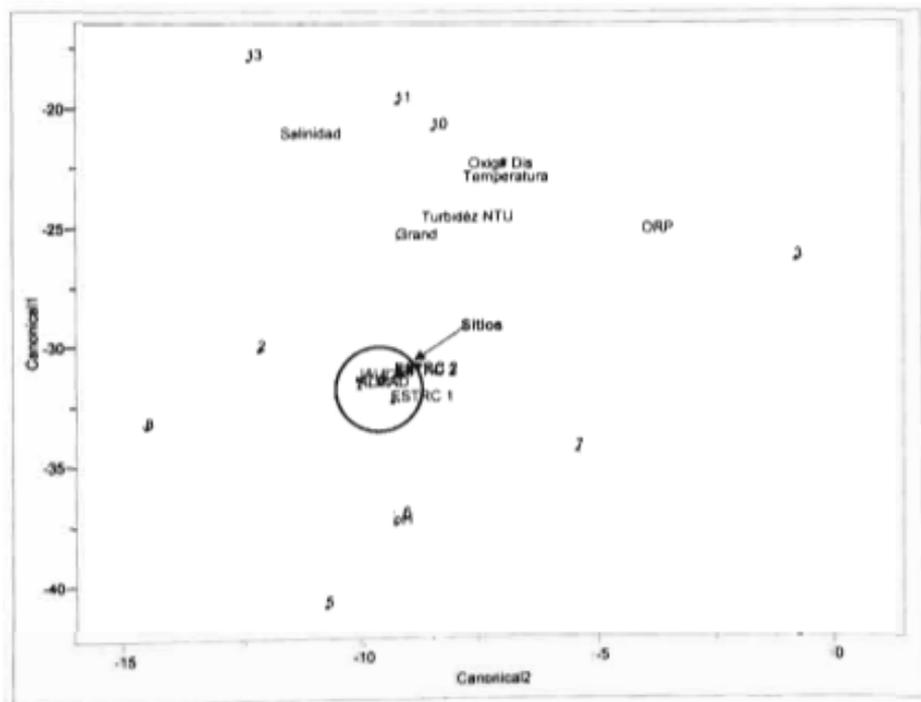


Figura 77.- Coeficientes de correlación canónica calculados para conocer el efecto del sitio

Los resultados presentados en la figura 77 indicaron la existencia de variaciones entre sitios aún cuando son pequeñas, particularmente existen ligeros cambios en el pH donde se observaron valores ligeramente mayores en el sitio

ESTRUCTURA 1, mientras que en el Potencial de Oxido Reducción (ORP) los valores fueron ligeramente menores en los sitios JAULA y ALMADRABA. De acuerdo con los resultados del mismo análisis las variaciones entre los promedios de los parámetros por sitio fueron pequeñas, como se puede observar en la tabla 87.

Tabla 87.- Promedio de los indicadores hidrológicos por sitio calculados mediante el modelo de análisis de varianza multivariado (MANOVA)

Sitio	Temperatura	Turbidez NTU	ORP	pH	Oxg. Dis	Salinidad
ALMAD	20.0788301	-0.3667105	179.471580	7.95108774	11.1647061	37.6532636
ESTAC 2	20.1995275	-1.0668341	184.626204	7.95680709	11.6427294	37.6192005
ESTRC 1	20.1062868	-1.0395163	185.985827	7.96274817	11.0842164	37.4478887
ESTRC 2	20.2274643	0.1555510	185.954989	7.95126496	11.5433837	37.6850693
JAULA	20.2002725	-1.4056845	178.155845	7.95045315	11.3441290	37.7052724

En relación con el efecto del mes, los coeficientes calculados se presentan en la figura 78.

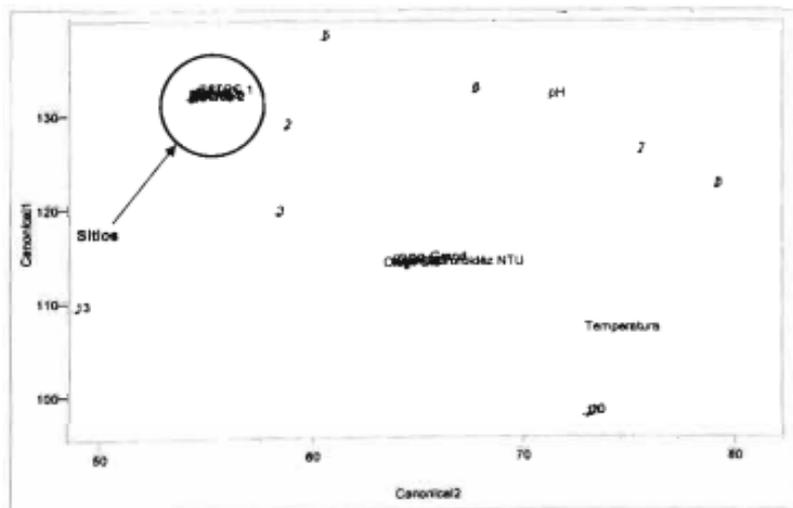


Figura 78.- Coeficientes de correlación canónica calculados para conocer el efecto del mes

De acuerdo con la figura 78, las variables de la calidad del agua registraron grandes diferencias entre los meses, en contraste con lo observado para los sitios. Éstos resultados, que son consistentes con el análisis de varianza de una sola vía y el multifactorial, sugieren que las diferencias entre sitios reflejan variaciones naturales; esto es, en la naturaleza no existen dos sitios exactamente iguales, pero principalmente son un efecto de las variaciones que ocurren con la temporalidad, más que indicar el efecto de algún sitio de muestreo sobre las características de la calidad del agua en el resto, en el área de estudio.

Con el mismo criterio se realizó el análisis multivariado de varianza para las concentraciones porcentuales encontradas de CO y Carbonatos. Los resultados obtenidos para el modelo completo se presentan en la tabla 88

Tabla 88.- Resultados del modelo completo al utilizar la matriz de identidad

Prueba	Valor	Aprox. F	NumDF	DenDF	Prob>F
Wilks' Lambda	0.2666868	21.5376	22	506	<.0001
Pillai's Trace	0.8212391	16.0874	22	508	<.0001
Hotelling-Lawley	2.4200205	27.7202	22	504	<.0001
Roy's Max Root	2.2751055	52.5343	11	254	<.0001

Lo presentado en la **tabla 88** indica que el modelo propuesto establece que los cambios en la concentración porcentual de CO y Carbonatos en función del sitio y del mes, son estadísticamente significativos. Por lo que hace al efecto del sitio, los resultados se presentan en la tabla 89

Tabla 89.- Resultados del modelo completo al utilizar la matriz de identidad para conocer el efecto del sitio

Prueba	Valor	Aprox. F	NumDF	DenDF	Prob>F
Wilks' Lambda	0.8886707	3.8450	8	506	0.0002
Pillai's Trace	0.113106	3.8054	8	508	0.0002
Hotelling-Lawley	0.1232771	3.8832	8	504	0.0002
Roy's Max Root	0.1040663	6.6082	4	254	<.0001

Los resultados de la tabla 89 confirman que las concentraciones de CO y Carbonatos cambian de manera significativa en función del sitio. Situación similar

se da en los resultados obtenidos para el efecto del mes, que se presentan en la tabla 90

Tabla 90.- Resultados del modelo completo al utilizar la matriz de identidad para conocer el efecto del mes

Prueba	Valor	Aprox F	NumDF	DenOF	Prob>F
Wilks' Lambda	0.2888915	31.1014	14	506	<.0001
Pillai's Trace	0.7587146	22.1790	14	506	<.0001
Hotelling-Lawley	2.2967183	41.3409	14	504	<.0001
Roy's Max Root	2.222575	80.6477	7	254	<.0001

Igual que para las variables fisicoquimicas del agua, con el fin de conocer de manera detallada los efectos del sitio y el mes, se procedió a calcular los coeficientes de correlación canónica y se generaron las gráficas de coeficientes para las concentraciones

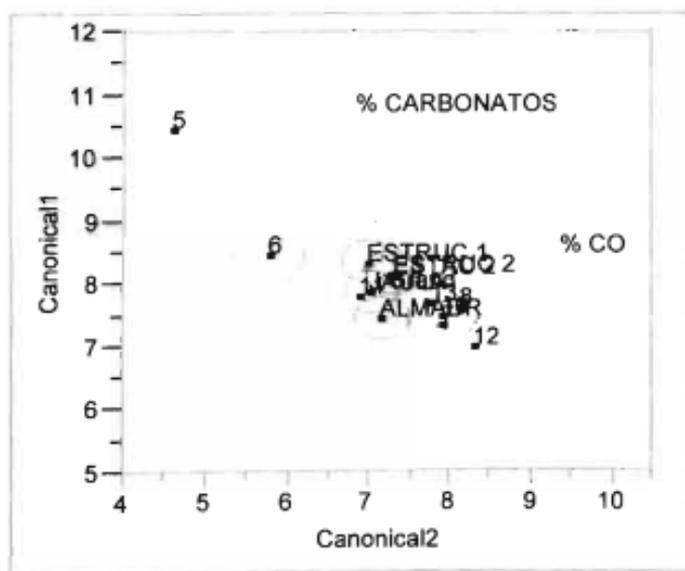


Figura 79.- Coeficientes de correlación canónica calculados para conocer el efecto del sitio

Para el efecto del sitio se obtuvo el resultado que se observa en la figura 79, que indica que hubo variaciones entre sitios aún cuando éstas son pequeñas; particularmente en el sitio JAULA donde se observaron valores ligeramente menores de CO y el sitio ALMADRABA con valores menores, de concentración de Carbonatos.

En contraste con lo anterior, como se observa en la figura 80, las concentraciones de CO y de Carbonatos registraron importantes variaciones entre los diferentes meses. Los resultados del mismo análisis que se presentan en la tabla 91, indicaron que las diferencias entre los promedios por sitio fueron pequeñas.

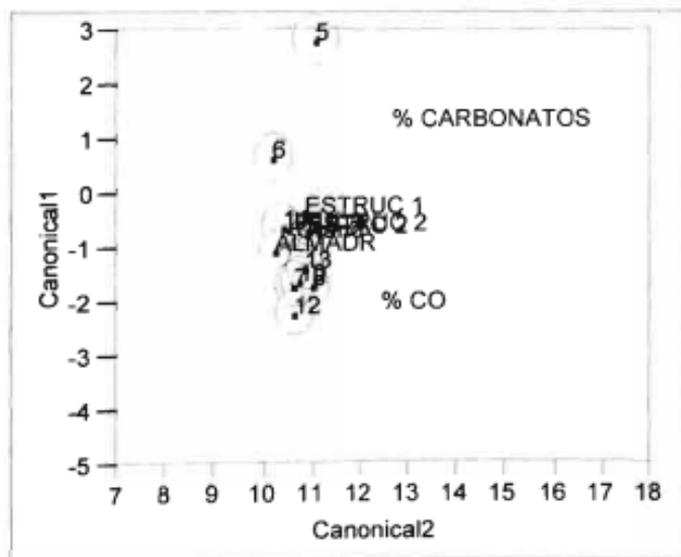


Figura 80.- Coeficientes de correlación canónica calculados para conocer el efecto del sitio

Tabla 91 - Promedios de las concentraciones porcentuales de CO y Carbonatos por sitio calculados mediante el modelo de análisis de varianza multivariado.

Sito	% CO	% CARBONATOS
ALMADR	0.98286028	2.97826036
ESTAC 2	1.01225086	3.32372931
ESTRUC 1	0.97746058	3.49201718
ESTRUC 2	1.01163118	3.35256143
JAULA	0.97282831	3.22732114

Estos resultados, en coincidencia con los del análisis de las variables hidrológicas, fueron consistentes con el análisis de varianza de una vía y el multifactorial, lo que sugieren igualmente que las pequeñas diferencias estadísticas encontradas entre los sitios, reflejaron las variaciones naturales y de la temporalidad, más que indicar el efecto de algún sitio de muestreo sobre las características de los sedimentos aquí analizadas, en el resto de los sitios.

IV.5 Relación consumo de alimento y calidad del agua-sedimento

El desarrollo del cultivo de peces marinos en las costas del Pacífico Mexicano se ha venido consolidando a partir de 2002, con varios proyectos de cultivo de pargos (*Lutjanus sp*) en jaulas flotantes en el mar con resultados prometedores en los estados de Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco y Nayarit. En este escenario es de esperarse, que en la medida que crezca la actividad en alguna de las zonas potenciales de éste litoral, el riesgo de la sustentabilidad o sostenibilidad de las operaciones del cultivo en dicha zona específica, pudiera también incrementarse por la cantidad de desechos que eventualmente podrían aportar dichos sistemas de cultivo al ambiente marino. Estudios en sistemas de cultivo de jaulas con yellowtail en el mar en Japón (Kishi *et al.*, 1994) han reportado que los alimentos balanceados húmedos pueden generar alrededor del 10% de desechos y 20% en dietas frescas (pescado picado).

El enriquecimiento orgánico de los sedimentos de las granjas de cultivo de peces en jaulas en el mar llega a generar procesos anaeróbicos en ellos; varios estudios que muestran el efecto del alimento sobre el sedimento han reportado la presencia de condiciones anóxicas en éste medio en la zona de las granjas, con registros del potencial Redox tan bajos como -200 mV (Wu *et al.*, 1994; Pawar *et al.*, 2001), así como la producción de gases tóxicos como el metano y ácido sulfhídrico (H₂S), los cuales tienen efectos adversos para los organismos del bentos (Gowen y Bradbury, 1987; Tsutsumi *et al.*, 1991). Westrich *et al.* (1984) ha mostrado que el metabolismo del bentos puede estar relacionado directamente con la entrada de carbón al sedimento y con el contenido de oxígeno disuelto (Stumm y Morgan, 1970). Los registros tan negativos de -200 mV del Redox apoyan esta relación (Pawar *et al.*, 2002).

El flujo de materia orgánica al sedimento está determinado por la cantidad de desechos que produce la granja y las condiciones hidrográficas del área principalmente. La dispersión de las partículas de desecho del alimento en las jaulas flotantes del sistema de la Bahía de Chipehua, Oax., es una función de la velocidad de sedimentación, profundidad y velocidad de la corriente del sitio. Por lo que, en el marco de un análisis teórico apoyado con la información generada durante la investigación, estableciendo como condiciones iniciales de baja densidad en las jaulas un 20 % de utilización de la capacidad instalada, se asume que las condiciones hidrográficas determinan el flujo de materia orgánica al sedimento durante el proceso de investigación, tomando en cuenta que este no varía mucho entre las estaciones de muestreo en el área de estudio, lo cual explica las correlaciones observadas.

En el caso de la Bahía de Chipehua, Municipio de Tehuantepec, Oax., se suministró alimento balanceado al cultivo de pargos en jaulas flotantes consistente en Camaronina, con 35% de proteína, 8.5% de grasa máxima, 4% de fibra cruda, 30% de extracto libre de nitrógeno, 0.95% de fósforo, 1.3 % de calcio y 12% de humedad máxima.

El tamaño de los componentes del alimento balanceado utilizado en el cultivo de pargos en las jaulas flotantes estuvo en el intervalo de 2 a 2.5 mm los cuales se consideran "pellets" pequeños. Estos pellets pequeños pueden dispersarse sobre una gran área comparados con pellets grandes (3.2 mm), para los cuales Hevia *et al.* (1996) calcularon una velocidad de sedimentación de 14 cm/s, calculando además para las heces una velocidad de 4 cm/s. Las velocidades de dispersión de los pellets finos y los pequeños (2.5 mm en diámetro) como el utilizado en este trabajo es comparable al de las partículas de heces.

Lo anterior resalta la importancia de considerar el tamaño del pellet como uno de los factores cuando se determinan los niveles máximos permisibles de entrada de alimento balanceado en una granja en particular para mantener los estándares adecuados de calidad del sedimento; en este caso es pertinente hacer alusión, como referencia, a la estrategia diseñada para granjas de cultivo de peces en jaulas en el mar, de la "Japan Fisheries Resource Conservation Association" (Yokohama, 2000)

Según el análisis teórico señalado, la producción anual de pargos en este sistema de jaulas flotantes puede variar de 5 toneladas con una densidad de 10 kg/m³ a una capacidad instalada de operación de 20% hasta 50 ton con una densidad de 20 kg/m³ a una capacidad instalada de operación de 100%. La entrada de carbón orgánico al sistema en función del área de cultivo puede ser de 13.74 kg C/m² año hasta 34.8 kg C/m² año, bajo las condiciones de operación de la zona de estudio (Tabla 92).

Tabla 92. Entrada de CO anual al sistema de jaulas flotantes con una separación de 5 m por lado entre cada jaula

Densidad (kg/m ³)	% de Operación	FCA	Producción Anual (ton)	Alimento (ton)	Área bajo cultivo (m ²)	Contenido de Carbón Alimento (%)	Entrada de CO (kgC/m ² año)
10	20	1.8	5.0	9.0	225	43.5	17.40
10	40	1.8	10.0	18.0	525	43.5	14.91
10	60	1.8	15.0	27.0	825	43.5	14.24
10	80	1.8	20.0	36.0	1125	43.5	13.92
10	100	1.8	25.0	45.0	1425	43.5	13.74
15	20	1.8	7.5	13.5	225	43.5	26.10
15	40	1.8	15.0	27.0	525	43.5	22.37
15	60	1.8	22.5	40.5	825	43.5	21.35
15	80	1.8	30.0	54.0	1125	43.5	20.88
15	100	1.8	37.5	67.5	1425	43.5	20.61
20	20	1.8	10.0	18.0	225	43.5	34.80
20	40	1.8	20.0	36.0	525	43.5	29.83
20	60	1.8	30.0	54.0	825	43.5	28.47
20	80	1.8	40.0	72.0	1125	43.5	27.84
20	100	1.8	50.0	90.0	1425	43.5	27.47

Uno de los factores que puede ser controlado para disminuir el volumen relativo de los desechos de alimento balanceado al sedimento, es el área del sistema de cultivo. Esto puede lograrse mediante la disminución de la relación área total/área de cultivo modificando la separación longitudinal y transversal entre cada una de las jaulas. Cuando se aumenta la distancia longitudinal del espacio entre jaulas de 5 m a 10 m se encuentra que la entrada relativa de carbón orgánico al sedimento en función del área disminuye alrededor de un 25 a 30% y cuando se aumenta la distancia de 5 a 15 m se logra disminuir la entrada relativa de carbón orgánico al sedimento bajo el cultivo hasta en un 50%. En la Figura 81 se muestra que 10 m de separación entre jaulas pudiera ser mejor en términos relativos desde el punto de vista de la estructura y el impacto ambiental.

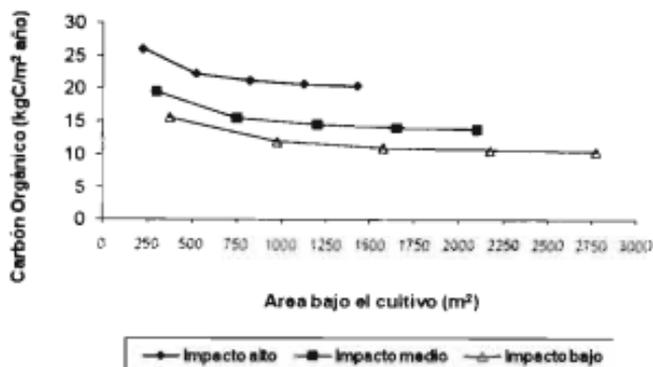


Figura 81. Entrada de carbono orgánico al sistema de jaulas flotantes en función del área total utilizada.

De Acuerdo a nuestro planteamiento teórico y separando detalladamente los valores de las variables dependientes de tipo hidrológico, para considerar solo aquellas que están en las jaulas y en la profundidad máxima, cercana al sedimento, la que más se relacionó con el carbono orgánico fue el ORP de una forma inversamente proporcional (Fig. 82).

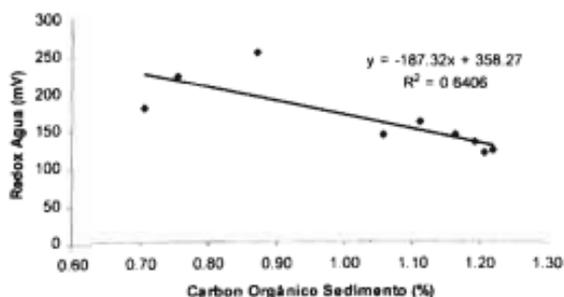


Figura 82. Relación entre el Carbono orgánico en el sedimento y el ORP en el agua en la profundidad máxima en el sistema de jaulas flotantes.

También se presentó una relación entre el oxígeno disuelto del agua y el Carbón orgánico del sedimento de una forma inversamente proporcional. Lo que está de acuerdo con los menores valores de ORP (Fig. 83).

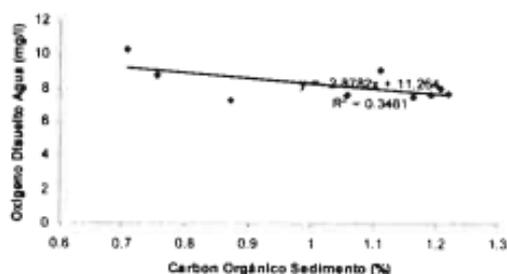


Figura 83. Relación entre el Carbón orgánico en el sedimento y el Oxígeno disuelto del agua en la profundidad máxima en el sistema de jaulas flotantes.

Los peces en las jaulas de cultivo incrementan su metabolismo en verano debido a la elevada temperatura ocasionando un aumento en el consumo de alimento balanceado. Esto aumenta la entrada de carbón orgánico al sedimento (Fig. 84).

El ORP está correlacionado con la temperatura (Fig. 85) y con la entrada de carbono orgánico al sistema por lo que podemos considerar al ORP como un indicador instantáneo de la calidad del sedimento. Lo que está de acuerdo con lo encontrado en similar situación por Pawar *et al.* (2001).

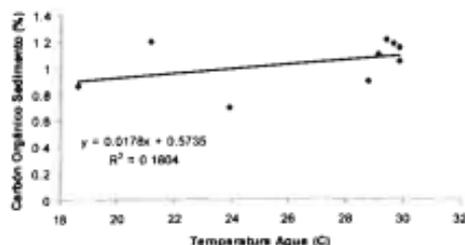


Figura 84. Relación entre el Carbón orgánico en el sedimento y la temperatura del agua en la profundidad máxima en el sistema de jaulas flotantes.

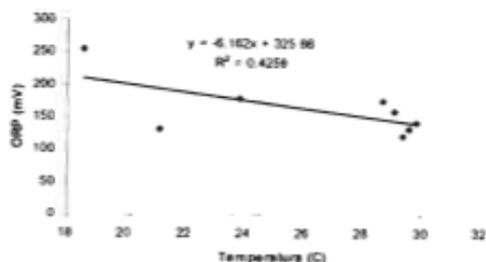


Figura 85. Relación entre el ORP y la temperatura del agua en la profundidad máxima en el sistema de jaulas flotantes.

IV.5.1.-Modelo para el manejo sostenible del cultivo en jaulas flotantes

De acuerdo con los resultados antes descritos, se puede establecer una relación entre variables físico-químicas del agua y la entrada de carbón orgánico al sedimento. De tal forma que se construyó un modelo generalizado de regresión múltiple para el manejo sostenible del cultivo de peces en jaulas en el mar, utilizando los datos del sedimento del área de las jaulas y los datos hidrológicos de la máxima profundidad determinada en el sistema de jaulas. Para el modelo se utilizó el ORP y la temperatura como variables independientes y la concentración de carbón orgánico en el sedimento como variable dependiente. En la corrida del modelo se encontraron los siguientes resultados (tablas 93 y 94; figura 86):

Tabla 93.- Regresión múltiple para el CO en función de la temperatura y el ORP

Resumen de la regresión para la variable dependiente CO

R= .91167703, R²= .83115501, R²Adjustado = .76361701

F(2,5)=12.306 p<.01171 Error Estándar de la Estima:

.00390

	BETA	Error Estándar de BETA	B	Error Estándar de B	t(5)	p-nivel
Intercepto			1.55707821	0.04242475	36.702117	2.8275E-07
Temperatura	0.76353464	0.1846671	0.07025193	0.016991	4.13465431	0.00904393
ORP	-0.57929051	0.1846671	-0.05293297	0.01687405	-3.1369447	0.0257549

Tabla 94 - Análisis de Varianza de la concentración de CO

Análisis de Varianza; DV: CO					
	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	F	p-nivel
Regresión	0.00037367	2	0.00018683	12.3064804	0.01171441
Residual	7.5909E-05	5	1.5182E-05		
Total	0.00044958				

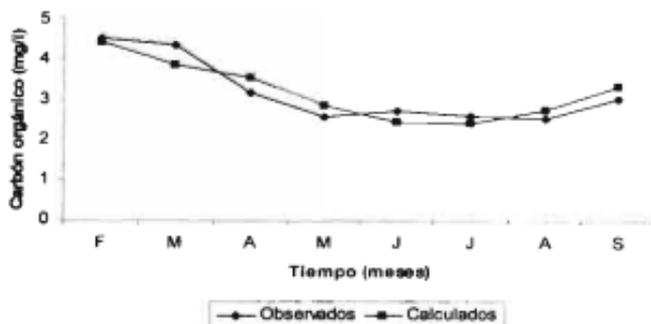


Figura 86 - Análisis de predicción utilizando la correlación entre temperatura, potencial de óxido reducción y el contenido de CO en el sedimento.

La ecuación del modelo es: $CO = 1.557 + 0.070 T + -0.053 ORP$, ($R^2 = 0.76$), donde CO es el contenido de Carbono Orgánico en el sedimento (%), T es la temperatura ($^{\circ}C$) y ORP el potencial de óxido reducción (mV). Los análisis estadísticos del modelo mostraron que es significativo a un nivel del $p < 0.01$, por lo que se considero que puede ser utilizado como un modelo predictivo del efecto del sistema de cultivo de jaulas flotantes sobre el sedimento. El modelo predice la mayor concentración de carbono orgánico en los meses de febrero y marzo, y las menores en junio y julio.

IV.6.- La sostenibilidad del cultivo de Lujanidos en jaulas flotantes

Como se ha comentado previamente el nivel de impacto ambiental ocasionado por una granja de cultivo de peces en jaulas en el mar depende de la cantidad de desechos generados por la granja, de acuerdo a la densidad de siembra, cantidad

y tipo de alimento, composición del alimento, tamaño del pellet y condiciones hidrográficas del área. Por lo que de acuerdo a la escala de la variable y su impacto se determinara el nivel de producción de peces que deberá ser sostenible en un área en particular. Mucho del alimento de peces es excretado como desechos y una porción del alimento no consumido se deposita en el fondo (Fig. 87). Los desechos pueden afectar a organismos sobre la superficie del fondo del mar como resultado de elevados niveles de materia orgánica y nutrientes en la columna de agua.

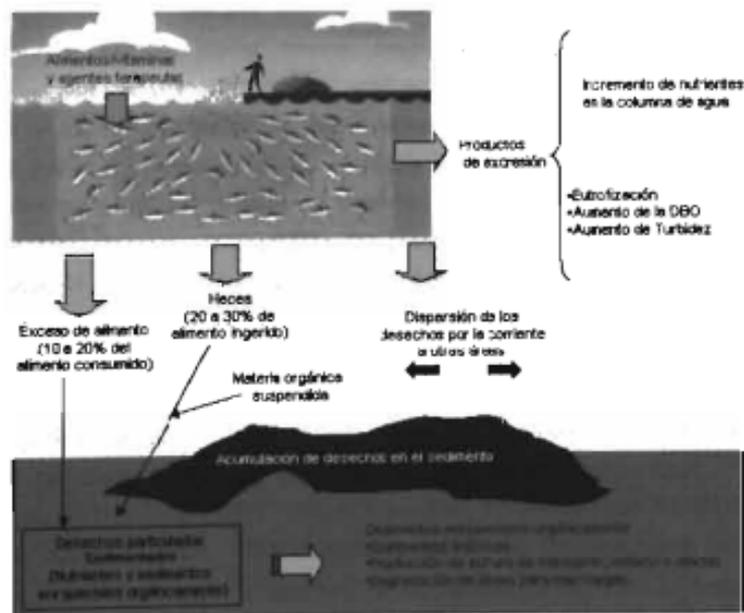


Figura.- 87 Los desechos y sus destinos en el sistema de cultivo de pargos en jaulas flotantes en el mar.

Los impactos ambientales de la maricultura cada día son más importantes a nivel mundial por la magnitud de la industria y sus efectos (ICES, 1996 y 1999^a). Esto ha llegado a nivel legislativo solo a partir de finales de los 90s en zonas

desarrolladas como la Comunidad Europea (Mastracchio, 1992, Munday, 1992., European Comisión, 1995). Sin embargo, el futuro de la sostenibilidad de la acuicultura, y el papel de los diferentes sectores de la producción de peces en el mar recibió poca atención hasta la década de los 90s (European Parliament, 1996^a, 1996b; Coffey, 2001). Fue hasta el año de 2002 cuando se considero a nivel gubernamental en la Comunidad Europea la "Estrategia para el desarrollo sostenible de la Acuicultura en Europa" (European Comission, 2002c)

Estudios llevados a cabo por Naylor *et al.* (2000) y Pauly *et al.* (2002) muestran que la expansión de granjas intensivas de peces en jaulas en el mar (especialmente salmón, lobina marina, brema marina y atún) puede ser incompatible con la sostenibilidad de pesquerías silvestres. Las experiencias obtenidas en Europa han puesto en evidencia los peligros de la sostenibilidad del cultivo de peces en jaulas en el mar a escala de una región y un continente, debido principalmente a los escapes masivos de peces de las jaulas, peces mejorados genéticamente, la dispersión de enfermedades infecciosas, infestación de parásitos, la aplicación de sustancias químicas tóxicas, la contaminación del lecho marino y la bio – acumulación de órgano – clorados, pesticidas tales como dioxinas y PCBs (Milewski, 2001; Staniford, 2002b).

Esto se ha determinado en lugares con una maricultura desarrollada como en el cultivo de salmones en Escocia (Scottish Wildlife and Countryside Link, 1992, 1993; Ross, 1997; WWF, 2000^a; Scottish Executive, 2002b; Scottish Parliament, 2002^a), en Irlanda (O'Brien, 1989; O'Sullivan, 1989;), en Noruega (Ervik *et al.*, 1997; Directorate for Nature Managemen, 1999), Canadá (Ellis, 1996; Milewski *et al.*, 1997), Chile (Claude M, 2000) y los Estados Unidos (Goldburg y Tripplett, 1997). También esta situación se ha determinado recientemente en la expansión del cultivo de atún, lobina marina y brema marina en el Mediterráneo (Studela, 2002; WWF, 2002^a).

Por lo tanto el desarrollo del cultivo de peces en jaulas en el mar en la última década ha llevado, de acuerdo a la experiencia de los países desarrollados en

maricultura, ha adoptado la idea entre los grupos ecologistas como WWF, de que el cultivo de peces en jaulas en el mar se han extendido como un cáncer alrededor del Litoral europeo. El Dr. Sergei Studela (2002) de la WWF señala que la acuicultura intensiva en Europa a escala industrial ha causado contaminación y destrucción del ambiente marino, conflictos con otros usuarios de los recursos, y niveles altos de toxinas producidas por los peces en las granjas de jaulas (Studela, 2002).

Las experiencias del desarrollo del cultivo de peces en jaulas en el mar en Europa son muy importantes para tomar en cuenta en el crecimiento de la maricultura de peces en jaulas en el Pacífico Mexicano, razón por la cual se describen las experiencias en Europa de especies que tienen hábitos alimentarios principalmente carnívoros como el de los pargos. El cultivo en Europa de peces en jaulas es dominado por salmones (Escocia e Irlanda). Noruega es el país de cultivo de salmones más grande en el mundo. Le siguen la lobina marina y la brema marina las cuales se cultivan en Grecia, Italia y España, estos países producen alrededor del 75 % de la producción europea. Otras especies como el rodaballo, atún, lenguado, halibut, bacalao, trucha marina y los abadejos se encuentran en varias etapas de desarrollo (FEAP, 2002).

En años recientes se ha iniciado el estudio científico de la problemática ambiental de la maricultura del Mediterráneo (Delgado *et al.*, 1999, Pergent *et al.*, 1999; Saroglia *et al.*, 2000, Tovar *et al.*, 2000;). Organismos internacionales como WWF, Greenpeace, y ANSE han expresado los problemas que pueden presentarse con la expansión de granjas de atún en el Mediterráneo (Studela, 2002; WWF, 2002^a; WWF, 2002^b). Lo que se ha señalado también en las "Estrategia para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura Europea":

Uno de los problemas que se pueden enfrentar en el cultivo de Pargos y otras especies en jaulas en el mar en el Pacífico Mexicano en la medida en que su desarrollo avance a mayor velocidad, es que no se tenga dominada la producción comercial de la cría para las granjas, como está pasando en Europa en el caso del cultivo de Atún aleta azul, en la cual la demanda de juveniles de origen silvestre

esta por afectar los stocks de las pesquerías de atún en el Mediterráneo y puede afectar a los pescadores, debido a la captura de juveniles silvestres (European Commission, 2002c)

Por lo anterior, las experiencias generadas vía la expansión sin regulación y control de salmones, lobina marina, brema marina y la expansión futura del atún, bacalao, halibut y abadejos en el Mundo, son lecciones que deben ser tomadas en cuenta para la futura expansión de los pargos y otras especies en México, ya que se ha demostrado en otras partes del mundo que el desarrollo del cultivo de peces en jaulas en el mar basado en especies carnívoras ocasiona fuertes impactos sobre las pesquerías silvestres (Brown y Meikle, 2000), demanda de insumos principalmente harina de pescado para la alimentación de los peces y áreas para granjas de moluscos.

Se han detectado cinco problemas fundamentales que pueden ocasionar las granjas de peces en jaulas en el mar: los desechos, los escapes, las enfermedades y parásitos, químicos y alimentación/alimento.

IV.6.1.- Los desechos

El cultivo de peces en jaulas flotantes en el mar de las principales especies carnívoras entre las cuales se encuentran los pargos, descargan desechos no tratados directamente al mar como se muestra en la figura 1. Estos desechos son fuente importante de nutrientes y desechos a la columna de agua y sedimento (Staniford, 2002b). En Europa se reconoce que en áreas con numerosas granjas de cultivo de peces en jaulas en el mar se presenta el enriquecimiento de nutrientes y el riesgo de la eutrofización (European Commission, 2002c). Esto está ocurriendo en el desarrollo de la maricultura en la Bahía de la Paz en BCS. Además, se puede presentar en el desarrollo de algunas zonas de cultivo de pargos en jaulas flotantes en lugares como la Bahía de Acapulco entre otras. En Europa se tiene documentado que la principal fuente de emisiones de fósforo y

nitrógeno creadas por el humano se deben a las granjas de peces en el mar (Directorate for Nature Management, 1999). WWF ha estimado (WWF, 2000*) que las granjas de Salmon Escocés descargan el equivalente a los desechos de más de 9 millones de personas (la población de Escocia es 5.1 millones). En el Mediterráneo el EC está patrocinando investigaciones para disminuir los desechos debido a altos factores de conversión en lobina y brema marina (European Commission, 2002i).

Se ha encontrado una relación entre el "bloom" de algas tóxicas y marea roja (eventos de envenenamiento de marisco) con el aumento en el crecimiento de los desechos de granjas de peces en el mar en el Mediterráneo y Escocia (Gowen y Ezzi, 1992; Berry, 1996, 1999; Davies, 2000; Navarro, 2000; Ruiz *et al.*, 2001; Scottish Executive, 2002b). Otros países donde se presenta el mismo problema y se estudia esta relación es Escandinavia (Ackefors y Rosen, 1979; Ruokolahti, 1988; Aure y Stigebrant, 1990; Person, 1991; Ronnberg *et al.*, 1992; Braaten, 1992; Enell, 1995), Irlanda (Gowen, 1990), Europa en general (Alabaster, 1982; Rosenthal *et al.*, 1993). Así como en otros países del mundo (Nishimura, 1982; Black, 1993; ICES, 1999b; Martin, 2000; Arzul *et al.*, 2001). En el caso de América Latina ya se iniciaron similares estudios en Sudamérica (Arzul *et al.*, 1999, 2002, European Commission, 2002g).

Por lo que se debe de iniciar el desarrollo del cultivo de pargos en jaulas en el mar en la zona con estrategias de bajo impacto al ambiente. Esto tanto en sistemas de seguimiento y mitigación en su caso del efecto de los desechos, como mediante la aplicación de alimentos de bajo impacto y estrategias de alimentación con adecuados Factores de Conversión de alimento. Actualmente no hay un alimento específico para Pargos, de tal forma que se suministra en las granjas el alimento para camarón con 35% de proteína y en algunos casos se ha utilizado en la etapa final alimento pigmentado de trucha, para darle el color rosado-rojizo propio del Guachinango.

IV.6.2.- Escapes:

Se han realizado estudios sobre los impactos negativos de los escapes de salmones cultivados en jaulas sobre los salmones silvestres en Noruega, Irlanda, Escocia y España (McGinnity *et al.*, 1997; Clifford *et al.*, 1998; Fleming y Einum, 1997; European Commission, 2000e; European Commission, 2000h; Fleming *et al.*, 2000; McGinnity, 2002; Scottish Executive, 2002b). Se ha encontrado que los escapes de peces de las granjas de engorda y cría de los Centros Acuícolas están impactando a los salmones silvestres a través de la dispersión de parásitos y contaminación genética vía la inter cruza e hibridación, llevándose a un proceso de extinción de las poblaciones silvestres (McGinnity, 2002). Por lo que se recomienda trabajar solo con variedades seleccionadas mendelianamente de poblaciones silvestres de Pargos.

Los escapes en los sistemas de jaulas flotantes en el mar con Pargos, se han producido en la zona y en varios estados del Pacífico Mexicano desde pocos organismos hasta una o dos jaulas completas (1,000 a 6,000 peces) con ningún efecto sobre las poblaciones silvestres de la zona, ya que estos peces forman parte de los stock del lugar o cercanos al sistema de jaulas flotantes.

En cambio, en lugares donde se realiza industrialmente el cultivo de peces en el mar como en Noruega se han presentado escapes hasta de un 90% de la granja (Saegrov *et al.*, 1997, Fleming and Einum, 1997; Fleming *et al.*, 2000). En Irlanda, se han encontrado más salmones cultivados que se han escapado que los silvestres en algunas zonas (Crozier, 1993; 2000; Clifford *et al.*, 1998). Esto pudiera ocurrir en algún momento en el cultivo de Pargos en jaulas en el mar. Mover el sistema de jaulas en el mar lejos de la costa solo incrementará el riesgo de los escapes. Por lo que solo los sistemas de contención cerrados son una solución segura.

IV.6.3.- Enfermedades y parásitos

Las enfermedades infecciosas plantean una de las amenazas más grande para el cultivo de peces en el mar (European Commission, 2002f). Lo que se ha encontrado en la industria del cultivo de peces en el mar, es que a medida que la industria de un cultivo comienza a crecer rápidamente e intensificarse, nuevas enfermedades comienzan a aparecer y estas se pueden transmitir de organismos salvajes a organismos cultivados o viceversa. Esto ha sido documentado ampliamente en salmones (European Commission, 2002h), lobina y brema marina (European Aquaculture Society, 1996; and Tanti, 1997). La experiencia de la maricultura de Europa nos muestra que la dispersión de las enfermedades y parásitos es una función de la alta densidad y producción intensiva (Paone, 2000b). Es inevitable que nuevas enfermedades emerjan en granjas intensivas de peces. Esto se debe a que las granjas de cultivo de peces en jaulas actúan como reservorios de enfermedades infecciosas e infestaciones por parásitos (Gardar, 2002b; Charron, 2002b).

Castillo, (2007) encuentra en un cultivo de pargos en jaulas flotantes en la Bahía de Matanchen, San Blas, Nayarit que las pautas de distribución de los parásitos marinos encontrados en los pargos cultivados en las jaulas fueron determinadas principalmente por la temperatura, salinidad y la asociación específica con masas de agua; así como su distribución y transmisión es afectada potencialmente por las condiciones abióticas y bióticas.

Las variaciones horizontales en parámetros fueron importantes para determinar la distribución de parásitos. En los peces cultivados el órgano más parasitado fue el estómago con la presencia de digeneos y larvas de céstodos coincidente con la dominancia de digeneos. En términos generales encontró una baja densidad de parásitos en los pargos de las jaulas debido a la baja densidad y al efecto del flujo de agua en el sistema. Por lo tanto se espera que en zonas como las de la Bahía de Chipehua donde las velocidades de las corrientes marinas registradas en este trabajo son elevadas contribuyan a disminuir el efecto de algunos parásitos.

IV.6.4.- Sustancias químicas

En la industria del cultivo de peces en el mar se han utilizado una serie de sustancias químicas para el control de enfermedades y parásitos (Schnick *et al.*, 1997; Alderman, 1999; Roth, 2000; Costello *et al.*, 2001). De las cuales a pesar de la reducción en el uso de antibióticos y órgano – fosforados en las granjas de salmón (OSPAR, 1994), el uso de piretroides sintéticos, colorantes artificiales, antifouling, antiparasitarios y otros contaminantes marinos muestran serios peligros al impacto ambiental de las zonas costeras (Staniford, 2002^a). Dentro de los químicos utilizados para la industria del cultivo de los peces en el mar se han utilizados carcinógenos, mutagénicos y varios contaminantes marinos (Staniford, 2002b). Los efectos de las sustancias utilizadas en la maricultura de peces se ha demostrado en especies que se encuentran en el ámbito de influencia de las granjas como langostas, cangrejos, ostiones, mejillones y almejas (Blythman, 2001; Ross y Holme, 2001) así como en el zooplancton en especial en los copépodos (Edwards, 2002^a; Scottish Association of Marine Science, 2002^a, 2002b, 2002c).

Químicos tales como el DDT, dieldrin, clordano, hexacloro – benceno, PCBs, toxafeno y dioxinas, los cuales se han detectado en la carne de los peces de las granjas en el mar; se han introducido a los sistemas de cultivo via el alimento balanceado (Hellou *et al.*, 2002, Cameron, 2002c, Pesticides Residues Comité, 2002). Antifouling conteniendo TBT, cobre y zinc, también han sido determinados en las jaulas de peces (Davies, 1998). En el caso de las jaulas con Pargos en el Pacífico Mexicano se han utilizado alimentos balanceados para camarón y alimentos pigmentados para trucha. En el caso de sustancias químicas hasta ahora no se han empleado por la baja densidad de peces utilizada.

IV.6.5.- Alimentación / alimento

El reto en el desarrollo de la maricultura de peces en jaulas será el de disminuir el uso de la harina y aceite de pescado en los alimentos balanceados ya que el incremento acelerado en la producción impacta sobre las capturas del sector

pesquero (Tacon, 1994; Naylor *et al.*, 1998; Naylor *et al.*, 2000; Pauly *et al.*, 2002). Se ha calculado que alrededor de 3 toneladas de peces silvestres son requeridas para producir una tonelada de salmón cultivado, y en otras especies cultivadas pueden llegar hasta 5 toneladas (Naylor *et al.*: 2000). En términos generales la acuicultura utiliza alrededor del 70% del aceite de pescado producido en el mundo y el 35% de la harina de pescado (Tacon and Forster: 2001, Tacon and Barg: 2001). En respuesta a esta situación se han probado dietas alternativas para carnívoros como los salmones utilizando vegetales, trigo, soya, malezas acuáticas marinas y otras harinas que no contienen pescado. En el caso del aceite de pescado se ha probado con aceites vegetales, pero se ha tenido problemas con el sabor lo que ha disminuido la calidad del pescado alimentado con esos insumos no convencionales en el mercado internacional (European Commission, 2001g). Además de este problema durante los últimos 20 años las compañías productoras de alimento balanceado han tenido pruebas de la contaminación de sus alimentos por PCB (Mac, 1979). Los pesticidas como el toxafeno, DDT y clordano también han sido detectados en las granjas de peces cultivados en jaulas y en el alimento suministrado (Oetjen y Karl, 1998; Pesticides Residues Comité, 2002).

Finalmente es urgente iniciar la producción de crías de Pargos para poder sustentar su crecimiento a nivel industrial, ya que en las condiciones en que se encuentra actualmente un desarrollo acelerado de la actividad representa una fuente de presión sobre las poblaciones silvestres (Pauly *et al.*, 2002).

V. Discusión

El Pacífico mexicano presenta un importante potencial para el desarrollo de los cultivos marinos de peces, tanto por la cantidad de áreas que pueden ser aprovechadas como por el importante número de especies de alto valor comercial potencialmente cultivables que son de interés para el mercado nacional y el internacional. Esta actividad debe fomentarse, tomando en cuenta que las estadísticas mundiales y nacionales indican la necesidad de alcanzar un mayor desarrollo en la producción acuícola. Durante los últimos años, se ha generado la evidencia suficiente de que esta actividad económica es factible desde el punto de vista tecnológico, biológico económico y social. Este tipo de desarrollo además de incrementar la oferta de alimentos, incrementa las posibilidades de mejoramiento de las condiciones de vida de los pobladores de las zonas ribereñas y disminuye el impacto actual y futuro del incremento de la demanda de empleos en el sector pesquero.

Los resultados obtenidos por el Instituto Nacional de Pesca en sus más recientes investigaciones, mejoran las expectativas de los logros presentados por Avilés (op. cit.), ya que por ejemplo para *L. guttatus* se han logrado crecimientos de hasta 600 g en 7 meses. Por otra parte contrastando con lo encontrado por Saucedo et al., (1992) el INP, ha probado que existen grandes cantidades de organismos juveniles de *L. peru* y *L. guttatus* en profundidades de cinco a 30 m, que actualmente son capturados en dos escenarios:

- Capturados con línea: mayores de 100 – 150 g y menores de 400 g se comercializan en las diferentes clasificaciones de chicos; menores de 100 – 150 g son descartados.
- Capturados con equipos como arrastre, encierro o cerco costero, atarraya: las tallas de descarte se incrementan particularmente en el arrastre y los organismos descartados tienen pocas probabilidades de sobrevivir.

Estos escenarios presentan condiciones propicias para iniciar el desarrollo de los cultivos marinos, para lo cual además de tomar en cuenta las experiencias de países desarrollados en ésta forma de producción, deben considerarse las características específicas del sector pesquero de la zona ribereña, de tal manera

que, mientras por una parte se avanza en el desarrollo de la producción de crías en sistemas controlados, por la otra, se mantengan operando trabajos de investigación tendientes a lograr estructuras de cultivo más eficientes, alimentos más adecuados y de manera particularmente importante se realicen esfuerzos para capacitar a los actuales y futuros acuicultores, apoyado en las disponibilidades de organismos silvestres, que de cualquier manera forman parte de las capturas actuales.

La capacitación de los futuros acuicultores ya sea como titulares de proyectos o como operarios, resulta tan importante como la producción de crías, sobre todo tomando en cuenta el hecho de que en el área de estudio, los beneficiarios del proyecto de cultivo tienen como actividad económica principal a la producción agropecuaria y que esta situación no es privativa de los litorales del estado de Oaxaca, por lo que el desarrollo de la maricultura en el litoral del Pacífico mexicano implica un proceso importante de formación, que significa, además de la generación de habilidades, cambios de mentalidad y por lo tanto actitud hacia la producción industrial en el mar.

La factibilidad de los cultivos marinos se desprende, entre otras cosas, de que las velocidades de crecimiento y las tasas de conversión de alimento logradas en los cultivos que actualmente operan en el Pacífico mexicano, alcanzan niveles que ratifican la factibilidad operativa del proyecto y no son inferiores a las registradas en otros proyectos y/o investigaciones, por ejemplo, Gutiérrez-Vargas y Durán-Delgado, (1998 – 1999). Situación similar ocurre con las tasas de mortalidad, las velocidades de crecimiento logradas también son similares o mayores que las encontradas por Olivares-Paulette *et al.* (1998 – 1999).

La experiencia de los últimos cinco años indica que en una instalación para cultivo marino en jaulas flotantes, de tipo flexible, construida a base de cabos de polietileno (PE) y paños de poliamida (Nylon), al ser totalmente cubiertas en pocos días por organismos vegetales y animales el intercambio entre los componentes

de la estructura y el entorno se nulifica, de tal manera que el único evento que podría incidir en modificaciones de las diferentes variables que caracterizan el medio acuático circundante y los sedimentos en la zona de instalación es la aplicación de alimento durante el proceso de crecimiento y engorda de los organismos. El efecto de ésta aplicación depende de las características del sistema en que se encuentra enclavado el proyecto de cultivo, como la profundidad, corrientes, temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, contenido de carbono orgánico en los sedimentos.

Las observaciones realizadas durante el período de investigación, tanto de manera directa como mediante la utilización de instrumentos de medición, indicaron que el área de estudio se caracteriza por una intensa y permanente actividad hidrodinámica que genera un cuerpo de agua casi homogéneo. Las velocidades máximas de las corrientes registradas, que coinciden con las reportadas por Álvarez *et al.*, (1989), así como la alta variabilidad observada tanto en velocidad como en dirección, durante los monitoreos realizados, permitieron conocer que el cuerpo de agua en la zona de estudio es una masa en constante y cambiante movimiento. Las velocidades de 0.5 km/h, a 1.8 km/h registradas en el fondo son elevadas, además de un factor importante para la dispersión de los residuos de alimento y desechos metabólicos, lo que seguramente ayuda a mantener las condiciones naturales en Bahía Chipehua. Es de recordarse que Chipehua no es realmente una bahía, sino una inflexión en la costa cuya abertura genera condiciones caracterizadas por un intercambio importante y permanente entre las aguas costeras y las de mar abierto.

Los registros obtenidos para las diferentes variables analizadas, presentan algunas diferencias respecto de la información disponible para la región en que se ubica el área de estudio; por ejemplo, en el caso de la temperatura, Vázquez-Gutiérrez *et al.*, (1998) reportan temperaturas superficiales máximas de 31.7° C y mínimas de 16.9° C; en contraste, la temperatura registrada en mayo de 2006 entre la superficie y los 13 m de profundidad no fue menor a los 29 °C, en noviembre no fue menor a los 21 °C ni mayor a los 23 °C; las temperaturas

registradas en agosto no fueron menores a los 30 °C al igual que en el caso de julio. Estas diferencias seguramente resultan de las diferentes áreas de muestreo, toda vez que mientras que Vázquez G. *et al.* (1998) intentaron caracterizar el Golfo de Tehuantepec, en ésta investigación se midieron las características hidrológicas de una zona muy pequeña dentro del Golfo de Tehuantepec a profundidades menores a los 15 m.

Probablemente como resultado de las condiciones de trabajo descritas, los datos de salinidad registrados son mayores a los reportados por Vázquez G. *et al.*, (1998) que presenta datos de hasta 33.26 PSU; en el análisis descriptivo de éste documento, la salinidad registrada en la zona de estudio no fue menor a 35 PSU.

Los valores máximos registrados para la concentración de oxígeno también son superiores a los reportados como máximos por Vázquez-Gutiérrez *et al.*, (1998 op. cit.). Estas diferencias reflejan el efecto de condiciones más costeras (oleaje, vientos) que generan una mayor oxigenación, de tal manera que aún en el fondo, el oxígeno disuelto registrado no fue menor de 6 mg/l lo que evidencia condiciones aeróbicas.

Los valores del pH presentados por Vázquez-Gutiérrez *et al.*, (1998 op. cit.) son más coincidentes con los registrados en esta investigación, con excepción de septiembre de 2006 que de acuerdo con el análisis descriptivo de ésta variable en la zona de estudio, presenta valores ligeramente menores.

Se estima pertinente señalar que los promedios que presenta Vázquez-Gutiérrez *et al.*, (1998 op. cit.), incluyen zonas con importante interacción entre la zona marina y la estuarina, como Laguna Superior e Inferior y zonas donde prácticamente no existe dicha interacción, como Puerto Ángel, lo que seguramente incide en la consistencia de los resultados reportados por éstos autores. Se puede establecer que los valores obtenidos para las diferentes variables hidrológicas y

del sedimento que aquí se presentan, son congruentes con las observaciones realizadas durante otras prospecciones realizadas desde 1989 y que las diferencias señaladas reflejan el efecto de las diferentes áreas de estudio. Un hecho relevante es que para la zona costera de Oaxaca, no se dispone de información oceanográfica más allá de la que aquí se refiere.

Tomando en cuenta que, tanto a partir de la bibliografía consultada como de las observaciones realizadas, el principal elemento a considerar en la evaluación del impacto ambiental del cultivo de peces en jaulas flotantes en el mar, es el vertimiento de alimento, se han identificado variables que particularmente pueden indicar modificaciones en los niveles de materia orgánica a consecuencia de enriquecimiento como resultado de la agregación de alimento, entre éstos se puede mencionar al potencial de óxido reducción (ORP), la concentración de carbono orgánico(CO) (Pearson y Stanley, 1979).

En este contexto y analizando de manera descriptiva los promedios de variables como el del oxígeno disuelto, el ORP y el pH, eliminando el efecto de la temporalidad (mes), se observó que no es evidente un efecto del sitio, particularmente el de JAULA en el comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto. Por lo que hace al potencial de óxido reducción (ORP) es menos evidente un posible efecto del sitio en los promedios encontrados para cada mes. Según el análisis descriptivo, prácticamente no existen variaciones en función de la profundidad para los diferentes meses analizados, lo que permite inferir que los promedios mensuales son aplicables al comportamiento de éste indicador en toda la columna de agua para cada sitios y por lo tanto en la zona de interface agua – fondo, de donde resulta que efectivamente no se da un efecto de la aplicación de alimento balanceado en el sitio de muestreo JAULA sobre el comportamiento de ésta variable.

A partir de los promedios individualizados de pH por sitio para cada mes es claro que no existen variaciones importantes entre la superficie y el fondo, que no se da

un efecto del sitio en el comportamiento de éste indicador particularmente en el caso del sitio de muestreo JAULA, que es en el que se adicionó alimento balanceado, lo que podría haber modificado los valores registrados a lo largo de la columna de agua o en particular cerca del fondo.

Así, en la unidad de cultivo objeto de estudio, en la que el espacio en el que se aplicó alimento balanceado representa el 1.04% del volumen total de influencia de la estructura; las condiciones hidrológicas no fueron diferentes a las de otro sitio de muestreo incluso aquel localizado a 1,500 m de distancia; por otra parte, si se toma en cuenta que Chipehua no es una Bahía propiamente dicha, es de entenderse que en la zona de instalación la velocidad de la corriente en el fondo regularmente oscile entre los 0.4 m/s (0.77 nudos o 1.42 km/h) y los 0.6 m/s (1.16 nudos o 2.14 km/h), corrientes que cambian de dirección constantemente durante el día tanto por efecto de las mareas como por efecto de los vientos. Si se considera además que la distancia entre el fondo de las jaulas y el fondo marino es de 7 metros en promedio, resulta pertinente inferir que como resultado de los acarreos, las variaciones de la calidad del agua en el área de estudio no están relacionadas con la aplicación de alimento.

El otro criterio para la evaluación de los efectos de la operación de las jaulas flotantes fue la concentración de carbono orgánico (CO) en los sedimentos, que no mostraron variación en función del sitio; ni de la profundidad. Los promedios individualizados por sitio para cada mes, muestran que las diferencias más importantes entre promedios se dan en los meses de marzo y abril entre el sitio de muestreo JAULA y el de ALMADRABA (en marzo) y ESTACIÓN 2 (en abril). Estas diferencias fueron de 0.30 % y 0.32 % respectivamente, las cuales disminuyen a partir de mayo y parecen reflejar el efecto estacional detectado a partir del análisis de varianza, el cual está relacionado con el efecto de los aportes de los ríos y lluvia que producen el incremento de febrero de 2005 al período mayo – octubre de 2006; Los valores encontrados durante ésta investigación, son congruentes con los reportados por Vázquez-Gutiérrez *et al.* (1998).

Se estima pertinente retomar el que según Pearson *et al.* (2001), el perfil del potencial de óxido reducción (ORP por sus siglas en inglés) medido en la columna de sedimentos hasta una profundidad de 10 – 15 cm. Da una idea útil del grado de enriquecimiento de los sedimentos por carbono. En éste sentido se destacarse que las mediciones realizadas en éste proyecto, permitieron conocer de manera directa una eventual variación por enriquecimiento de los sedimentos. Los resultados permiten afirmar que no se registró un efecto de la aplicación de alimento en el área de jaulas, sobre la concentración porcentual de CO en las diferentes estaciones de muestreo. Un comportamiento similar se da en la concentración porcentual estimada de carbonatos, aunque presentó diferencias entre sus promedios individualizados por sitio en el mes de marzo

El resultado de los análisis de varianza de una sola vía, realizados para cada una de las variables hidrológicas estudiadas, nos muestra que existen pequeñas variaciones, las cuales en términos estadísticos son significativas. Dichos resultados reflejan diferencias naturales entre sitios, partiendo del hecho de que en la naturaleza no existen dos sitios idénticos, pero más que otra cosa se reflejan las importantes variaciones temporales, también de carácter natural; esto es, las diferencias no se dan como efecto de alguno de los sitios sobre el resto sino como un efecto de la temporalidad. Por otra parte no se observa una tendencia en el comportamiento de las variables hidrológicas en la zona de las jaulas atribuible a la adición de alimento balanceado, que durante el proceso alcanzó la cifra acumulada de 5,108 kg. Una situación similar se observó en la concentración porcentual de carbono orgánico (CO) y de Carbonatos, respecto de los cuales, los análisis realizados no permitieron identificar el efecto de la aplicación de alimento balanceado en el área de cultivo sobre el comportamiento espaciotemporal de las variables.

Con el propósito de conocer, la respuesta de las variables dependientes a cada variable independiente, así como a las interacciones de éstas últimas, se realizó

de manera más detallada, un análisis de varianza multifactorial. Con éste modelo de análisis se encontró que desde el punto de vista estadístico, existen diferencias estadísticamente significativas; aún cuando son pequeñas en términos reales de acuerdo con los resultados del propio modelo y reflejan principalmente el efecto de la temporalidad, además del efecto de las diferencias naturales espaciales, entre sitios de muestreo.

Como parte de los resultados obtenidos con la aplicación del modelo mencionado, se encontró que existen correlaciones, que si bien no son muy grandes, son estadísticamente significativas; entre éstas se puede destacar:

Temperatura – Turbidez – Oxígeno disuelto – CO – Carbonatos

Turbidez – Oxígeno disuelto

ORP – pH

pH – Oxígeno disuelto – Salinidad – CO – Carbonatos

CO – Carbonatos

Los resultados del análisis aplicando un modelo multivariado de varianza para las variables ya mencionadas, asumiendo como variables independientes los sitios y los meses, confirman lo antes señalados. Los datos hidrológicos obtenidos a lo largo de la columna de agua, con intervalos muy pequeños en términos de profundidad así como de tiempo, en este último caso no más de 5 segundos, permitieron conocer de manera detallada el comportamiento de indicadores como el ORP, pH, o el Oxígeno disuelto, que según la bibliografía consultada, son algunos de los que de manera directa podrían indicar algún efecto por la aplicación de alimento balanceado; los registros obtenidos incluso en la zona de interface fondo – agua, no indicaron algún efecto específico en el sitio JAULA ni en el resto.

Las concentraciones porcentuales de carbono orgánico en los sedimentos, a diferentes profundidades, mostraron de manera clara que no existe diferencia

entre sitios, mientras que en coincidencia con los indicadores hidrológicos mostraron importantes diferencias temporales. La concentración porcentual de carbono orgánico (CO) es un indicador que de manera directa permite evaluar el eventual enriquecimiento, principalmente del ambiente bentónico por aportes externos de materia orgánica, no registrándose evidencia de que la aplicación de alimento balanceado incidió en el enriquecimiento por materia orgánica en alguno de los sitios de muestreo. Por su parte las concentraciones porcentuales de carbonatos se comportaron de manera similar a las de CO, reflejando solo cambios temporales y no entre sitios.

Lo anterior hace recordar lo expuesto por Pearson y Black (2001) al referirse a técnicas y estrategias de muestreo, expone que pequeñas granjas en áreas con energía hidrodinámica, pueden solo requerir de una revisión visual cualitativa de pequeña escala (fotografía o video) de las condiciones del sedimento, o tomar un solo grupo de muestras de sedimento de debajo de las jaulas en el período de máxima biomasa en estas. Al respecto, el dispositivo de cultivo en estudio es pequeño y se encuentra en un área con bastante energía hidrodinámica, lo que habrá de considerarse como una previsión para futuras metodologías de evaluación de impacto ambiental por aplicación de alimento balanceado en sistemas de este tipo.

El análisis de las correlaciones entre los valores de las variables hidrológicas en la zona más cercana al fondo y de los sedimentos, permitieron estimar los parámetros de una ecuación que hará posible predecir el comportamiento del contenido de CO en el sedimento, en función de la temperatura y el potencial de óxido reducción en la parte más profunda de la columna de agua. Estos resultados permiten disponer de herramientas de fácil acceso para conocer de manera indirecta el comportamiento del enriquecimiento orgánico como resultado de la aplicación de alimento en la granja, posibilitando con esto la toma de decisiones de carácter precautorio, con el propósito de evitar daños ecológicos en el entorno, por otra parte se constituyen en una importante herramienta de

predicción a fin de determinar de manera anticipada los niveles de utilización permisibles en las áreas específicas en las que se esté desarrollando el cultivo de peces marinos en el mar.

De lo anterior resalta la importancia de que previo a la definición de un área específica como potencialmente utilizable para el desarrollo de los cultivos marinos, se disponga de un estudio detallado las características batimétricas, velocidad y dirección de las corrientes principalmente en el fondo, características del sedimento tomando en cuenta que entre más pequeños sean los componentes de las fracciones dominantes, mayor posibilidad existe del enriquecimiento del fondo con materia orgánica. En bahías o cuerpos de agua más cerrados resulta particularmente importante la determinación de la velocidad de recambio de la masa de agua.

Un permanente seguimiento de las variables involucradas, ya sea de manera directa o mediante indicadores, permitirá pronosticar con la anticipación suficiente, los límites de desarrollo sustentable para cada área específica, pudiendo establecerse con base en los coeficientes de variación observados los niveles recomendables de densidades de cultivo, número de unidades a operar, procesos de alimentación, características que finalmente definen los volúmenes de materia orgánica a incorporar al sistema hidrológico de que se trate.

De acuerdo con la información consultada, así como con las observaciones directas realizadas, acerca de las operaciones de compraventa en playa y en los centros regionales de distribución al mayoreo y medio mayoreo, existe una importante demanda insatisfecha de productos pesqueros clasificados como "de primera" como el guachinango (*L. peru*) y el lunarejo o flamenco (*L. guttatus*) en sus presentaciones conocidas como "platillero". Esta demanda insatisfecha, históricamente ha sido particularmente grande en los períodos de semana santa y navidad, ligeramente menor pero también más importante que en el resto del año

es la que se presenta en la temporada de vacaciones de verano de los estudiantes (julio – agosto).

Los diferentes indicadores, como velocidad de crecimiento de los organismos de interés para el cultivo, eficiencia en el aprovechamiento del alimento, viabilidad financiera y social, TIR, punto de equilibrio, entre otros, facilitan la orientación de esfuerzos económicos, humanos y materiales por parte de las autoridades competentes, y de las organizaciones pesqueras, para que el cultivo de pargos en jaulas flotantes sea una alternativa de producción, lo que es factible en términos de impacto ambiental, particularmente cuando se trata de áreas como la que aquí se describe.

Las condiciones de la pesca en México, no son diferentes a las del resto de los países pesqueros, en términos del nivel de aprovechamiento de los recursos naturales disponibles, por lo que también tendrá que desarrollar su acuicultura, transitando de los cultivos de agua dulce y estuarina a los de aguas marinas. También se debe contemplar que el futuro próximo de la maricultura de peces en jaulas en nuestro país deberá cambiar del monocultivo hacia el policultivo integrado o la rotación de especies de peces y/o crustáceos. Además se deberá de combinar con los sistemas de agregación de peces y arrecifes artificiales.

Lo anterior debe considerar la necesidad de modificar el esquema actual de producción, pasando la operación exclusiva en el sector primario, al sector de servicios, vinculando la producción acuícola a la prestación de servicios turísticos, tanto a través de actividades acuáticas como servicios en tierra (hotelería, alimentación, transporte, entre otros).

Esta forma de desarrollo permitirá en términos reales disminuir la presión por pesca que actualmente se ejerce sobre los recursos costeros, desviando la futura demanda de empleos e ingresos hacia las actividades acuícolas y relacionadas.

VI. Conclusiones

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de los diferentes modelos de análisis de la información generada durante ésta investigación, indican que:

- No se encontró evidencia de un efecto de la aplicación de alimento balanceado sobre el comportamiento de las variables de interés en la estación de muestreo JAULA ni en el resto de los sitios de muestreo.
- Las diferencias naturales encontradas entre sitios, permiten deducir que una eventual afectación de las variables de interés en el área de influencia de las jaulas por la aplicación de alimento balanceado, no necesariamente afectará otros sitios localizados fuera de ésta área.
- Las diferencias estadísticamente significativas encontradas, reflejan principalmente los cambios estacionales naturales que ocurren en el sistema hidrológico que se ha estudiado.

A partir de lo anterior se estima pertinente concluir que no se rechaza la hipótesis de trabajo en la que se estableció:

La aplicación de alimento balanceado durante la operación de una estructura de cultivo de pargos en jaulas flotantes en la Bahía de Chipechua del Municipio de Tehuantepec en el Estado de Oaxaca, no modifica las características de la calidad del agua en su área de influencia ni la concentración porcentual de carbono orgánico y carbonatos en los sedimentos.

La intensa actividad hidrodinámica detectada en el área de estudio, además de las características fisiográficas de Bahía Chipechua, son factores importante para que se den las condiciones que permiten establecer que no existe un efecto de la aplicación de alimento en la zona de cultivo sobre las características del entorno.

Aún cuando existen pequeñas diferencias entre la respuesta de las variables dependientes al efecto de las variables independientes y sus interacciones, las cuales son significativas en términos estadísticos, los propios modelos indican que tales diferencias están asociadas a las variaciones naturales características del estudio de diferentes sitios de muestreo y los cambios estacionales.

Tomando en cuenta las correlaciones encontradas entre diferentes variables de interés, las cuales aun cuando son pequeñas son estadísticamente significativas, es factible determinar de manera indirecta el efecto de enriquecimiento orgánico en el sedimento, como resultado de la aplicación de alimento en el área de cultivo. Lo anterior hace posible conocer de manera anticipada los efectos del desarrollo de la actividad acuícola en el medio marino, lo que permite la implementación de medidas preventivas del deterioro ambiental en un área determinada.

Se puede concluir además que los cultivos marinos efectivamente constituyen una alternativa viable para el desarrollo de las comunidades pesqueras y para el incremento de la oferta de productos de la pesca. No obstante, el desarrollo de ésta actividad requiere de un estrecho y continuo seguimiento a fin de evitar conflictos entre el desarrollo económico regional y la conservación del ambiente. Por otra parte, la producción acuícola sustentada en cultivos marinos, puede y debe desarrollarse previendo la diversificación de productos del sector primario y la vinculación de ésta actividad al sector de servicios, con el fin de lograr un desarrollo equilibrado en las comunidades donde se establezca éste tipo de proyectos.

El desarrollo de los cultivos marinos, requiere, además de alcanzar metas de carácter tecnológico como es la producción de crías en sistemas controlados, producción de alimentos específicos y el diseño de estructuras de cultivo cada vez más eficientes, el logro de metas relacionadas con la formación de recursos humanos, con las capacidades y habilidades necesarias. Se estima que estos dos grandes campos que constituyen los cimientos del desarrollo que nos ocupa deben abordarse de manera paralela, aún cuando en principio esto implique la utilización

de organismos del medio natural, tomando en cuenta que esto no constituye incrementar el esfuerzo pesquero sobre fracciones de la población de peces que actualmente están siendo afectados, sino mejorar la eficiencia de su actual utilización; con lo anterior se tendrá la posibilidad real de disminuir el esfuerzo de pesca sobre los recursos de interés al desviar pescadores hacia las actividades acuícolas, así como disminuir el impacto de la incorporación de las nuevas generaciones al mercado laboral en el campo de la pesca ribereña.

VII Recomendaciones

Partiendo del supuesto de que se tratará de apoyar el desarrollo pesquero por la vía de los cultivos marinos, se recomienda que al menos para el caso del Océano Pacífico, se disponga de un banco de información en el que se concentren los resultados de estudios detallados como primera fase, para las áreas en donde actualmente existen proyectos independientemente de su estatus (en operación, en construcción, sin operar, etc.), éstos deberían contener al menos, información sobre las características batimétricas, velocidad y dirección de las corrientes principalmente en el fondo, características del sedimento; en bahías o cuerpos de agua más cerrados debería incorporarse la velocidad de recambio de la masa de agua. Un componente importante debiera ser la información acerca de los factores sociales y económicos del proyecto, como capital fijo, capital de operación, número de beneficiarios, entre otros.

En una segunda fase se recomienda recopilar la información antes referida, para las diferentes zonas que hayan sido detectadas como potencialmente utilizables para el desarrollo de cultivos marinos. Las bases de datos conteniendo ésta información debieran estar disponibles para todo tipo de usuarios.

A partir de ésta y otra información disponible que se incorporase al banco de información y que servirían como marco de referencia, se estima recomendable continuar con la realización de estudios como el que aquí se presentan tomando en cuenta las prioridades asignadas a las diferentes áreas detectadas, a partir de proyectos de investigación en los que se vinculen los propósitos específicos de impacto ambiental, con objetivos de carácter oceanográfico y de tipo biológico, estos últimos particularmente relacionados con las comunidades típicas del sedimento.

En congruencia con lo anterior, tomando en cuenta el nivel de especialización de los trabajos involucrados así como el costo de los medios de investigación, se estima pertinente fortalecer, en instancias y sitios específicos, con enfoque regional, la

infraestructura para el monitoreo directo de las diferentes variables de interés. Lo anterior implica la generación de un nuevo campo de previsión del desarrollo pesquero y acuícola, el cual necesariamente requerirá de programas especiales de preparación de personal de campo, de laboratorio y de gabinete, áreas que se estiman igualmente importantes. Este tipo de estudios seguramente estarán mejor integrados si incluyen la perspectiva social y económica de los desarrollos propuestos, enfoque que igualmente requiere del entrenamiento de especialistas del ramo en los asuntos de la pesca.

Se estima recomendable que de manera paralela o complementaria, se inicie tan pronto como sea posible en las zonas de los diferentes proyectos en operación, al menos la toma de la información que puede servir de indicador para monitorear de manera indirecta el eventual impacto ambiental del cultivo de peces marinos.

VIII. Literatura citada

Ackefors, H and Rosen, C G. 1979. Farming aquatic animals: the emergence of a world-wide industry with profound ecological consequences. *Ambio* 8 (4), 132-14.

Agius, C and Tanti, J. 1997. Status of fish diseases in the Mediterranean. In T.W. Flegel and I.H. MacRae (eds.), *Diseases in Asian Aquaculture* 111. Fish Health Section, Asian Fisheries Society

Alabaster, J S. 1982. Report of the EIFAC workshop on fish farm effluents. EIFAC.

Alderman, D J. 1999. Chemicals in aquaculture. In *Sustainable aquaculture*. Balkema, Rotterdam.

Alvarez, L. G., A. Badán – Dangón y A Valle. 1989. On coastal currents off Tehuantepec. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*

Arzul, G, Clement, A and Seguel, M. 1999. Preservation of marine environment in the South of Latin America: aquaculture expansion and phytoplankton development. International workshop in Puerto Montt, 8-9th April.

Arzul, G, Clement, A. and Pinie A. (1996) Effects on phytoplankton growth of dissolved substances produced by fish farming. *Aquatic Living Resources*.

Arzul, G, Seguel, M and Clement, A. 2001. Effect of marine animal excretions on differential growth of phytoplankton species. *ICES Journal of Marine Science* 58 (2), 386-390

Aure, J and Stigebrant, A. 1990. Quantitative estimates of the eutrophication effects of fish farming on fjords. *Aquaculture* 90. 135-156.

Avilés-Quevedo, A. y M. Iizawa. 1993. Manual para la construcción y operación de jaulas flotantes para el cultivo de peces marinos. SEPECSA/JICA, Mex. 35 p

Avilés-Quevedo, A. 2002. Estado Actual y Desafíos de la Piscicultura en México. En: A. Silva (ed.) *Acuicultura en Latinoamérica*. X Congreso Latinoamericano de Acuicultura. 3^{er} Simposio Avances y perspectivas de la Acuicultura en Chile. Universidad Católica del Norte y Asociación Latinoamericana de Acuicultura. Santiago, Chile. (en prensa)

Avilés-Quevedo, A. y F. Castelló-Orvay. 2002. Avances en el Cultivo Experimental de Pargos (Iseu Lutjanidae) en México. En: A. Silva (ed.) *Acuicultura en Latinoamérica*. X Congreso Latinoamericano de Acuicultura. 3^{er} Simposio Avances y perspectivas de la Acuicultura en Chile. Universidad Católica del Norte y Asociación Latinoamericana de Acuicultura. Santiago, Chile. (en prensa)

Berry, A W. 1996. Aquaculture and sea loch nutrient ratios: a hypothesis. In K D Black (ed) *Aquaculture and sea lochs*. Scottish Association of Marine Science, Oban, http://www.mar.dfo-mpo.gc.ca/science/mesd/hs/lists/phycotoxins_1/msg00360.html.

Berry, A W. 1999. Stoichiometric perturbations and the production of nitrogenous biotoxins. Paper presented at the ICES Symposium on the environmental effects on mariculture <http://>

Black, E A. 1993. Fish farms as the initiator of algae blooms. Fish Aquaculture Interactions Bullpen, Audience Notes. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Victoria

Blackburn, M., 1962. An oceanographic study of the gulf of Tehuantepec. Special Scientific Report – Fisheries

Blythman, J. 2001. Salmon farmers in for a grilling. The Sunday Herald, 11th March. <http://www.sundayherald.com/14198>.

Braaten, B. 1992. Impact of pollution from aquaculture in six Nordic countries: release of nutrients, effects and waste water treatment. In Aquaculture and the Environment, European Aquaculture Society Special Publication No 16, 79-102.

Brown, P and Meikle, J. 2000. A fisherman's tale of greed and folly: the barren seas. The Guardian, 14th August.

Camacho, E. 1990. Bases para el Ordenamiento Costero – Pesquero del Estado de Oaxaca. Secretaría de Pesca

Cameron, F. 2002c. Study shows traces of DDT in most fresh salmon sampled from UK retailers. Intrafish, 16th July <http://www.intrafish.com/article.php?articleID=25212>

Carranza – Edwards, A. 1987 Informe Técnico de la campaña oceanográfica MIMAR III. *Inst. Cien. Del Mar y Limnol., Univ. Nat. Autónoma de México*

Carranza Edwards, A. Morales de la Garza y Rosales Hoz L. (1998). Tectónica, sedimentología y geoquímica. El Golfo de Tehuantepec, el ecosistema y sus recursos. 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa – México.

Castillo, S. V. 2007. Investigación y desarrollo de tecnologías para el maricultivo en jaulas flotantes de lutjanidos en San Blas, Nayarit. Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nayarit. Tepic, Nay, Mex. 179 pp.

Charles R. Denham, (2002) mathworks 89, modificado por Mark W. Reichelt 93, revisado en 2002. The Mathworks Inc.

Charron, B. 2002b. 'Strong evidence' of ISA in Irish rainbow trout farm – OIE. Intrafish, 19th August. <http://intrafish.com/article.php?articleID=26221&s=>

Chester, R., 1990. Marine Geochemistry. Unwin Hyman. London

Claude, M. 2000. The inefficiency of salmon aquaculture in Chile: social, economic and environmental effects. *Terram, Chile* <http://www.terram.cl>

Clifford, S., P. McGinnity, and A. Ferguson. 1998. Genetic changes in Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations of Northwest Irish river resulting from escapes of adult farmed salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55(2): 358-363. http://www.watershedwatch.org/www/publications/sf/Genetic_Change_Irish_rivers.pdf

Coffey, C. 2001. Towards sustainable aquaculture and processing in the EU. Paper presented at the public hearing on 'The Future of the Common Fisheries Policy' (5-7th June), Brussels http://europa.eu.int/comm/fisheries/greenpaper/cof_en.htm

CONAPESCA 2003, Anuario Estadístico de Pesca 2003. Sagarpa, Conapesca <http://sip.sagarpa.gob.mx>

CONVENCIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL DERECHO DEL MAR (1994). http://www.fao.org/faoterm/docs/convemar_es.pdf

Costello, M.J., Grant, A., Davies, I.M., Cecchini, S., Papoutsoglou, S., Quigley, D., and Saroglia, M. 2001. The control of chemicals used in aquaculture in Europe. *Journal of Applied Ichthyology* 17 (4), 173-180.

Crozier, W.W. 1993. Evidence of genetic interaction between escaped farmed salmon and wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in northern Irish river. *Aquaculture*, 113: 19-29.

Davies, I.M. 1998. Effects of TBT in western coastal waters. Final report to DETR, contract PECD CW0691: Fisheries Research Services Report No 5/98. Private and Confidential report not available from the Scottish Executive.

Davies, I.M. 2000. Waste production by farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Scotland. ICES CM 0:01, 1-6.

Delgado, O., Ruiz, J., Perez, M., Romero, J. and Ballesteros, E. 1999. Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: seagrass decline after organic loading cessation. *Oceanol. Acta* 22(1): 109-117

Directorate for Nature Management. 1999. Environmental objectives for Norwegian aquaculture: new environmental objectives for 1998-2000. Directorate for Nature Management, Trondheim <http://www.naturforvaltning.no>

Edwards, R. 2002a. Big catch - fish farming is flourishing at the expense of other marine life. *New Scientist*, 27th April <http://www.sundayherald.co.uk/24181>
<http://www.planetark.org/dailynewsstory.cfm/newsid/15660/story.htm>

Ellis, D.W. 1996. Net loss: the salmon netcage industry in B.C. David Suzuki. Foundation, Vancouver. http://www.davidsuzuki.org/Publications/Aquaculture_Reports/default.asp

Enell, M. 1995. Environmental impacts of nutrients from Nordic fish farming. *Water Science and Technology* 31 (10), 61-71.

Ervik, A., Hansen, P.K., Aure, J., Stigebrandt, A., Johannessen, O. and Jahnsen, T. 1997. Regulating the local environmental impact of intensive marine farming. I: The concept of the MOM system (modelling – on-growing fish farms – monitoring). *Aquaculture* 158 (1-2): 85-94

European Aquaculture Society. 1996. Emerging pathologies in seabass and seabream reared intensively. Roundtable discussion at the Seabass and Seabream Workshop in Verona, 16-18th October. <http://www.easonline.org/agenda/en/pastmeetings/seabass.asp>

European Commission (2000g) Biological containment of transgenic fish and risk assessment of inter-species gene transfer. Third Framework Programme, Brussels http://dbs.cordis.lu/cordis-coop/archidagb?ACTION=D&SESSION=79532002-9-2&DOC=57&TBL=EN_PROJ&RCN=EP_RCN.26999&CALLER=EN_CORDIS

European Commission (2002e) Dioxin and PCB accumulation in farmed fish from feed. Cordis Fifth Framework Project, Brussels. http://dbs.cordis.lu/fecq/cgi/srchidadb?ACTION=D&SESSION=247312002-9-28&DOC=22&TBL=EN_PROJ&RCN=EP_RCN_A.63226&CALLER=PROJ_FP5

European Commission. 1995. Aquaculture and the environment in the European Community. Directorate General for Fisheries, Brussels (ISBN 92-826-9066-0).

European Commission. 2000c. Final report of a mission carried out in Malta from 12 to 17 July 2000 for the purpose of assessing the conditions of production of fishery products. DG SANCO, European Commission. http://europa.eu.int/comm/food/fs/inspections/vi/reports/malta/vi_rep_malt_1048-2000_en.pdf

European Commission. 2000f. The interaction between fish farm induced environmental change and fish health in intensive mariculture. Second Framework Programme, Brussels http://dbs.cordis.lu/cordiscqi/srchidadb?ACTION=D&SESSION=79532002-9-28&DOC=48&TBL=EN_PROJ&RCN=EP_RCN.16908&CALLER=EN_CORDIS

European Commission. 2000h. Hybridisation between escaped farmed Atlantic salmon and brown trout: frequency, distribution, behavioural mechanisms and effects on fitness. Third Framework Programme, Brussels. http://dbs.cordis.lu/cordiscqi/srchidadb?ACTION=D&SESSION=79532002-9-28&DOC=63&TBL=EN_PROJ&RCN=EP_RCN.29540&CALLER=EN_CORDIS

European Commission. 2001g. Researching alternatives to fish oil for aquaculture. Cordis Fifth Framework Project, Brussels http://dbs.cordis.lu/fecq/cgi/srchidadb?ACTION=D&SESSION=247312002-9-28&DOC=18&TBL=EN_PROJ&RCN=EP_RCN_A.63196&CALLER=PROJ_FP5

European Commission. 2002c. A strategy for the sustainable development of European aquaculture. Communication from the Commission to the Council and European Parliament, 19th September. http://europa.eu.int/comm/fisheries/doc_et_publications/legal_texts/docscom/en/com_02_511_en.pdf

European Commission. 2002h. Performance and ecological impacts of introduced and escaped fish: physiological and behavioural mechanisms. Fourth Framework Programme, Brussels. http://dbs.cordis.lu/cordiscqi/srchidadb?ACTION=D&SESSION=79532002-9-28&DOC=108&TBL=EN_PROJ&RCN=EP_RCN.48090&CALLER=EN_CORDIS

European Commission. 2002i. Cost effective and environmentally-friendly feed management strategies for Mediterranean cage aquaculture. Fourth Framework Programme, Brussels. http://dbs.cordis.lu/cordiscqi/srchidadb?ACTION=D&SESSION=79532002-9-28&DOC=119&TBL=EN_PROJ&RCN=EP_RCN.55104&CALLER=EN_CORDIS

European Parliament. 1996a. Aquaculture: development, environmental impact, product quality improvements Volume II – the present state of aquaculture in the EU member states and its future up to 2005 (Scientific and Technological Options Assessment). Directorate General for Research, Brussels.

European Parliament. 1996b. Aquaculture: development, environmental impact, product quality improvements Volume III – technical aspects and prospects for a sustained development of the aquaculture sector (Scientific and Technological Options Assessment). Directorate General for Research, Brussels.

Federation of European Aquaculture Producers. 2002. Aquaculture data. FEAP, Belgium. http://www.feap.info/feap/aquaculturedata/default_en.asp

Fischler, F. 1990. The future of aquaculture in Europe. Paper presented at the 3rd annual Conference PESCA en Santiago de Compostela, 5th November 1999. http://europa.eu.int/comm/fisheries/news_corner/discours/speech1_en.htm

FAO 2001, REPORTS AND STUDIES No. 68, IMO/FAO/UNESCO IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP) PLANNING AND MANAGEMENT FOR SUSTAINABLE COASTAL AQUACULTURE DEVELOPMENT

FAO 2004, Fisheries Circular No. 1001 FIPP/C1001

FAO 2006 Fisheries and Aquaculture Department

Fleming, I A and Einum S. 1997. Experimental tests of genetic divergence of farmed from wild Atlantic salmon due to domestication. ICES Journal of Marine Science, 54:1051-1063

Fleming, I A., Hindar, K., Mjølnerod, I.B., Jonsson, B., Balstad, T. and Lamberg, A. 2000. Lifetime success and interactions of farm salmon invading a native population. Proceedings of the Royal Society of London B 267 (1452), 1517-1523

Folk, R. L. 1974 Petrology of Sedimentary Rocks

García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen UNAM 3^a Ed., México

Gardar, J. 2002b. Faroe Salmon stricken by ISA again. Intrafish, 5th July. <http://intrafish.com/article.php?articleID=24895>

GESAMP. 1996. Monitoring the ecological effects of coastal aquaculture wastes. Report No. 57. FAO, Rome <http://gesamp.imo.org/ino57/index.htm>

Gómez, R. Guzmán y L. Marcano. (1994) Centro de Investigaciones Agropecuarias de Sucre. *ASPECTOS BIOMÉTRICOS Y DE REPRODUCCIÓN DEL PARGO OJO AMARILLO (*Luftjanus vivanus*)

Gowen, R J. 1990. An assessment of the impacts of fish farming on the water column and sediments ecosystem of Irish coastal waters. Department of the Marine, Dublin.

Gowen, R J and Ezzi, I A. 1992. Assessment and production of the potential for hypereutrophication and eutrophication associated with cage culture of salmonids in Scottish coastal waters. Dunstaffnage Marine Laboratory, Oban.

Gowen R.J, Bradbury NB. 1987. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: A review. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*; 25: 563-575.

Greck Kurt (1981) Manual de fórmulas técnicas, 18^a edición Ediciones Alfaomega

Gutiérrez Vargas y M. Durán Delgado (1998 - 1999) Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura. *CULTIVO DEL PARGO DE LA MANCHA *Luftjanus guttatus* (Pisces: Luftjanidae) EN JAULAS FLOTANTES.

Handy, R. D. and Poxton, M. G. (1993) Nitrogen pollution in mariculture: toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 3

Hellou, J., K. Haya, L. Burrige, S. Steller and C. Chou. 2000. Organic contaminants including PAHs, PCBs, and DDTs in sediments collected under aquaculture cages, p. 111. In K.C. Penney, K.A. Coady, M.H. Murdoch, W.R. Parker and A.J. Niimi [eds.] Proceedings of the 27th Aquatic Toxicity Workshop: October 1-4, 2000, St. John's, Newfoundland. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2331

Hevia M, Rosenthal H, Gowen RJ. (1996) Modelling benthic deposition in fish cages. *J. Appl. Ichthyol.*; 12: 71-74.

Holby, O. and Hall, P. O. J. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm 3 Silicon aquaculture.

ICES-International Council for the Exploration of the Sea. 1996. Report of the working group on environmental impacts of mariculture. ICES C.M. F/5, Nantes.

ICES-International Council for the Exploration of the Sea. 1999a. Report of the working group on environmental impacts of mariculture. ICES C.M. F/2, Montpellier

ICES-International Council for the Exploration of the Sea. 1999b. Symposium on the environmental effects of mariculture: HABs and mariculture. September, New Brunswick
<http://www.ices.dk/symposia/eem/eemoral.htm>

Instituto Nacional de la Pesca, Dirección General de Investigación Pesquera Región Pacifico Sur. (2004) Salina Cruz Oaxaca- Informes Técnicos Documentos Internos

Kishi M, Uchiyama M, Iwata Y. 1994. Numerical simulation model for quantitative management of aquaculture. *Ecol. Modeling*; 72: 21-40.

Kristensen Erik *et al.*, (1999) Organic matter diagenesis in sediments on the continental shelf and slope of the Eastern Tropical and temperate North Pacific. Institute of Biology, Odense University.

L. S. Leong and P. A. Tanner (1999) Comparison of Methods for Determination of Organic Carbon in Marine Sediment, Department of Biology and Chemistry, City University of Hong Kong.

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988

Mac, M.J., Nicholson, L.W., McCauley, C.A. 1979. PCBs and DDE in Commercial Fish Feeds. *The Progressive Fish-Culturist* 41(4), 210-211.

Martin, J. 2000. Does salmonid aquaculture impact blooms of *Alexandrium*, *pseudonitzschia* and dinophysis? Paper presented at Harmful Algal Blooms 2000, Tasmania
http://www.utas.edu.au/docs/plant_science/HAB2000/abstracts/docs/Martin_Jennifer.html
<http://www.mar.dfo-mpo.gc.ca/sabs/SALMON2001.htm>

Mastracchio, E. 1992. Aquaculture development in the Community and the need for change. In *Aquaculture and the Environment*, European Aquaculture Society Special Publication No 16, 9-12.

McGinnity, P. 2002. A comparison of the fitness of farmed/wild "hybrid" salmon with native fish. Paper presented at the 6th International Atlantic Salmon Symposium in Edinburgh, 16-18th July.

McGinnity, P., Stone, C., Taggart, J.B., Cooke, D., Cotter, D., Hynes, R., McCamley, C., Cross, T., and Ferguson, A. 1997. Genetic impact of escaped farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) on native populations: use of DNA profiling to assess freshwater performance of wild, farmed and hybrid progeny in a natural river environment. *ICES Journal of Marine Science* 54, 998-1008.

Meldon, J (ed). 1993. *Aquaculture in Ireland - towards sustainability*. An Taisce, Dublin.

Milewski, I, Harvey, J and Buerkle, B. 1997. *After the gold rush - the status and future of salmon aquaculture in New Brunswick*. Conservation Council of New Brunswick, Fredericton <http://www.seaweb.org/resources/sac/reports/2.html>

Milewski, I. 2001. Impacts of salmon aquaculture on the coastal environment: a review. Paper presented at a conference in New Brunswick, Canada. <http://eastern.penbay.org/downloads/mmilewski.pdf>

Millero, F. J. y Sohn, 1992. *Chemical Oceanography*. CRC Press, INC., U. S. A.

Monreal Gómez M. A. y Salas de León D. A. (1998). Dinámica y estructura termohalina. El Golfo de Tehuantepec, el ecosistema y sus recursos. 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa – México.

Morales de la Garza, E. A. y Carranza – Edwards, 1995. Sedimentos Fosfados en el Golfo de Tehuantepec. *Hidrobiología* 5 (1-2)

Morales-Pacheco 1998, Proyecto de Investigación, INP, CRIP Salina Cruz Oaxaca

Munday, B W. 1992. The interactions of aquaculture and the environment: a bibliography review. Report prepared for the EC's Directorate for Fisheries, Brussels

Navarro, N. 2000. Planktonic ecosystem impacts of salmon cage aquaculture in a Scottish sea loch. *ICES Cooperative Research Report* 240, Denmark <http://www.biology.au.dk/~biopg/YSCHP/Old/applic/108.HTM>
<http://www.ices.dk/pubs/crr/crr240/crr240.pdf>

Naylor, R L., RJ Goldberg, JH Primavera, N Kautsky, MCM Beveridge, J Clay, C Folke, J Lubchenco, H Mooney & M Troell. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405, 1017-1024
http://www.nature.com/cgi/taf/DynaPage.taf?file=/nature/journal/v405/n6790/full/4051017a0_fs.html

Naylor, R L. Rebecca, J. Goldberg, Harold Mooney, Malcolm Beveridge, Jason Clay, Carl Folke, Nils Kautsky, Jane Lubchenco, Jurgenne Primavera, and Meryl Williams. 1998. Nature's subsidies to shrimp and salmon farming. *Science*, 282 (5390), 883-884 <http://www.nature.com>

Naylor, R. L., RJ Goldberg, JH Primavera, N Kautsky, MCM Beveridge, J Clay, C Folke, J Lubchenco, H Mooney and M Troell 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405, 1017-1024.
http://www.nature.com/cgi/taf/DynaPage.taf?file=/nature/journal/v405/n6790/full/4051017a0_fs.html

Nishimura, A. 1982. The effects of organic matters produced in fish farms on the growth of red tide algae *Gymnodinium*-type '65 and *Chatonella antiqua*. *Bulletin of the Plankton Society of Japan* 29, 1-7.

Northcott, S. J. and Walker, A. F. (1996) Farming salmon, saving the sea trout: a cool look at a hot issue, in *Aquaculture and sea lochs*, The Scottish Association for Marine Science.

O'Brien, D P. 1989. Salmonid farming in Ireland: environmental and legislative problems assessed. Earthwatch, Dublin.

Olivares Paulette y Jorge Bosa Abarca Universidad Nacional Puntarenas de Costa rica (1998 – 1999) en su trabajo "CRECIMIENTO DE JUVENILES DE PARGO MANCHA (*Lutjanus guttatus*) "UTILIZANDO ALIMENTO GRANULADO EN CONDICIONES DE LABORATORIO

Oetjen, K and Karl, H. 1998. Levels of toxaphene indicator compounds in fish meal, fish oil and fish feed. *Chemosphere* 37 (1), 1-11.

O'Sullivan, R. 1989. Intensive fin fish farming in Ireland: a cause for concern. Published by the author.

OSPAR. 1994. PARCOM recommendation 94/6 on best environmental practice for the reduction of inputs of potentially toxic chemicals from aquaculture use. Oslo and Paris Conventions for the Prevention of Marine Pollution, 16th Joint meeting.

Paone, S. 2000b. Industrial Disease: The risk of disease transfer from farmed salmon to wild salmon. Friends of Clayoquot Sound, Tofino. <http://www.seaweb.org/resources/saci/reports/6.html>

Pauly D, W Christensen, S Guénette, TJ Pitcher, UR Sumaila, CJ Walters, R Watson and D Zeller. 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature* 418:689-695.

Pauly D, W Christensen, S Guénette, TJ Pitcher, UR Sumaila, CJ Walters, R Watson and D Zeller. 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature* 418:689-695

Pawar V, Matsuda O, Yamamoto T, Hashimoto T, Rajendran N. Spatial and temporal variations of the sediment quality in and around fish cage farms: A case study of the Seto Inland Sea, Japan. *Fish. Sci.* 2001; 67 (4): 619-627.

Pearson y K. D. Black (2001) ENVIRONMENTAL IMPACTS OF AQUACULTURE editado por Kenneth D. Black, impreso por Sheffield Academic Press.

Pearson, T. H. And Stanley, S. O. (1979) Comparative measurement of redox potential of marine sediments as a rapid means of assessing the effect of organic pollution. *Marine Biology*, 53

Pergent, G., Menzeder, S., Pergent-Martini, C. and Pasqualini, V. 1999. Preliminary data on the impact of fish farming facilities on *Posidonia oceanica* meadows in the Mediterranean. *Ocean. Acta* 22 (1): 95-107

Pesticides Residues Committee. 2002. Pesticides residues monitoring. October –December 2001 <http://www.pesticides.gov.uk/committees/PRC/2001.htm>
<http://www.pesticides.gov.uk/committees/PRC/fourthq2001rev1/q4rep-01rev1.pdf>

Pitta, P., Karakassis, I., Tzapakis, M. and Zivanovic, S. (1998) Natural vs mariculture – induced variability in nutrients and plankton in the eastern Mediterranean. *Hydrobiologia* 391

Rönnerberg, Ö., Östman, T. and Adjers, K. 1992. Effects of fish farming on growth, epiphytes and nutrient content of *Fucus vesiculosus* L. in the Åland archipelago, northern Baltic sea. *Aquatic Botany* 42, 109-120.

Rosenthal, H., Hilge, V and Kamstra, A (eds) 1993. Proceedings of the workshop on fish farm effluents and their control in EC countries. Department of Fish Biology, University of Kiel http://www.aquachallenge.org/CVs/rosenthal_CV.html

Ross, A. 1997. Leaping in the dark: a review of the environmental impacts of marine salmon farming in Scotland and proposals for change. Scottish Wildlife and Countryside Link, Perth <http://www.pan-uk.org/pestnews/pn37/pn37p17c.htm>

Ross, D and Holme, C. 2001. Split on use of fish farm drugs - shellfish producers call for halt on expansion because of unease over increasing use of chemicals. *The Herald*. 5th April <http://www.theherald.co.uk/news/archive/5-4-19101-23-53-22.html>

Roth, M. 2000. The availability and use of chemotherapeutic sea lice control products. *Contributions to Zoology* 69 (1-2), 109-118. <http://sbpark.com/pacrim/dbenvfe2.html#chemoprod>

Ruiz, J M., Perez M. and Romero J. 2001. Effects of fish farm loadings on seagrass (*Posidonia oceanica*) distribution, growth and photosynthesis. *Marine Pollution Bulletin* 42 (9), 749-760. <http://www.elsevier.nl/inca/publications/store/4/0/0/>

Ruokolahti, C. 1988. Effects of fish farming on growth and chlorophyll a content of *Cladophora*. *Marine Pollution Bulletin* 19, 166-169.

Saegrov, H., Hindar, K., Kalas, S., and Lura, H. 1997. Escaped farmed Atlantic salmon replace the original salmon stock in the River Vosso, western Norway. *ICES Journal of Marine Science* 54 (6):1166-1172.

Saucedo M. y Lozano, (1992) "Distribución y densidad de juveniles de *Lutjanus peru* en la costa de Jalisco y Colima, México", Universidad de Guadalajara, Campus Melaque Jalisco
Serrano Guzmán (Coordinador) (2004) estudio de Ordenamiento Ecológico para la zona costera del Istmo de Tehuantepec- Universidad del Mar.

Saroglia, M., Cecchini, S., and Saroglia-Terova, G. 2000. Review of regulations and monitoring of Italian marine aquaculture. *Journal of Applied Ichthyology*, 16(4-5): 182-186.

Schnick, R A. 1997. Worldwide aquaculture drug and vaccine registration progress. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* 17(6), 251-260. http://ag.ansc.purdue.edu/aquanicf/sa/aquadrugs/publications/world_drug_progress_9-20-99.htm

Sarmiento N., Heldail A., Gil-López, Miguel Angel Flores (2005) LA AGREGACION DE PECES CON DAP's EN EL LITORAL OAXAQUEÑO. Instituto Nacional de la Pesca Dirección General de Investigación Pesquera Región Pacifico Sur, Informe de investigación.

Scottish Association of Marine Science 2002c. Influence of fish farm nutrient inputs on planktonic microbial activity. SAMS, Oban <http://www.sams.ac.uk/>

Scottish Association of Marine Science. 2002a. The ecological effects of sea lice treatment agents on zooplankton in Scottish sea lochs. SAMS, Oban. <http://www.sams.ac.uk/>

Scottish Association of Marine Science. 2002b. The toxicity of sea lice chemotherapeutants to non-target planktonic copepods. SAMS, Oban. <http://www.sams.ac.uk/>

Scottish Executive. 2002b. Review and synthesis of the environmental impacts of aquaculture. Report by the Scottish Association for Marine Science and Napier University published by the Scottish Executive Central Research Unit, Edinburgh <http://www.scotland.gov.uk/cru/kd01/green/reia-00.asp>

Scottish Parliament. 2002a. Aquaculture inquiry: stage 1 report (volumes 1 and 2). Transport and Environment Committee, Edinburgh. http://www.scottish.parliament.uk/official_report/cttee/trans-02/tr02-05-vol01-01.htm. http://www.scottish.parliament.uk/official_report/cttee/trans-02/tr02-05-vol02-01.htm

Scottish Wildlife and Countryside Link. 1992. The future for sea lice control in cultured salmonids: a review. SWCL, Perth.

Scottish Wildlife and Countryside Link. 1993. Bacterial disease control, antibiotics and the environment in marine finfish culture: a review. SWCL, Perth.

Sierra Legal Defence Fund. 1997. Containing disaster: global lessons on salmon aquaculture. Prepared for Greenpeace, Friends of Clayoquot Sound and the David Suzuki Foundation, Vancouver <http://www.seaweb.org/resources/sac/reports/4.html>

Secretaría de Marina, 1988. Compendio de estudios oceanográficos. Secretaría de Marina México.

Smayda, T. J. (1990) Nove and nuisance phytoplankton blooms in the sea: evidence for a global epidemic, in *Toxic Marine Phytoplankton* (eds. E. Graneli, B. Sundston, L. Edler and D. M. Anderson)

Stanford, D. 2002a. Yes: it's true, pollutants pollute. *New Scientist*, 11th May <http://www.newscientist.com/opinion/opleters.jsp?id=ns234211>

Stanford, D. 2002b. A big fish in a small pond: the global environmental and public health threat of sea cage fish farming. Paper presented at "Sustainability of the Salmon Industry in Chile and the World" - a workshop organised by the Terram Foundation and Universidad de los Lagos in Puerto Montt, Chile, 5th-6th June [http://www.watershed-watch.org/www/publications/sf/BigFishSmallPond\(Chile\).pdf](http://www.watershed-watch.org/www/publications/sf/BigFishSmallPond(Chile).pdf)

Studela, S. 2002. Tuna farming: grab, cage, fatten, sell - tuna farming in the Mediterranean raising issues of common property resources and plundering of a stock. *Samudra* July, 9-17 http://icsf.net/jsp/samudra/english/issue_32/art2.pdf

Stumm W, Morgan JJ. Chapter 1. In: Riley JP, Chester R (eds). *Chemical Oceanography*, vol. 6. Academic Press, New York. 1970, 10-11.

Tacon, A. 1994. Dependence of intensive aquaculture systems on fishmeal and other fishery resources. *FAO Aquaculture Newsletter* 6, 10-16.

Tacon, A.G.J. and I.P. Forster. 2001. Biotechnology in aquatic feeds. In: *Biotechnology-Aquaculture Interface: The Site of Maximum Impact Workshop*. Organized by the Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture (Beltsville, Maryland) and The Oceanic Institute (Waimanalo, Hawai'i). National Conservation and Training Center, U.S. Fish and Wildlife Center, Shepherdstown, West Virginia, March 5-7, 2001.

Tacon, A.G.J. and U.C. Barg. 2001. Responsible aquaculture for the next millennium, pp. 1-26. In: L.M.B. Garcia (editor), *Proceedings of the Seminar-Workshop on Responsible Aquaculture Development in Southeast Asia organized by the SEAFDEC Aquaculture Department*, 12-14 October 1999, Iloilo City, Philippines. Southeast Asian Fisheries Development Center, Iloilo City, Philippines, 274p

Tapia, M. (2004) Proyecto de Investigación, PROBABLE EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO EN EL CULTIVO DE PARGOS Instituto Nacional de la Pesca Dirección General de Investigación Pesquera Región Pacífico Sur, CRIP, Salina Cruz Oaxaca.

Tsutsumi H, Kikuchi T, Tanaka M, Higashi T, Imasaka K, Miyazaki M. 1991. Benthic faunal succession in a cove organically polluted by fish farming. *Mar. Poll. Bull.*; **23**: 233-238.

Tovar, A. Moreno C. Manuel-Vez M.P. and Garca-Vargas M. (2000). Environmental implications of intensive marine aquaculture in earthen ponds. *Marine Pollution Bulletin* 40 (11), 981-988 <http://www.elsevier.nl/finca/publications/store/4/0/0/>

Udden, J.A. (1914) Mechanical composition of clastic sediments. *Bulletin of the Geological Society of America*, **25**, 655-744.

Vázquez Gutiérrez, F. Salvador López G., Ramírez Álvarez A., Turner Garcés M., Frausto Castillo y Alexander Valdés. (1998) *La Química del Agua. El Golfo de Tehuantepec, el ecosistema y sus recursos*. 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa – México.

Walter E. D. Jr. (1974) Determination of Carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology* Vol. 44

Wentworth, C.K. (1922) A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, **30**, 377-392.

Westrich JT, Berner RA. The role of sedimentary organic matter in bacterial sulphate reduction: the G model tested. *Limnol. Oceanogr.* 1984; **29** (2): 236-249.

Wyrki, K., 1964. Upwelling in the Costa Rica dome. *Fish. Bull.*

Wu RSS, Lam KS, MacKay DW, Lau TC, Ya V. Impact of marine fish farming on water quality and bottom sediment: A case study in the sub-tropical environment. *Mar. Environ. Res.* 1994; **38**: 115-145.

WWF. 2002a. Tuna farming a major threat for already over-fished wild tuna in the Mediterranean, warns WWF. WWF press release, 15th February. <http://www.panda.org/news/press/news.cfm?id=2726>

WWF. 2002b. WWF, Greenpeace and ANSE protest against tuna farming in the Mediterranean. WWF press release, 29th April. <http://www.panda.org/news/press/news.cfm?id=2869>

Yokoyama . H. 2000. Environmental quality criteria for aquaculture farms in Japanese coastal areas- A new policy and its potential problems. *Bull. Natl Res. Inst. Aquacult.*; **29**:123-134.