



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

**DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE JUVENILES DE
TOTOABA (*Totoaba macdonaldi*: GILBERT, 1891), EN
RELACIÓN CON LAS VARIABLES AMBIENTALES EN EL
ALTO GOLFO DE CALIFORNIA Y DEL DELTA DEL RÍO
COLORADO**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos
Naturales
(Orientación en Pesquerías)

p r e s e n t a

Carmen Valdez Muñoz

La Paz, B.C.S. Enero de 2010

ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 12:00 horas del día 17 del Mes de Agosto del 2009, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE JUVENILES DE TOTOABA (*Totoaba macdonaldi*: GILBERT, 1891), EN RELACIÓN CON LAS VARIABLES AMBIENTALES EN LA PARTE ALTA DEL GOLFO DE CALIFORNIA Y DELTA DEL RÍO COLORADO.


Presentada por el alumno:

CARMEN VALDEZ MUÑOZ

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN **PESQUERÍAS**


Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA


DR. EUGENIO ALBERTO ARAGÓN
DIRECTOR DE TESIS


DR. CESAR AUGUSTO SALINAS ZAVALA
CO-TUTOR


DR. SERGIO HERNÁNDEZ VÁZQUEZ
CO-TUTOR


DR. ALFREDO ORTEGA RUBIO
CO-TUTOR


DR. JOSÉ ALFREDO ARREOLA LIZÁRRAGA
CO-TUTOR


DRA. ELISA SERVIERE ZARAGOZA
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

COMITÉ TUTORIAL

Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega, Director de tesis

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. Cesar Augusto Salinas Zavala

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. Alfredo Ortega Rubio

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. Sergio Hernández Vázquez

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

COMITÉ REVISOR DE TESIS

Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega, Director de tesis

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. Cesar Augusto Salinas Zavala

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. Alfredo Ortega Rubio

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. Sergio Hernández Vázquez

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

JURADO DE EXAMEN DE GRADO

Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega, Director de tesis

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. Cesar Augusto Salinas Zavala

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. Alfredo Ortega Rubio

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. Sergio Hernández Vázquez

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. Luis Felipe Beltrán Morales (Suplente)

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.

RESUMEN

Distribución y abundancia de juveniles de totoaba, *Totoaba macdonaldi* (Gilbert, 1891), en relación con las variables ambientales en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.

El control del flujo del Río Colorado es considerado uno más de los factores que causaron el declive de la población de totoaba (*Totoaba macdonaldi*); especie en peligro de extinción, endémica del Golfo de California. Antes de 1935, las aguas del Río Colorado fluían libremente hasta descargar en el Golfo de California. Se ha documentado que los adultos llegaban al área de desove en el delta del río, buscando las aguas salobres del estuario. El represamiento de las aguas del río inició durante los años treinta, causando alteraciones ecológicas en el área de desove y crianza de la totoaba; y aunque el delta del río es considerado un estuario negativo, los adultos no han cambiado su patrón migratorio y los juveniles permanecen en su área de crianza. Se desconoce la influencia que han ejercido los cambios ambientales sobre los primeros estadios de vida de la especie. En este estudio se analizó la distribución y abundancia de juveniles de totoaba en relación con la salinidad, la profundidad y la temperatura. Los muestreos se realizaron durante los meses de julio y agosto de 1990 a 1996, 1999; y de junio a noviembre de 1996. En cada sitio de muestreo se registró la salinidad, la profundidad y la temperatura. Se estimó la captura por unidad de esfuerzo (CPUE: juveniles km⁻²), como índice de abundancia relativa y se correlacionó con los valores medios de las variables registradas en los sitios de captura de juveniles durante julio y agosto. EL análisis de regresión se utilizó para evaluar el efecto relativo de las variables ambientales sobre los juveniles de totoaba. La CPUE media anual se correlacionó con la descarga anual del flujo del río y con la precipitación anual de la región. Con los datos obtenidos durante los muestreos de junio a noviembre de 1996, se estimó la tasa de crecimiento en talla, tasa de crecimiento en peso y factor de condición relativo de los juveniles. El análisis de regresión avanzada se utilizó para analizar el efecto relativo de las variables ambientales sobre la tasa de crecimiento en talla y la condición de los juveniles. Durante julio y agosto, juveniles de 150 a 315 mm de longitud total fueron registrados en aguas con salinidades de entre los 35.3 y 39.5. La CPUE de juveniles y la salinidad no mostraron una relación significativa, al igual que la CPUE media anual de juveniles con el flujo del río y la precipitación. La CPUE media anual más alta fue obtenida en 1991 (34 juveniles km⁻²) y la más baja en 1995 (6 juveniles km⁻²). La temperatura y la salinidad estuvieron positiva y fuertemente correlacionadas, pero negativamente correlacionadas con la profundidad. No hubo relación significativa entre la CPUE y las variables ambientales. La tasa de crecimiento en talla y la condición de los juveniles estuvieron significativamente correlacionadas con la temperatura y la salinidad. Concluimos que la salinidad no es una variable que determine la distribución y abundancia de los juveniles de totoaba. Adicionalmente, que el Delta del Río Colorado y el Alto Golfo de California todavía son áreas de crianza adecuadas para la totoaba. Por esta razón, es importante preservar esas áreas de futuras alteraciones ecológicas.

Palabras clave: Totoaba, *Totoaba macdonaldi*, cambios ecológicos, Río Colorado.

ABSTRACT

Distribution and abundance of juvenile totoaba (*Totoaba macdonaldi* Gilbert, 1891) in relation to the environmental variables in the Upper Gulf of California and Colorado River Delta

The control of the Colorado River is considered one of the factors that caused the population decline of the totoaba (*Totoaba macdonaldi*), a threatened species endemic to the Gulf of California. Before 1935, water from the Colorado River flowed freely and discharged into the Upper Gulf of California. It has been documented that the adult totoaba migrated to their spawning ground in the river delta seeking brackish water from the estuary. The diversion of water of the river started during the 1930s causing ecological alterations in the spawning and nursery grounds of the totoaba, and although the river delta is considered a negative estuary, adults still return every year to reproduce in the delta. The juveniles then remain in their nursery ground. We do not yet know the specific effects of those environmental changes on the first stages of this species. We have analyzed the distribution and abundance of juvenile totoaba in relation to the salinity, depth, and temperature. Surveys of juvenile totoaba were made during July and August from 1991 to 1996, in 1999, and from June to November in 1996. Before each trawl CTD equipment was deployed to measure water salinity, depth, and temperature. We estimated the catch-per-unit-effort (CPUE: juveniles km⁻²) as the relative index of abundance and correlated this with the mean values of the recorded variables in the catch sites of juveniles during July and August. We used a regression analysis to assess the relative effect of the environmental variables on the juvenile totoaba. The mean annual CPUE was correlated with the discharge of the river flow and with the annual precipitation in the region. Growth rates and the relative condition factor were estimated with the dates from June to November in 1996. We used the stepwise regression analyses to assess the relative effect of the environmental variables on growth rate in length and the relative condition factor. Juveniles from 150 -to 315 - mm total length were recorded in water with salinity between 35.3 and 39.5 in July and August. We found no significant relationship between the CPUE of the juveniles and salinity, nor of annual mean CPUE of the juveniles and its relationship to the river flow or precipitation. The highest annual CPUE of the juveniles was in 1991 (34 juveniles km⁻²) and the lowest in 1995 (6 juveniles km⁻²). The temperature and salinity were negatively and significantly correlated with depth. We found no significant relationships between the CPUE of juveniles and the three variables. Temperature and salinity were strongly and significantly correlated with the growth rate and with the condition of juveniles. We concluded that salinity is not a variable that determines the distribution and abundance of the juvenile totoaba. Additionally, the Colorado River Delta and Upper Gulf of California are still suitable nursery grounds. For this reason, it is important to preserve these grounds from further ecological alteration.

Key words: Totoaba, *Totoaba macdonaldi*, ecological changes, Colorado River.

Dedicatoria

Para:

Humberto, Esperanza y Fabiola

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional en Ciencia y Tecnología (CONACyT), por su apoyo con la beca No. 194762, otorgada para la realización de este proyecto de doctorado.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), por brindarme la oportunidad de realizar mi proyecto de doctorado en sus instalaciones y por todo el apoyo logístico que me brindaron.

A los integrantes de mi comité tutorial Dr. E. Alberto Aragón Noriega, por su confianza, apoyo y orientación para el desarrollo de esta tesis; Dr. Alfredo Ortega Rubio, por compartir sus conocimientos y por su valiosa contribución en el desarrollo de esta tesis; Dr. C. Augusto Salinas Zavala, por su confianza y apoyo brindado en todo momento; Dr. J. Alfredo Arreola Lizárraga, por sus sugerencias y comentarios que fueron importantes para este trabajo; Dr. Sergio Hernández Vázquez, por la confianza y apoyo brindado en la realización de esta tesis.

Al personal administrativo del Departamento de Posgrado del CIBNOR, un reconocimiento muy especial, por su calidad y apoyo incondicional.

Al Instituto Tecnológico de Guaymas (ITG), por el apoyo logístico brindado para el buen desarrollo de mi proyecto doctoral.

CONTENIDO	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
III. HIPÓTESIS.....	6
IV. OBJETIVOS.....	
4.1. Objetivo General.....	6
4.2. Objetivos específicos.....	6
V. ÁREA DE ESTUDIO.....	7
VI. MATERIAL Y MÉTODOS.....	10
6.1. Información biológica.....	10
6.1.1. Muestreos biológicos.....	10
6.1.2. Captura y biometrías de juveniles de totoaba.....	10
6.1.3. Capturas históricas de la pesquería de la totoaba.....	10
6.1.4. Información bibliográfica sobre aspectos biológicos de la totoaba.....	11
6.2. Aspectos ambientales del área de estudio.....	11
6.2.1. Muestreo de variables ambientales.....	11
6.2.2. Información bibliográfica sobre aspectos físicos, hidrológicos y biológicos del área de estudio.....	11
6.3. Análisis de datos.....	12
6.3.1. Relación entre producción de totoaba, flujo del río y precipitación.....	12
6.3.2. Abundancia de juveniles de totoaba.....	12
6.3.3. Abundancia media anual de juveniles de totoaba.....	12
6.3.4. Abundancia de juveniles de totoaba en relación con las variables ambientales.....	13
6.3.5. Análisis de contenido estomacal de juveniles de totoaba.....	14
6.3.6. Relaciones biométricas y crecimiento de juveniles de totoaba.....	14
6.3.7. Tasa de crecimiento en talla, tasa de crecimiento en peso y factor de condición de juveniles de totoaba.....	15
6.3.8. Tasa de crecimiento en talla, tasa de crecimiento en peso y factor de condición de juveniles de totoaba en relación con la temperatura y la Salinidad.....	15
VII. RESULTADOS.....	16
7.1. Caracterización de Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.....	16
7.1.1. Clima.....	16
7.1.2. Batimetría.....	18
7.1.3. Corrientes.....	19
7.1.4. Mareas.....	20
7.1.5. Salinidad y temperatura del agua.....	21
7.1.6. Turbidez.....	23
7.1.7. Nutrientes.....	24
7.1.8 Productividad primaria.....	25
7.1.9. Zooplancton.....	25
7.1.10. Invertebrados y peces.....	25
7.2. Cambios ambientales en el Delta del Río Colorado y Alto Golfo de	

California por el bajo aporte de agua dulce.....	26
7.2.1. Descargas históricas del flujo del Río Colorado.....	26
7.2.2. Cambios en la salinidad.....	27
7.2.3. Cambios en las dimensiones del área.....	28
7.3. Producción histórica de la pesca comercial de la totoaba.....	30
7.3.1. Relación entre la producción de totoaba, el gasto del Río Colorado y la precipitación en el Valle de Mexicali, B.C. y San Luis R.C., Sonora.....	30
7.4. Distribución y abundancia de juveniles de totoaba en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.....	33
7.4.1. Distribución y abundancia de juveniles de totoaba en relación con la profundidad.....	33
7.4.2. Abundancia de juveniles de totoaba en relación con la salinidad.....	36
7.4.3. Abundancia de juveniles de totoaba en relación con el gasto del Río Colorado y la precipitación.....	37
7.4.4. Abundancia de juveniles de totoaba en relación con las variables ambientales.....	37
7.5. Análisis de contenido estomacal de juveniles de totoaba.....	39
7.6. Tasas de crecimiento y condición de juveniles de totoaba en relación con las variables ambientales.....	40
7.6.1. Estructura de tallas de juveniles de totoaba.....	40
7.6.2. Relaciones biométricas.....	42
7.6.3. Relación entre tasa de crecimiento en talla, tasa de crecimiento en peso y condición de juveniles de totoaba y las variables ambientales.....	42
VIII. DISCUSIONES.....	45
8.1. Distribución y abundancia de juveniles en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.....	45
8.1.1. Distribución y abundancia de juveniles de totoaba en relación con la salinidad.....	45
8.1.2. Distribución y abundancia de juveniles de totoaba en relación con las variables ambientales.....	47
8.2. Análisis de contenidos estomacales de juveniles de totoaba.....	49
8.3. Tasas de crecimiento y condición de juveniles de totoaba en relación con las variables ambientales.....	50
8.3.1. Tasa de crecimiento en talla y tasa de crecimiento en peso de juveniles de totoaba.....	50
8.3.2. Relación entre tasa de crecimiento en talla, tasa de crecimiento en peso y factor de condición de juveniles de totoaba y las variables ambientales...	51
IX. CONCLUSIONES.....	53
X. BIBLIOGRAFÍA.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Localización del área de estudio.....	9
Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo de juveniles de totoaba.....	9
Figura 3. Precipitación media anual en el Valle de Mexicali y San Luis Río Colorado.....	17
Figura 4. Ubicación de los sitios de registro de la precipitación en el Valle de Mexicali y San Luis R. C.....	17
Figura 5. Batimetría del Alto Golfo de California.....	18
Figura 6. Velocidad y dirección de las corrientes registradas en julio de 1999 en la parte este del Alto Golfo de California.....	19
Figura 7. Estructura de las corrientes registradas en julio de 1999 en la parte este del Alto Golfo de California.....	20
Figura 8. Estructura de las corrientes registradas de junio a agosto en la parte oeste del Alto Golfo de California.....	20
Figura 9. Rango de mareas durante julio de 1999 en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.....	21
Figura 10. Rango de mareas durante junio a agosto en el Alto Golfo de California.....	21
Figura 11. Comportamiento diario de la temperatura del agua en julio de 1999 en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.....	22
Figura 12. Comportamiento anual de la temperatura en las costas de Baja California (1993 – 1997).....	22
Figura 13. Variabilidad espacial de la salinidad y la turbidez en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.....	24
Figura 14. Descarga anual del Río Colorado al Alto Golfo de California de 1929 al 2000.....	27
Figura 15. Gasto mensual del Río Colorado durante 1993 y 1996.....	28
Figura 16. Imágenes Landsat TM (Thematic Mapper), muestran los cambios en las dimensiones del área (A) con aporte de agua del río en junio de 1984 y (B) sin aporte de agua del río en 1982.....	29
Figura 17. Producción de la pesquería de la totoaba y gasto del Río Colorado (1929 – 1975).....	31
Figura 18. Producción de la pesquería de la totoaba y la precipitación anual (1948 - 1975) en el Valle de Mexicali, B. C. y San Luis, R. C.	31
Figura 19. Relación entre la abundancia de juveniles de totoaba y gasto del Río Colorado (1991 - 1996).....	32
Figura 20. Relación entre la abundancia de juveniles de totoaba y precipitación anual (1991 - 1996) en el Valle de Mexicali y San Luis, R. C., Sonora.....	32
Figura 21. Proporción de sitios con presencia de juveniles de totoaba a profundidades medias de 1.5 a 31.5 m. Frecuencia relativa de la captura de juveniles de totoaba por profundidad.....	33
Figura 22. Captura por unidad de esfuerzo media anual (CPUE \pm d.s.) de juveniles Durante julio y agosto de 1991 a 1996.....	36
Figura 23. Distribución y abundancia de juveniles de totoaba y la salinidad en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado durante julio y	

Agosto.....	38
Figura 24. Relación entre CPUE de juveniles de totoaba y las variables ambientales.....	39
Figura 25. Estructura de tallas de juveniles de totoaba en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.....	41
Figura 26. Relación longitud – peso de juveniles de totoaba capturados de junio a noviembre en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado..	43

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla I. Variación mensual de las variables ambientales de los sitios de captura de juveniles de totoaba en el Delta del Río Colorado de 1991 a 1996 y 1999.....	34
Tabla II. Variación mensual de las variables ambientales de los sitios de captura de juveniles de totoaba en el Alto Golfo de California de 1991 a 1996 y 1999.....	35
Tabla III. Relación entre las variables ambientales originales registradas en los sitios con presencia de juveniles de totoaba y los factores obtenidos del análisis factorial.....	40
Tabla IV. Conversiones morfométricas de juveniles de totoaba capturados de junio a noviembre en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.....	42
Tabla V. Tasa de crecimiento en talla, tasa de crecimiento en peso y factor de condición relativo de juveniles de totoaba.....	43

I. INTRODUCCIÓN

La alteración de los ecosistemas costeros es producto de procesos generales de crecimiento poblacional y desarrollo, los cuales algunas veces incorporan algún grado de impacto, en ocasiones alto o irreversible sobre los diferentes hábitats que albergan un gran número de especies.

Un ejemplo de estos ecosistemas es el alto Golfo de California y delta del Río Colorado, el cual presenta atributos muy especiales por sus características hidrológicas, alta diversidad y alto grado de endemismo (de las 37 especies de peces endémicas del Golfo, 22 están confinadas al Alto Golfo) (Thomson *et al.* 2000). Es una zona de crianza y desarrollo de muchas especies de importancia comercial y ecológica, como el camarón y la totoaba. Hoy en día, el delta está totalmente expuesto a fuerzas hidrodinámicas; la intervención del hombre en la cuenca hidrológica del Río Colorado ha eliminado descargas de agua y suministros de sedimentos a la boca y delta del río (Carriquiry y Sánchez, 1999), generando cambios en la dinámica y en general en el sistema ecológico de la región.

La información histórica señala que durante los primeros años del siglo pasado, los flujos primaverales del río Colorado provocaban un incremento significativo en la reproducción y crianza de la biota marina. Con la disminución paulatina del flujo del río, períodos espaciados del mismo, las altas tasas de evaporación y la baja precipitación, le dieron a la región características anti-estuarinas (Álvarez-Borrego y Galindo-Bect, 1974; Lavín *et al.*, 1998).

Estas alteraciones ambientales, aunadas a la aplicación de un esfuerzo pesquero desmedido, la pesca incidental de juveniles por redes camaroneras, la pesca incidental de preadultos por la pesca deportiva y de adultos por redes tiburonerías, son considerados como agentes causales de la disminución de la población de la totoaba (*Tototaba macdonaldi*). Esta especie es de interés para nuestro país por su estatus de especie endémica, en peligro de extinción. Fue el primer pez marino considerado en peligro de extinción y enlistado así en 1976 por la Convención Internacional sobre el Tráfico de Especies en peligro (CITES, apéndice I) y en la Norma Ecológica NOM-059-ECOL-2001. Es importante también por haber constituido la pesquería de escama más importante del Golfo de California durante la primera mitad del siglo pasado. Hoy en día, los posibles efectos adversos no están bien documentados, se desconoce el tamaño de la población que desova anualmente, la tasa de supervivencia de huevos y larvas, los movimientos y permanencia de juveniles en el área, así como la influencia que han ejercido los cambios ambientales sobre estos estadios.

La falta de información biológica y el estado de las especies de interés, constituyen un problema para la conservación biológica. Aspectos biológicos importantes no se encuentran disponibles en la literatura publicada, dificultando la comprensión del ciclo de vida de las especies e impidiendo el análisis y recomendaciones de manejo para su conservación. Por otro lado, se han sembrado los primeros lotes de juveniles de totoaba criados en sistemas controlados (Conal *et al.*, 1997); ésta práctica es ahora vista como una herramienta más de manejo pesquero, pero se recomienda tener conocimiento del papel ecológico de la especie para valorar la práctica de repoblamiento. El presente trabajo aporta información sobre la biología y ecología de la totoaba en su etapa juvenil.

II. ANTECEDENTES

La totoaba, es un pez marino, endémico del Golfo de California, considerado como uno de los representantes de mayor tamaño de la familia Sciaenidae. Las longitudes máximas registradas para adultos reproductores son de 1.97 m para hembras y 1.70 m para machos (Barrera-Guevara, 1985).

El área de distribución de la totoaba se extiende desde la desembocadura del Río Colorado hasta Mulegé, por la parte oeste del Golfo de California y hasta la desembocadura del Río Fuerte, Sinaloa, por las costas de Sonora y Sinaloa. Una de las características de esta especie es que realiza migraciones anuales. Estas son de dos tipos: una con el probable objeto de huir de las aguas cálidas que se almacenan durante los meses de verano en las aguas litorales del golfo y que las impulsa a refugiarse en aguas profundas y frías; otra, la más importante y que motiva que esta especie reciba el calificativo de “anádroma”, que hace que todos los años se dirija a las aguas salobres de la desembocadura del Río Colorado con objeto de reproducirse (Berdegué, 1955).

Los adultos llegan a desovar al Delta del Río Colorado durante el invierno, donde permanecen por varias semanas antes de emigrar al sur. Berdegué (1955), indica que el periodo reproductivo de la totoaba inicia a finales de febrero, extendiéndose hasta principios de junio; mientras que Barrera-Guevara (1992), describe un periodo reproductivo de enero a mayo.

La presencia de juveniles en la región del delta está asociada a sustrato del tipo arcilloso y arcilloso-limoso, correspondiendo a sitios con aguas muy turbias (Valdez-Muñoz, 2004). La dieta de juveniles de 19 a 29 cm de longitud patrón (aproximadamente un año de edad) capturados en la desembocadura del Río Colorado consiste principalmente de camarones juveniles, seguido de peces pequeños de la familia Gobidae (*Gobionellus longicauda* y *Gillichthys miracilis*) y por último de restos de pinzas y otras partes de cangrejos no identificados (Berdegué, 1955). Los juveniles permanecen por dos años en la parte alta del golfo antes de emigrar a aguas más profundas (Arvizu y Chávez, 1972). Los adultos de 92 a 127 cm de longitud patrón (3 a 8 años de edad) se alimentan principalmente de anchovetas (*Cetengraulis mysticetus*) y anchoas (*Anchoa mündeloides*), seguido de camarones grandes y algunos restos de cangrejo y peces no identificados (Berdegué, 1955); Román- Rodríguez (1990), describe a la especie como un pez carnívoro poco selectivo, depredador de organismos abundantes en la región.

La pesca comercial de la totoaba comenzó a principios de siglo XX en Guaymas, Sonora. Su pesca fue grandemente ejercida durante los desplazamientos y migraciones de los reproductores al extremo norte del Golfo de California y para la década de los setentas, la pesquería mostró una notable declinación (Rosales-Juárez y Ramírez-González, 1987). En 1975 el gobierno mexicano decreta veda permanente por tiempo indefinido (Rosales y Ramírez-González, 1987; Flanagan y Hendrickson, 1976). En 1976 es colocada en el listado de especies en peligro de extinción por la Convención Internacional para el Tráfico de Especies en Peligro (CITES, Apéndice I). En septiembre de 1978, el Servicio Nacional de Pesquerías Marinas de los Estados Unidos de Norteamérica, evaluó su estado biológico y en mayo de 1979 fue adicionada a su lista de especies en peligro de extinción, bajo el

Registro Federal 44(99): 29478-29480; además, es la única especie de escama marina considerada en el Programa de Vida Silvestre 1995-2000 (INE, SEMARNAT, 1996).

Entre los factores responsables de la disminución de la población se ha considerado el efecto combinado de la sobreexplotación y las alteraciones del hábitat. La pesca de adultos fue fuertemente ejercida hasta 1975, durante sus migraciones anuales de reproducción al delta del Río Colorado. Cuando la pesquería fue prohibida, la pesca clandestina persistió. Los juveniles (llamados “machorros”) son capturados de manera incidental por las redes camaroneras. Los pre-adultos son afectados por la pesca deportiva en la parte alta del Golfo y los adultos por las redes tiburoneras. El área de desove y crianza de la totoaba ha sido alterada por el control del flujo del Río Colorado y las aguas residuales de la agricultura (Cisneros-Mata *et al.*, 1997). El Río Colorado solía descargar volúmenes importantes de agua dulce al Golfo de California, pero éstos se han detenido ó disminuido de manera importante desde 1935, cuando empezó el llenado de la presa Hoover (Lavín y Sánchez, 1999). La reducción del flujo del Río Colorado alteró la salinidad, temperatura, corrientes y la cantidad de detritus (con incidencia negativa sobre la productividad primaria), factores que pueden haber afectado adversamente el desarrollo de huevos y larvas (Álvarez-Borrego, 1983; Silber, 1990). Sin embargo, los efectos específicos de esos factores sobre la población de totoaba todavía no han sido demostrados.

Las estrategias de planeación para la recuperación de ésta especie requieren la estimación de los efectos producidos por los cambios antropogénicos. Para estimar el riesgo de

extinción de la totoaba es necesario conocer la influencia que ejerce el medio sobre la población.

III. HIPÓTESIS

El Alto Golfo de California y el Delta del Río Colorado aun presentan las condiciones ecológicas que la totoaba necesita para continuar con su ciclo de vida, a pesar de los efectos antropogénicos introducidos en ese ecosistema.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Conocer la distribución y abundancia de juveniles de la totoaba *Totoaba macdonaldi*, (Gilbert, 1891), en respuesta a las condiciones ecológicas en el Alto Golfo de California y parte baja del Delta del Río Colorado.

4.2. Objetivos específicos

4.2.1. Caracterizar el área de distribución de juveniles de totoaba en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.

4.2.2. Relacionar la distribución y abundancia de los juveniles de totoaba con las características del hábitat.

4.2.3. Definir los factores más importantes que caracterizan el hábitat de la totoaba en su etapa juvenil.

V. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende el Alto Golfo de California (AGC) y el Río Colorado (DRC), ubicada entre los 30° 00' - 31° 43' Latitud Norte y 114° 08' - 114° 52' Longitud Oeste (Fig. 1). Se encuentra incluida en la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado RBAGCDRC, decretada por el gobierno el México el 10 de junio de 1993 en el Diario Oficial Federación. Tiene una superficie de 934,756 ha, integrada por una zona núcleo denominada “Delta del Río Colorado”, con superficie de 164,779 ha y una zona de amortiguamiento con superficie de 769, 976 ha.

Es una zona con menos de 30 m de profundidad (Lavín y Sánchez, 1999). La parte baja del delta del Río Colorado se localiza en la porción donde se intersectan las costas de Sonora y Baja California Norte. El canal del río rápidamente se amplía, formando una cuenca estuarina de 50 km de largo. El estuario comprende numerosos canales separados por alargadas barras de mareas que se extienden hasta 50 km al sureste de la boca del río (Meckel, 1975; Thompson, 1968). La configuración del fondo en la porción del delta es irregular con una serie de canales y bajos con dirección noroeste – suroeste (Álvarez-Borrego *et al.*, 1983).

En la zona se presentan ciclos de mareas semidiurnos, registrándose variaciones en el nivel del mar de 6.95 m en San Felipe y hasta de 10 m en el delta del Río Colorado (Thompson *et al.*, 1969). Esto provoca gran turbidez en el agua por suspensión de sedimentos, la cantidad de éstos, varía geográfica y estacionalmente con los ciclos de marea diurnos; la mayor

turbidez se encuentra en los alrededores de la Isla Montague, en la boca del río (menos de 0.5 m de transparencia), las aguas cercanas a las costas de Sonora son menos turbias (entre 0.5 y 1.0 m de transparencia), con niveles moderados cerca del Golfo de Santa Clara, Sonora (Hernández – Ayón *et al.*, 1993).

El Alto Golfo de California es un anti-estuario negativo en el cual la salinidad y la densidad se incrementan hacia la cabeza a través de todo el año, a pesar del gradiente de temperatura de verano a invierno (Lavín *et al.*, 1998). La salinidad registrada durante el invierno es de 35 en el norte del Golfo de California y cerca de 37 en la boca del río, decreciendo hasta los 33 en el extremo interno del anti-estuario. Durante el verano la salinidad se incrementa a 36 en el norte del golfo y cerca de 40 en la boca del río y 38 en el extremo interno del anti-estuario (Martínez-Rojas, 1990). La temperatura superficial del delta del Río Colorado, debido a lo somero de la zona, está influenciada por la temperatura ambiental y el viento, presentando un intervalo amplio de variación desde 8.3 °C en diciembre, hasta 32.6 °C en julio y agosto (Martínez-Rojas, 1990).

Santamarina-del Ángel *et al.* (1996), caracterizan al delta como un medio con una alta concentración de nutrientes. La gran cantidad de nutrientes presentes en el delta dependen principalmente del acoplamiento entre los procesos de resuspensión de sedimentos del fondo, la mezcla del agua intersticial con la columna de agua, el aporte de nutrientes por la marisma, los ciclos de marea, los procesos de erosión del delta y los procesos de remineralización (Cupul-Magaña, 1994).

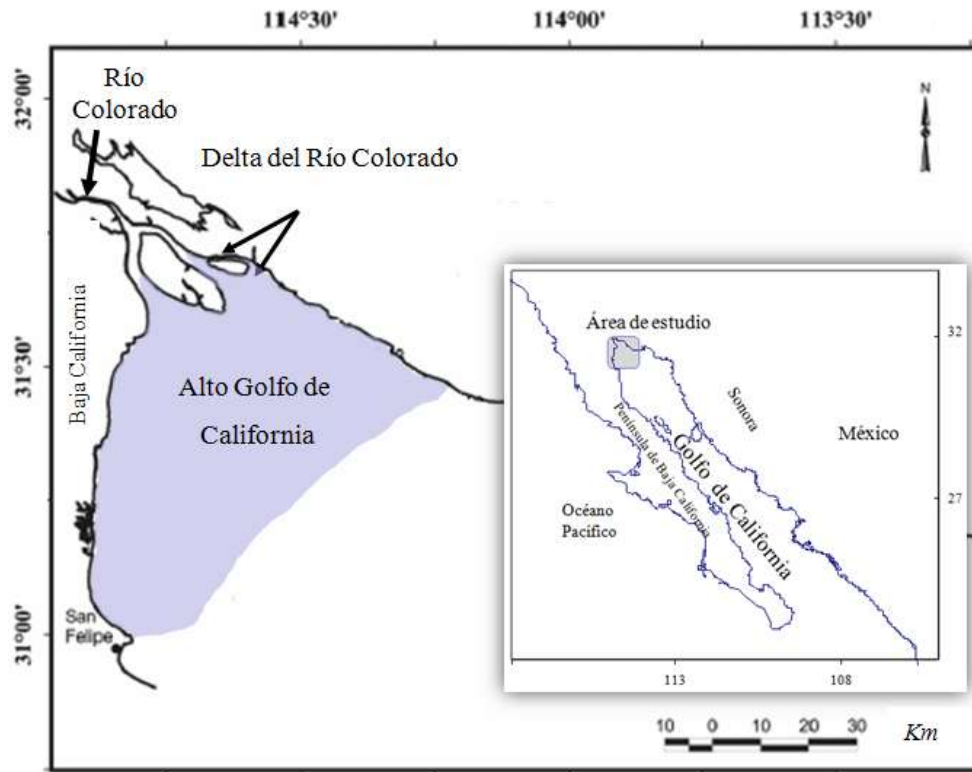


Figura 1. Localización del área de estudio.

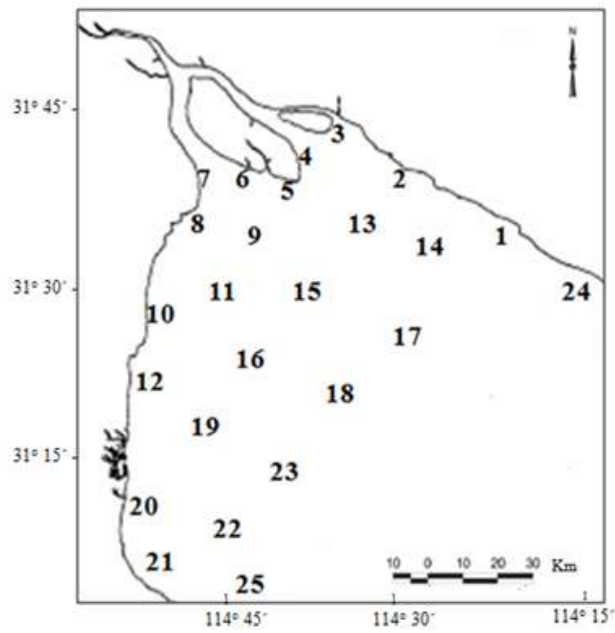


Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo de juveniles de totoaba.

VI. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1. Información biológica.

6.1.1. Muestreos biológicos.

Los muestreos se llevaron a cabo durante los meses de julio y agosto de 1991 a 1996 y 1999; y de junio a noviembre de 1996. En el delta, se utilizó una embarcación menor con motor fuera de borda y red de arrastre tipo fantasma de 2 pulgadas de abertura de malla, operando a profundidades de 0 a 5 m. En el alto golfo, se utilizaron barcos camaroneros y chinchorros de línea de 2 pulgadas de abertura de malla, operando a profundidades de 3.5 a 35 m. En ambos casos el tiempo fue estandarizado a una hora.

6.1.2. Captura y biometrías de juveniles de totoaba.

Se registró el número total de juveniles capturados en cada arrastre. A cada uno se le registró la longitud total (*LT*) y la longitud estándar (*LS*), en milímetros (mm) y el peso en gramos (g).

6.1.3. Capturas históricas de la pesquería de la totoaba.

Los datos sobre capturas históricas de la pesquería de la totoaba fueron obtenidos de los anuarios estadísticos de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (antes, Dirección General de Pesca e Industrias Conexas).

6.1.4. Información bibliográfica sobre aspectos biológicos de la totoaba.

Se obtuvo información biológica de la totoaba de contribuciones previas (Berdegué, 1955; Rosales y Ramírez-González, 1987; Flanagan y Hendrickson, 1976; Barrera-Guevara, 1990, 1992; Román-Rodríguez, 1990; Cisneros-Mata *et al.*, 1997; Valdez-Muñoz, 2004).

6.2. Aspectos ambientales del área de estudio.

6.2.1. Muestreos de variables ambientales.

Cada sitio de muestreo se ubicó geográficamente con equipo de sistema de posicionamiento global por satélite, en cada lugar se registró: profundidad (P), temperatura (T) y salinidad (S), mediante equipo CTD (Seabird Electronic Bird). El valor medio de cada variable se registró mensualmente. En los muestreos de 1999 se colocó un sensor oceanográfico (Interocean System S4DW) en el alto golfo (en las costas de Sonora), para medir la velocidad y dirección de las corrientes.

6.2.2. Información bibliográfica sobre aspectos físicos, hidrológicos y biológicos del área de estudio.

Los datos sobre precipitación fueron obtenidos de la Comisión Nacional del Agua (CNA); mientras que los datos del flujo del Río Colorado los proporcionó la Comisión Internacional sobre Límites de Agua (CILA). Se obtuvo información sobre salinidad y temperatura del agua (Lavín y Organista, 1988; Álvarez-Borrego y Galindo-Bect, 1974; Álvarez-Borrego *et al.*, 1975; Álvarez-Borrego, 1979, 2003); sobre corrientes y masas de agua (Marinone y Lavín, 1997); sedimentos (Carriquiry y Sánchez, 1999); postlarvas de camarón (Aragón– Noriega y Calderón–Aguilera, 2000; Galindo-Bect *et al.*, 2007);

biomasa del zooplancton (Farfán y Álvarez-Borrego, 1992); turbidez y productividad primaria (Santamarina-del Ángel *et al.*, 1996).

6.3. Análisis de datos.

6.3.1. Relación entre producción de totoaba, flujo del Río Colorado y precipitación.

Con los datos sobre capturas históricas de la pesquería de la totoaba, los datos del flujo del Río Colorado y precipitación se construyeron histogramas de frecuencia y se llevaron a cabo análisis de regresión.

6.3.2. Abundancia de juveniles de totoaba.

La captura por unidad de esfuerzo (CPUE; juveniles km⁻²) fue utilizada como índice de abundancia relativa. Para estimarla se utilizó el método del área barrida (Sparre y Venema, 1997), mediante la fórmula:

$$a = D * r_s * X_2 \quad (1)$$

donde, a es el área barrida, ($D = v * t$) la distancia recorrida por la embarcación, v es la velocidad de desplazamiento de la red sobre el fondo en km h⁻¹, t es el tiempo de duración del arrastre (estandarizado a 1 hr), r_s la longitud de la relinga superior y X_2 es la parte de la relinga superior que equivalente al ancho del sector barrido por la red.

6.3.3. Abundancia media anual de juveniles de totoaba.

Las CPUE de juveniles estimadas en julio y agosto fueron comparadas mediante la prueba de Wilcoxon, con $n = 2$ arrastres y $a = 11$ profundidades (Sokal y Rohlf, 1995). Al no

encontrar diferencias significativas ($P > 0.05$) entre la abundancia de ambos meses los datos fueron promediados y considerados como una sola muestra para producir un estimado de CPUE anual. Los nuevos valores de CPUE así obtenidos fueron transformados $[\text{Log}(X + 1)]$ para reunir los supuestos de normalidad y compararlos mediante un ANOVA de un solo factor. Este análisis indicó diferencias significativas ($P < 0.05$) en la CPUE entre años. La prueba HSD de Tukey fue utilizada para determinar los años en que existían diferencias.

6.3.4. Abundancia de juveniles en relación con las variables ambientales.

Se realizó un análisis de correlación entre las variables ambientales (profundidad, temperatura y salinidad) para determinar relaciones significativas entre ellas. Para analizar gradientes ambientales y relacionarlos con la abundancia (CPUE) de los juveniles de totoaba, se utilizó el Análisis Factorial, utilizando para la factorización el método de Componentes Principales (ACP), de acuerdo a Afifi y Clark (1990),

$$F_j = \sum_j \beta_{ij} * (X_j - \bar{X}_j) * S_j^{-1}, \quad (2)$$

donde, β_{ij} es el eigenvector j -ésimo del factor F_j , que representa la contribución de cada variable ambiental X_j con media \bar{X}_j y varianza S_j^2 . Con los factores F_j que explicaron alto porcentaje de la variabilidad total se graficaron en las agrupaciones respectivas, considerando solamente abundancia alta y abundancia baja, de acuerdo a,

$$\text{Abundancia} = a_0 + \sum_j a_j * F_j \quad (3)$$

Para evaluar el efecto relativo de las variables ambientales sobre la abundancia de juveniles de totoaba se utilizó el análisis de regresión simple.

6.3.5. Análisis de contenido estomacal de juveniles de totoaba.

Para analizar el tipo de alimento que consumen los juveniles se analizó el contenido estomacal de 43 ejemplares de 165 a 310 mm de longitud total. Los estómagos se introdujeron individualmente en bolsas de plástico con formaldehído al 4% neutralizado en agua de mar. A cada bolsa se le introdujo una etiqueta con el número de ejemplar, la talla y peso del pez, ubicación geográfica y la fecha de captura de las muestras, para su posterior análisis en el laboratorio. En el laboratorio, los estómagos se abrieron mediante una incisión longitudinal y su contenido fue depositado sobre una malla fina de 1.0 mm para lavarlo y eliminar el formol sin pérdida de material. Cada categoría alimenticia se identificó hasta el nivel taxonómico más bajo posible, cuando el grado de digestión lo permitía. Para determinar los organismos presa que conforman la dieta de los juveniles de totoaba se utilizó el método de frecuencia de ocurrencia (FO), de acuerdo a la metodología descrita por Amezaga (1988). Este método permite conocer si una presa está presente o ausente en cada uno de los estómagos de la muestra a analizar. El número total de veces en que una categoría presa está presente en todos los peces (estómagos) analizados, es expresado como un porcentaje del total. Para la interpretación de este método se utilizó el siguiente criterio: si la FO de una categoría presa es mayor del 50% es considerado como alimento principal; si la FO es menor del 50% pero mayor del 10% es considerado alimento secundario; y si la FO es menor del 10% se considera alimento incidental.

6.3.6. Relaciones biométricas y crecimiento de juveniles de totoaba.

Las relaciones: $LT-LS$ y $LS-LT$, fueron mejor descritas por modelos lineales, mientras que las relaciones $LT-W$ y $LS-W$ a través de modelos potenciales de la forma,

$$W = a L^b, \quad (4)$$

donde, W es el peso individual del pez, a y b las constantes de ajuste del modelo y L es la longitud individual del pez.

6.3.7. Tasa de crecimiento en talla, tasa de crecimiento en peso y factor de condición de juveniles de totoaba.

La longitud total media mensual de los juveniles fue utilizada para calcular la tasa de crecimiento absoluta (G : mm d⁻¹ o g d⁻¹) media mensual de los peces, la cual fue estimada mediante la ecuación descrita por Ricker (1975),

$$G = [(Y_2 - Y_1) / (t_2 - t_1)], \quad (5)$$

donde, Y_1 y Y_2 son la longitud y el peso del pez al tiempo t_1 y t_2 .

El factor de condición relativo (Kn) fue estimado con la ecuación:

$$Kn = Wo/We, \quad (6)$$

donde, Wo es el peso de cada pez y We es su peso esperado obtenido de la regresión longitud-peso (Ricker, 1971). El crecimiento y la condición de los juveniles fueron tomados como índices de bienestar y salud.

6.3.8. Tasa de crecimiento en talla, tasa de crecimiento en peso y factor condición de los juveniles de totoaba en relación con la temperatura y la salinidad.

La fuerte correlación entre las variables ambientales (T, S) impidió el uso de análisis de regresión múltiple estándar. Para analizar la relación entre la tasa de crecimiento y el factor de condición de los juveniles con ambas variables ambientales se utilizó el análisis de

regresión múltiple avanzada, considerando el valor de inflación de la varianza (FIV) y la tolerancia (T).

VII. RESULTADOS

7.1. Caracterización del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.

7.1.1. Clima.

El clima para la región es del tipo muy seco (BW), con temperaturas medias anuales de 18 a 20°C, con dos subtipos, según el sistema Koeppen, modificado por García (1976). El subtipo BW hw (x') (e'), muy seco semicálido muy extremoso, cubre la costa de Sonora, mientras que el subtipo BW (h') hw (x') (e') muy seco muy cálido y cálido muy extremoso, ocurre en la mayor parte del delta del río y costas de Baja California. Presenta dos estaciones climáticas bien marcadas. Las precipitaciones se presentan durante el verano e invierno, muy escasas durante todo el año. La figura 3 muestra la precipitación media anual registrada durante el periodo de 1948 al 2000 en la región del Valle de Mexicali y San Luis Río Colorado. Se observa que la mayor parte de las precipitaciones medias anuales no sobrepasan los 200 mm de precipitación. Los círculos rojos de la figura 4 corresponden a los sitios donde se obtuvieron los registros de la precipitación.

Los vientos presentan un marcado ciclo estacional, con magnitudes de 8 a 12 m seg⁻¹ provenientes del noroeste en invierno y de 2 a 5 m seg⁻¹ del sureste en verano (Lavín *et al.*, 1997). El área presenta altas tasas de evaporación, con valores reportados de más de 3 m

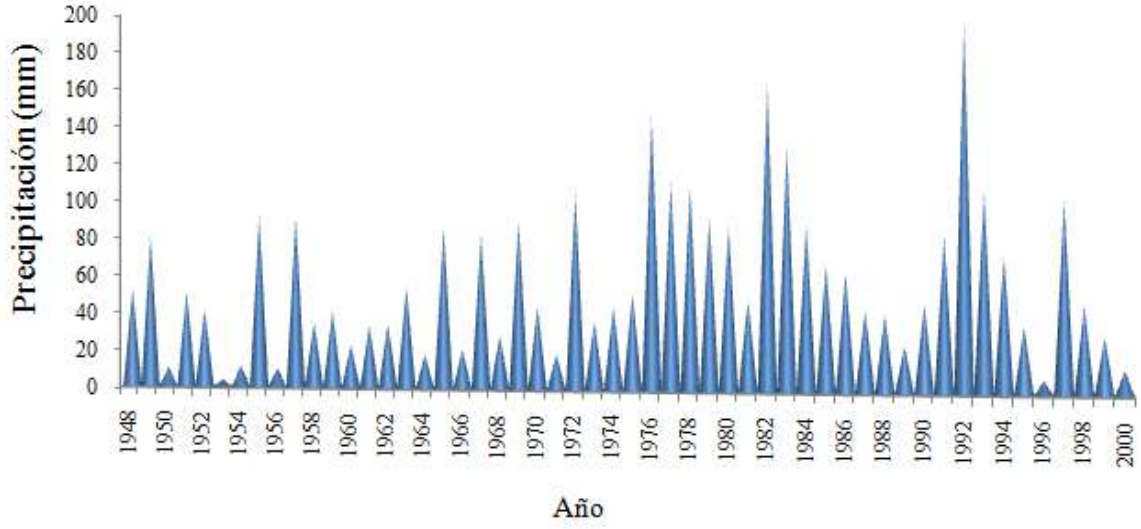


Figura 3. Precipitación media anual en el Valle de Mexicali y San Luis Río Colorado (Fuente: CNA).



Figura 4. Ubicación de los sitios de registro de precipitación en el Valle de Mexicali y San Luis Río Colorado (Fuente: CNA).

año⁻¹ (Bray, 1988). Este hecho sumado a la baja precipitación provoca aguas altamente salinas, en la parte alta del golfo adyacente a parte baja del delta del río.

7.1.2. Batimetría.

El área marina presenta un fondo generalmente plano, con pendientes que rara vez exceden el 0.5%, desde la línea de costa hasta una profundidad de 15 m (Thompson, 1969), dominando profundidades menores a los 50 m en su mayor parte (Fig. 5).

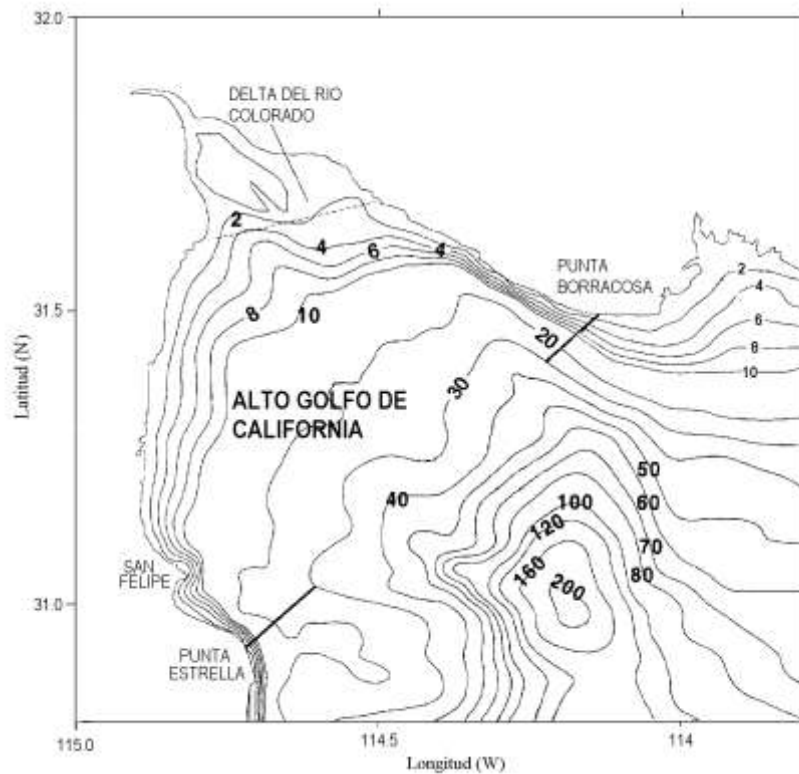


Figura 5. Batimetría del Alto Golfo de California (Fuente: Thompson, 1969).

En general, la batimetría es irregular caracterizada por canales y bajos paralelos a la costa, los cuales forman barras de marea alongadas que se extienden desde la boca del río hasta 50 km al sudeste (Thompson, 1969; Meckel, 1975). La mayor parte del área del alto golfo se caracteriza por una planicie plana de sedimentos donde la profundidad se incrementa gradualmente hacia la cuenca Wagner. Por el contrario, muy cerca de la costa de Sonora los cambios en profundidad se hacen abruptos evidenciando la presencia de un canal (Thomson, 1969). La porción del alto golfo presenta una serie de canales y bajos en dirección noroeste-sureste (Álvarez-Borrego *et al.*, 1974).

7.1.3. Corrientes.

En las costas de Sonora, las corrientes se encontraron orientadas a lo largo de la costa en dirección sureste-noroeste, con velocidades superiores a los 20 cm seg^{-1} (Figs. 6 y 7). La figura 8 muestra la estructura de las corrientes para la parte oeste del alto golfo (Galindo-Bect, 2003)

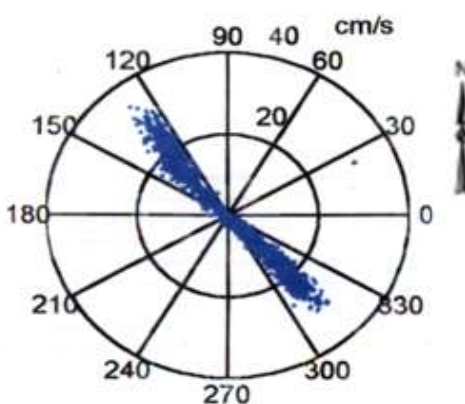


Figura 6. Velocidad y dirección de las corrientes registradas en julio de 1999 en la parte este del Alto Golfo de California.

7.1.4. Mareas.

El régimen de mareas es del tipo semidiurno, producido por fuertes corrientes de marea, con velocidades máximas de 30 cm seg^{-1} dentro de la cuenca estuarina y de 15 cm seg^{-1} en la plataforma marina somera adyacente al delta (Thompson, 1969; Filloux, 1973; Lavín *et al.*, 1997) (Figs. 9 y 10). El rango de mareas es de 7 a 10 m (Carbajal *et al.*, 1997).

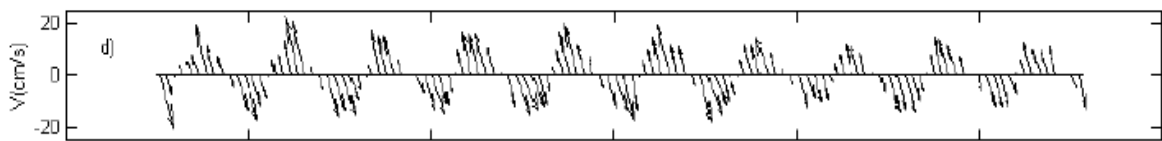


Figura 7. Estructura de las corrientes registradas en julio de 1999 en la parte este del Alto Golfo de California.

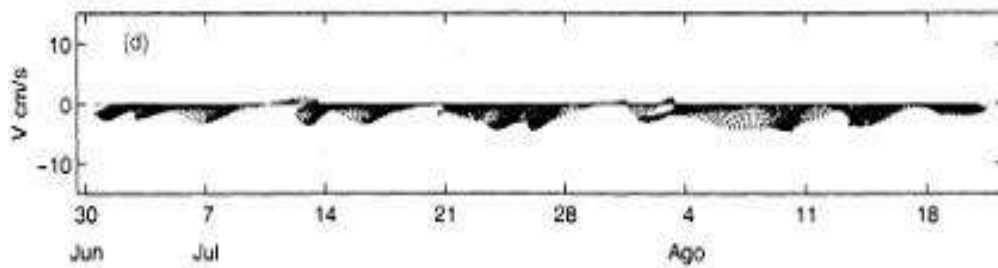


Figura 8. Estructura de las corrientes registradas de junio a agosto en la parte oeste del Alto Golfo de California (Fuente: Galindo-Bect, 2003).

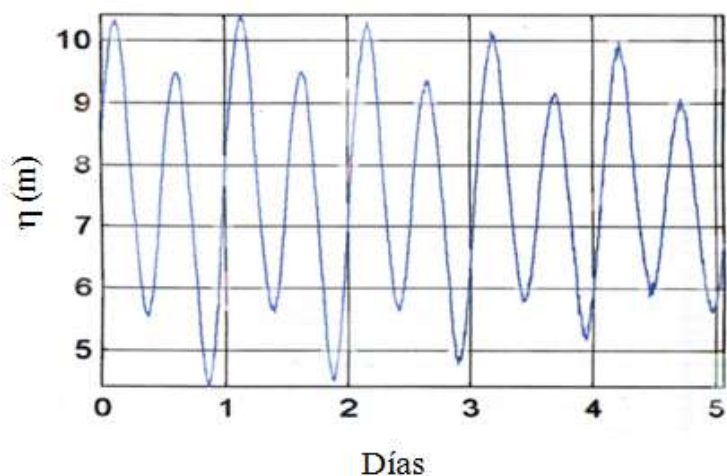


Figura 9. Rango de mareas registradas en julio de 1999 en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.

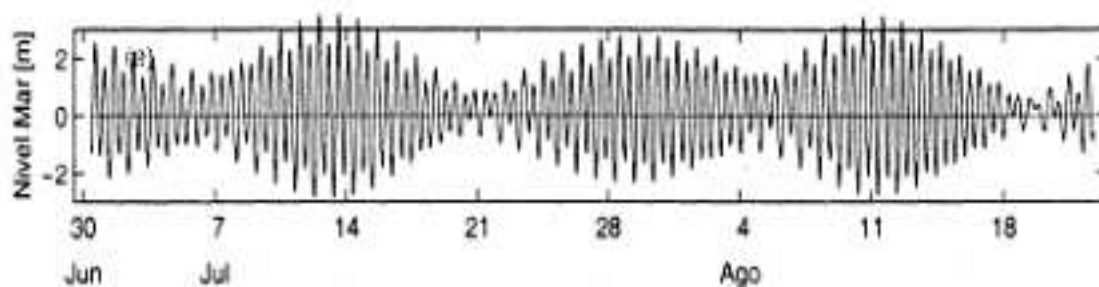


Figura 10. Rango de mareas durante junio a agosto en el Alto Golfo de California (Fuente: Galindo-Bect, 2003).

7.1.5. Salinidad y temperatura del agua.

En lo que fue la boca del Río Colorado y en la zona adyacente del golfo, las salinidades superficiales son cerca de 37 en invierno y más de 38 en verano, manteniendo el mismo gradiente, con los valores aumentando hacia el noroeste. Las temperaturas superficiales varían de alrededor de 10 °C en invierno a cerca de 32 °C en verano (Álvarez-Borrego y - Bect, 1974; Álvarez-Borrego *et al.*, 1975). La distribución de la salinidad y la temperatura

están determinados por flujos estacionales de calor y humedad con presencia de fuertes mezclas por mareas y mezclas convectivas (en invierno) (Lavín y Organista, 1988; Paden *et al.*, 1991).

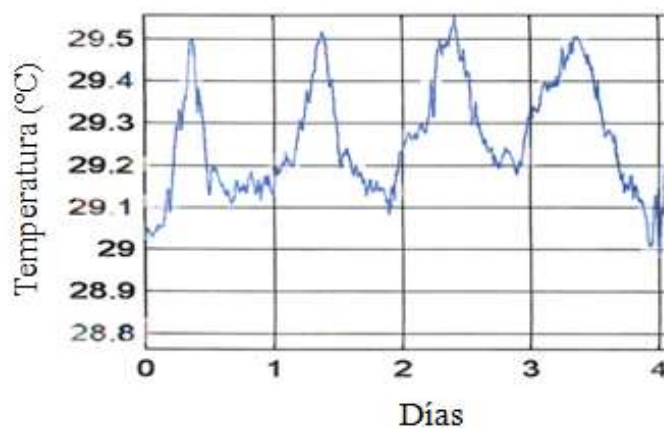


Figura 11. Comportamiento diario de la temperatura del agua en julio de 1999 en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.

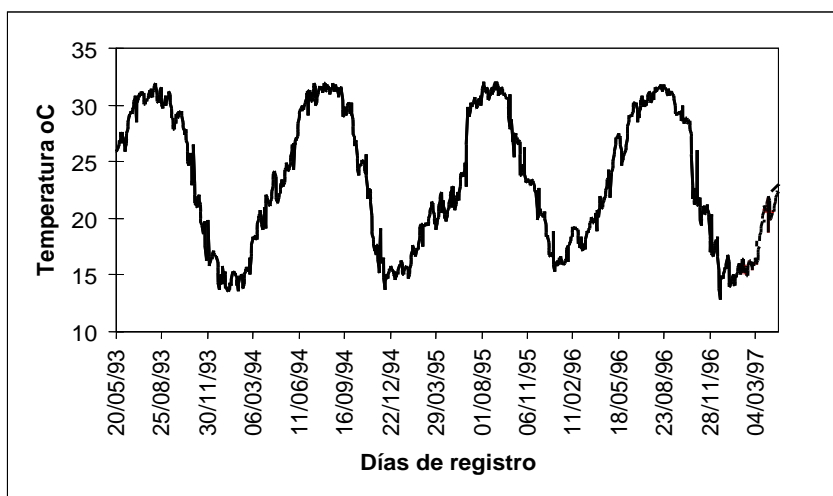


Figura 12. Comportamiento anual de la temperatura del agua en las costas de Baja California (1993 - 1997) (Fuente: Aragón-Noriega y García-Juárez, 2002).

La figura 11 muestra pulsos de temperatura con variabilidad diurnos para las costas de Sonora; mientras que la figura 12, muestra pulsos de temperatura con variabilidad anual para las costas de Baja California. El patrón de variabilidad espacial de la salinidad bajo condiciones de verano, descrito por Carriquiry y Sánchez (1999), se observa en la figura 13.

7.1.6. Turbidez.

La región del delta del Río Colorado es considerada un lugar extremadamente turbio. Alrededor de la Isla Montague, el disco de Secchi desaparece a menos de 5 cm del agua (Hernández-Ayón *et al.*, 1993). La energía cinética turbulenta mantiene una alta turbidez en el agua por suspensión de sedimentos, la cantidad de éstos varía geográfica y estacionalmente con los ciclos de marea diurnos. La turbidez más alta se registra en los alrededores de la Isla Montague, en la boca del río (menos de 0.5 m de transparencia), las aguas cercanas a las costas de Sonora son menos turbias (entre 0.5 y 1.0 m de transparencia), con niveles moderados cerca del Golfo de Santa Clara, Sonora (Hernández – Ayón *et al.*, 1993). Los sedimentos erosionados en la cuenca estuarina son llevados fuera del sistema a través del canal de Baja California (Fig. 13), dispersando sedimentos de granos finos hacia el sur, principalmente hacia la costa de Baja California (Carriquiry y Sánchez, 1999).

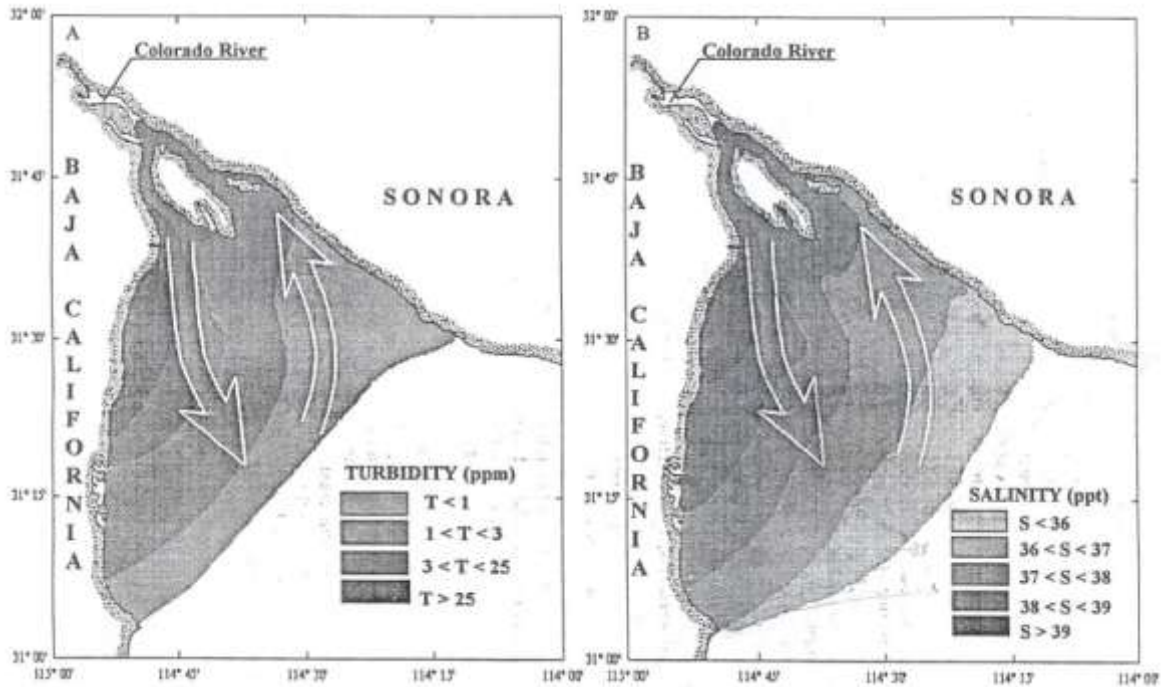


Figura 13. Variabilidad espacial de la salinidad y la turbidez en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado (Fuente: Carriquiry y Sánchez, 1999).

7.1.7. Nutrientes.

La circulación y las tasas de energía de disipación altas son mecanismos de fertilización natural. La alta turbulencia de las mareas lleva sedimentos en suspensión y mezcla de nutrientes a las aguas superficiales. La concentración de nutrientes en la superficie son usualmente altos en el centro y norte del golfo. En la parte alta del golfo adyacente a la Isla Montague los valores de nutrientes son del rango de los 0.3 a $3.1 \mu M$ y de 3.3 a $18.3 \mu M$ para PO_4 y NO_3 , respectivamente (Hernández-Ayón *et al.*, 1993).

7.1.8. Productividad primaria.

Las variaciones en la productividad están fuertemente regidas por los efectos ocasionados por las corrientes de marea. Las concentraciones de clorofila *a* y la abundancia del fitoplancton son mayores en el lado de Baja California que en el lado de Sonora, con concentraciones de 2.6 a 18.2 mg m⁻³ y 1.8 a 12.7 mg.m⁻³ de clorofila *a* y de 274 y 166 cel.mL⁻¹, respectivamente. Los dinoflagelados son más abundantes que las diatomeas. Los valores de producción primaria muestran una tendencia a decrecer de agosto a junio, mientras que la productividad primaria presenta tendencia a incrementarse durante la transición de la marea, alcanzando valores de 76 mg C.m⁻³.h⁻¹ (Millán-Núñez *et al.*, 1999).

7.1.9. Zooplancton.

Los copépodos calanoides son los grupos taxonómicos más abundantes en número y en biomasa en la parte adyacente a la boca del río. La biomasa del zooplancton en la parte alta del golfo no tiene un ciclo estacional claro; los valores de biomasa más altos (tan altos como 154 mg m⁻³) se encuentran alrededor de la Isla Montague (Farfán y Álvarez- Borrego, 1992).

7.1.10. Invertebrados y peces.

El área de estudio es reconocida por ser el área de reproducción y crianza de muchas especies de peces. Guevara- Escamilla *et al.* (1973), identificaron 73 especies de peces, colectadas sobre fondos suaves. Ellos encontraron un patrón de distribución espacial de juveniles de diferentes especies de peces, con mayor presencia en la parte norte de una línea imaginaria que conecta El Golfo de Santa Clara, Sonora, con un punto a 5 millas náuticas

de San Felipe, Baja California. La característica de esta área es la alta turbidez que provee protección y alimento a los juveniles de peces (Fig. 13).

Felix-Pico y Mathews (1975), identificaron 17 especies de invertebrados, con mayor abundancia alrededor de la Isla Montague. Su lista incluye especies de cnidarios, moluscos, artrópodos y equinodermos. El delta del río a pesar de haber perdido sus condiciones estuarinas, sigue siendo el área de crianza de camarones peneidos *L. stilylirostris* y *L. californiensis*, con proporciones de 85% a 15%, respectivamente.

El reclutamiento de postlarvas de camarón al estuario se inicia a mediados de mayo y el reclutamiento de postlarvas a juveniles los días primeros de junio, lo que indica que la permanencia de los estadios tempranos de camarón en el área de crianza es de aproximadamente de un mes (Galindo-Bect *et al.*, 2007).

7.2. Cambios ambientales en el Delta del Río Colorado y Alto Golfo de California.

7. 2.1. Descargas históricas del Río Colorado.

A principios del siglo pasado el Río Colorado liberaba $20 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ de agua dulce y $180 \times 10^6 \text{ ton año}^{-1}$ de sedimentos al mar (Thompson, 1968). Hoy en día, menos del 1% del flujo virgen llega a la boca del río (Aragón-Noriega y Calderón-Aguilera, 2000). El 90% del cauce ha sido desviado por la construcción de las presas Hoover en 1935 y Glenn Canyon en 1963, en Estados Unidos de Norteamérica; el resto, por un tratado internacional le pertenece a México, mismo que ha sido almacenado en la presa Morelos.

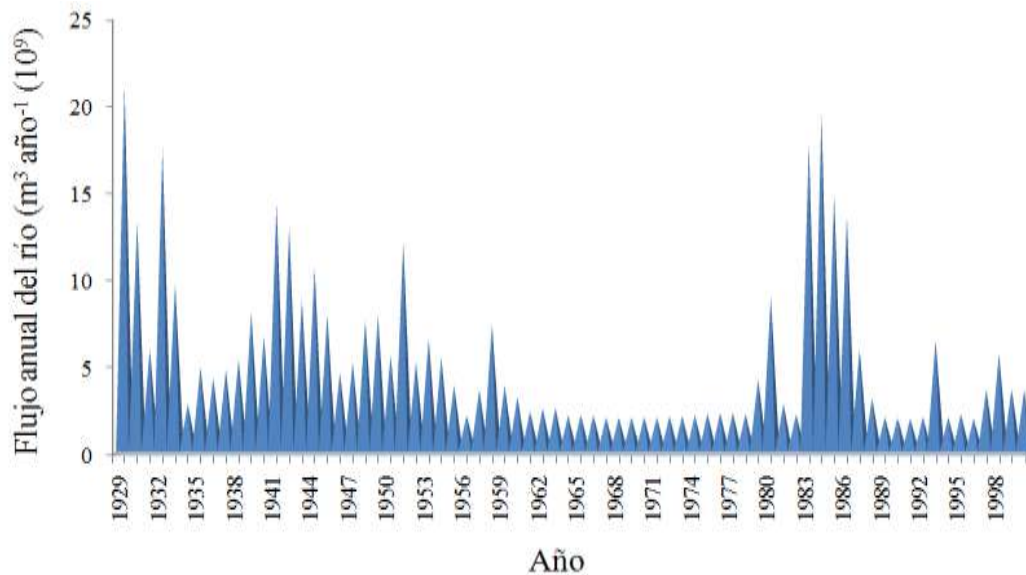


Figura 14. Descarga anual del Río Colorado al Alto Golfo de California de 1929 al 2000 (Fuente: CILA).

Desde 1966, poca agua ha sido vertida al golfo, exceptuando en algunos años excepcionalmente húmedos, debido a alta precipitación pluvial y deshielos anormales en la cuenca del río. En 1993 (año húmedo), el gasto del río superó los $300 \text{ m}^3 \text{seg}^{-1}$, que comparado con el gasto medio anual de 1973 (año seco) con menos de $100 \text{ m}^3 \text{seg}^{-1}$, resulta ser relativamente alto (Fig. 14). La figura 15 muestra la pérdida de señal por efecto del bajo aporte de agua dulce.

7.2.2. Cambios en la salinidad.

Con la disminución paulatina del flujo del río, períodos espaciados del mismo, las altas tasas de evaporación y la baja precipitación, le dieron a la región características anti-estuarinas (Álvarez-Borrego y Galindo-Bect, 1974; Lavín *et al.*, 1998). La salinidad mantiene un gradiente superficial con valores que se incrementan hacia el noroeste, con

valores superiores a los 38 en julio (Álvarez-Borrego, 1983). La figura 13 describe la distribución de la salinidad después del control del flujo del río.

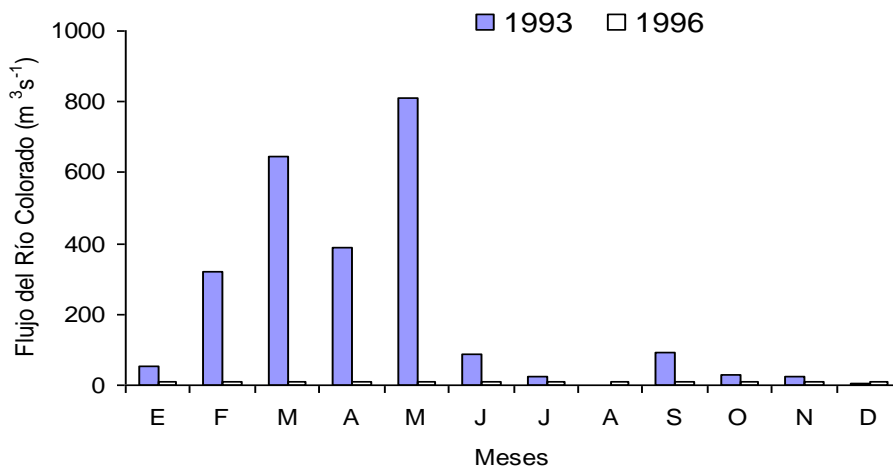


Figura 15. Gasto mensual del Río Colorado durante 1993 y 1996 (Fuente: Aragón-Noriega y García-Juárez, 2002).

7.2.3. Cambios en las dimensiones del área.

La intervención del hombre en la cuenca hidrológica del Río Colorado ha generado cambios en el sistema ecológico de la región. El escaso aporte de agua dulce del río ha ocasionado cambios en las dimensiones del área de marismas de agua dulce y salobre, produciendo un efecto negativo para muchas especies como el camarón. Aragón-Noriega y García-Juárez (2002), indican que las descargas de agua dulce del Río Colorado producen dos efectos positivos en el hábitat para las postlarvas de camarón: (1) se incrementa la capacidad de carga por adición de nutrientes, (2) incremento del área. Esto puede dar como resultado que las postlarvas disponen de mayor cantidad de alimento y mayor espacio

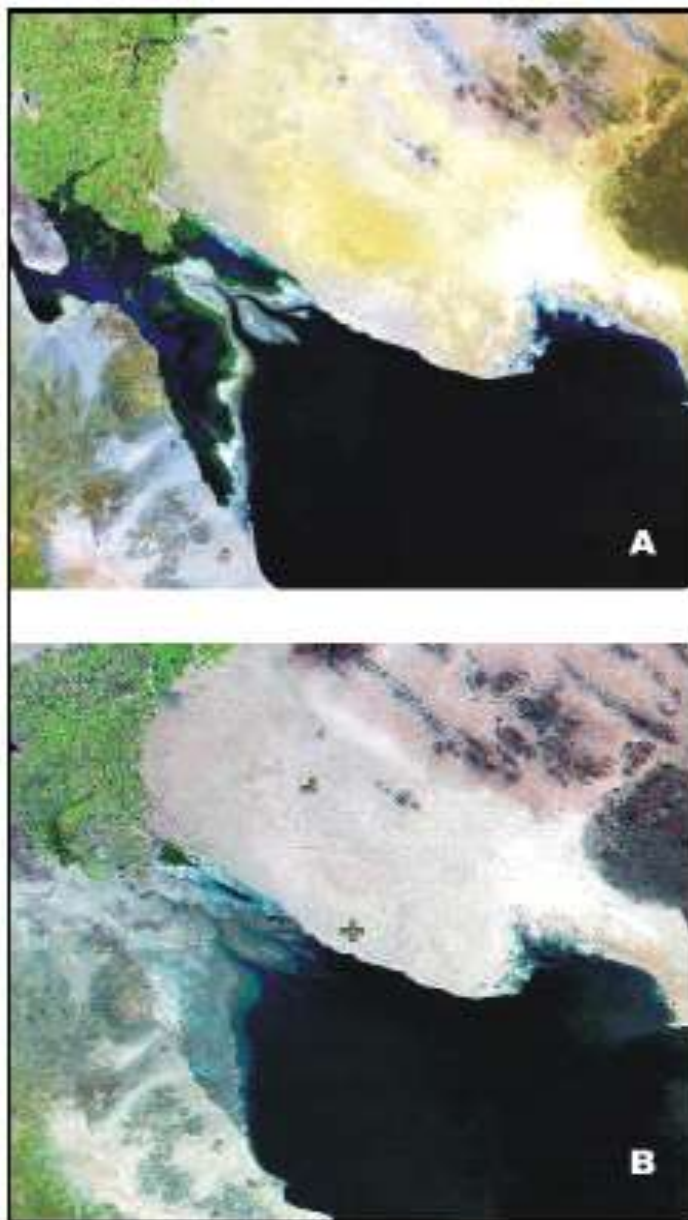


Figura 16. Imágenes Landsat TM (Thematic Mapper), muestran cambios en las dimensiones del área, (A) con aporte de agua del río en 1984 y (B) sin aporte de agua del río en 1982. (Fuente: Galindo-Bect, 2003).

para crecer. En la figura 16 se detectan los cambios en las dimensiones del área por el bajo aporte de agua dulce.

7.3. Producción histórica de la pesca comercial de la totoaba.

La pesca comercial de la totoaba comenzó a principios del siglo XX en Guaymas, Sonora (Berdegué, 1955; Barrera-Guevara, 1985). El objetivo principal de la pesquería en esa época fue la comercialización de la vejiga gaseosa de las hembras adultas. La utilización de su carne fue en 1923 (Ramírez-González, 1968). Sobre los datos de captura de la especie se tienen registros que datan de 1926, pero hasta 1934 se tuvieron registros confiables con una cifra inicial de 719 ton. Las capturas anuales se fueron incrementando rápidamente hasta alcanzar las 2, 261 ton en 1942, para disminuir a 280 ton en 1958. La pesca comercial de la totoaba fue fuertemente ejercida durante los desplazamientos de los reproductores al extremo norte del golfo y para la década de los 1970's la pesquería mostró una notable declinación (Rosales-Juárez y Ramírez-González, 1987) (Fig. 17).

7.3.1. Relación entre la producción de totoaba, el gasto del Río Colorado y la precipitación en el valle de Mexical, B.C. y San Luis R C., Sonora.

La disminución en la producción de totoaba coincidió con la disminución del flujo del Río Colorado al Golfo de California durante los años setentas (Fig. 17), sin embargo, el análisis de correlación no indicó la existencia de una relación significativa ($r = 0.178$, $P > 0.05$) entre ambas variables (Fig. 19). Así mismo, la producción de totoaba tampoco mostró una

relación significativa ($r = -0.005$, $P > 0.05$) con la precipitación durante el periodo de 1948 a 1975 (Figs. 18 y 20).

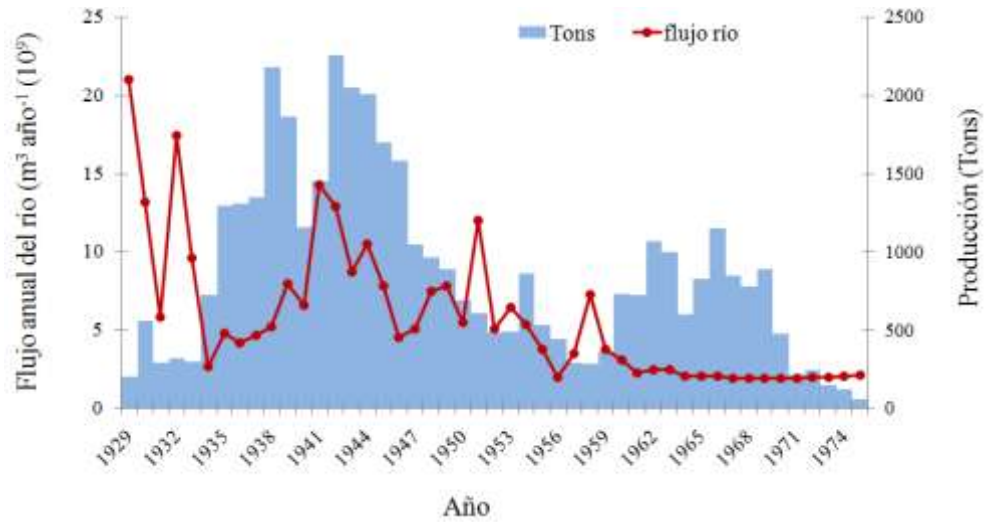


Figura 17. Producción de la pesquería de la totoaba y gasto del Río Colorado (1929 – 1975).

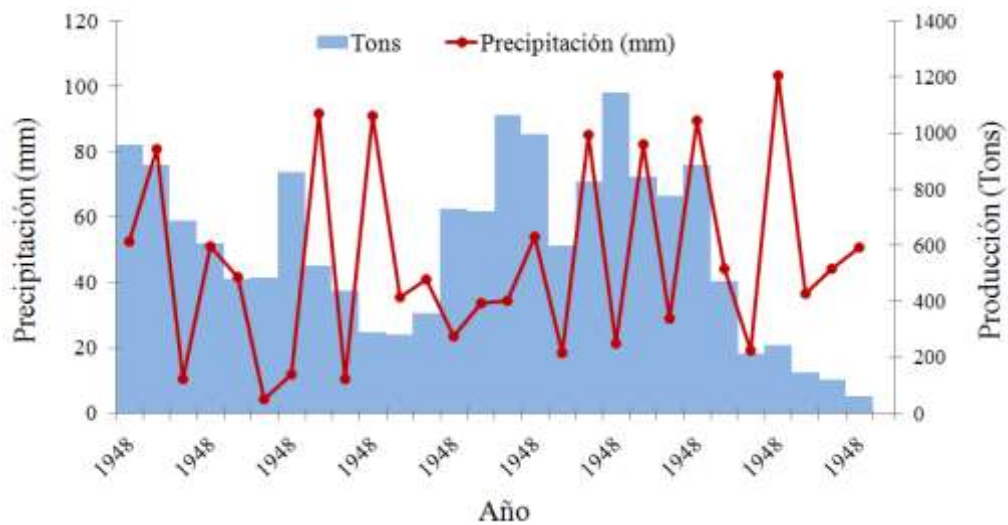


Figura 18. Producción de la pesquería de la totoaba y precipitación anual (1948 – 1975) en el valle de Mexicali, B.C. y San Luis R. C., Sonora.

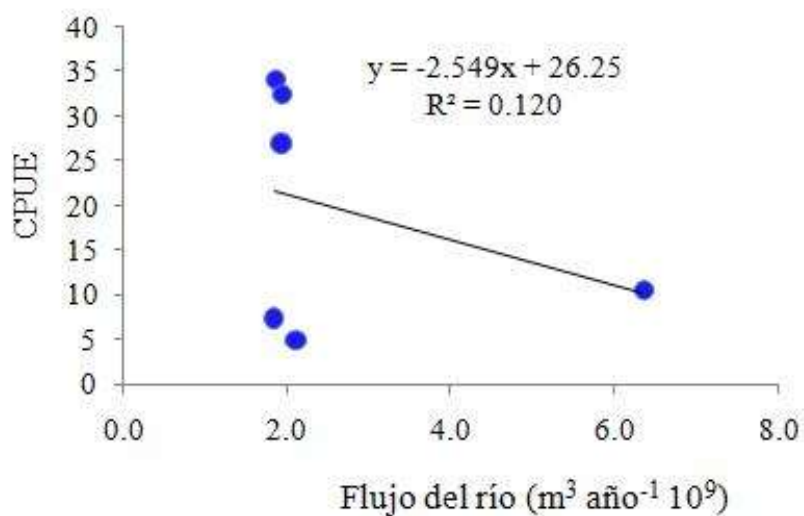


Figura 19. Relación entre la abundancia de juveniles de totoaba y gasto anual del Río Colorado (1991 – 1996).

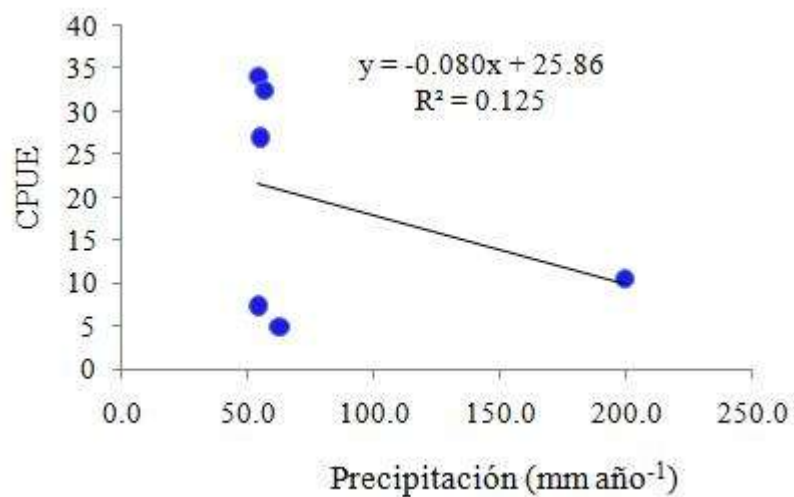


Figura 20. Relación entre la abundancia de juveniles de totoaba y precipitación anual (1991 – 1996) en el valle de Mexicali, B.C. y San Luis R.C., Sonora.

7.4. Distribución y abundancia de juveniles de totoaba en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.

7.4.1. Distribución y abundancia de juveniles de totoaba en relación con la profundidad.

En la figura 2 se muestran los sitios de muestreo de juveniles de totoaba. En general, la captura de los juveniles de totoaba se obtuvo a profundidades medias de 1.5 a 31.5 m, con la CPUE de juveniles más alta a profundidades medias de 10.5, 16.5 y 7.5 m (por orden decreciente) (Fig. 21).

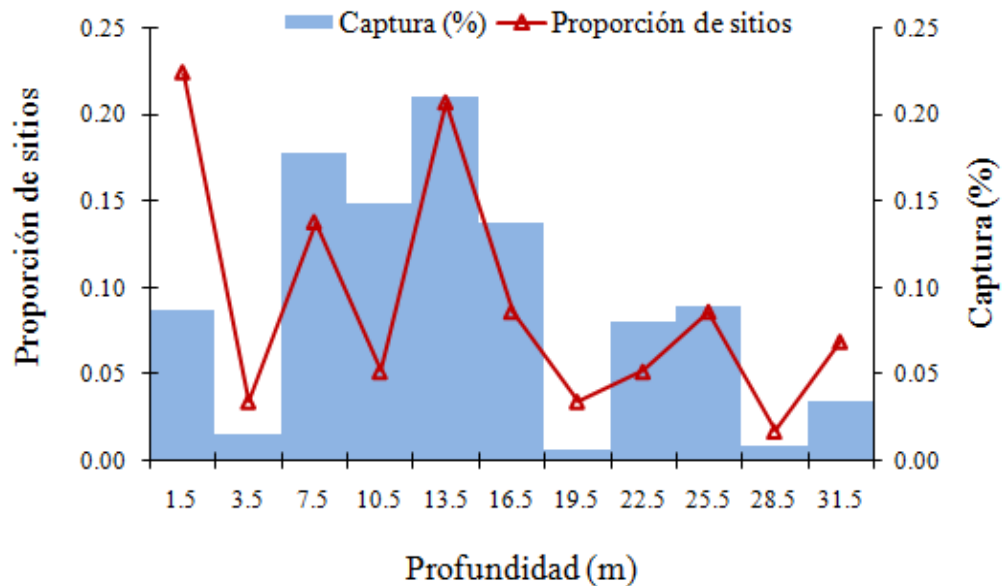


Figura 21. Proporción de sitios con presencia de juveniles de totoaba a profundidades medias de 1.5 a 31.5 m. Frecuencia relativa de la captura de juveniles por profundidad.

En el delta, se tuvieron registros de juveniles de totoaba en sitios protegidos, someros, con turbidez alta del agua (Tabla I). La longitud total de los organismos estuvo entre los 6 y

31.5 cm (junio a agosto). En esta zona, el 90% de los juveniles fueron capturados a profundidades medias de 0.75 y 3 m.

Tabla I. Variación mensual media de las variables ambientales registradas en los sitios de captura de juveniles de totoaba en el Delta del Río Colorado, durante el periodo de 1991 a 1996 y 1999.

Mes	Salinidad			Temperatura		Profundidad	
	<i>n</i>	\bar{x}	<i>s</i>	\bar{x}	<i>s</i>	\bar{x}	<i>s</i>
Junio	96	37.46	0.48	29.34	0.93	0.92	0.43
Julio	83	38.09	0.67	30.95	0.89	1.85	0.80
Agosto	89	38.37	0.75	31.28	0.99	1.94	1.00

En éstos sitios los muestreos se llevaron a cabo con la marea alta. La tabla I muestra los valores medios mensuales de las variables ambientales de los sitios que registraron presencia de juveniles. El sitio 3, ubicado entre las costas de Sonora y la parte sur sureste de la Isla Pelicano registró la CPUE de juveniles más alta en los meses de junio y julio, con 31 y 30 juveniles km^{-2} . En este sitio las capturas se dieron con la marea alta y bajando.

En el alto del golfo, los organismos se ubicaron en sitios menos protegidos. Los valores medios mensuales de variables ambientales se muestran en la tabla II. La longitud total de los organismos estuvo entre los 12.5 y 44 cm (Fig. 25). En esta zona, el 74% de los juveniles fueron capturados entre los 6 y 18 m de profundidad.

Aunque la presencia de juveniles fue registrada en la costa de Sonora y en la de Baja California durante julio y agosto, la CPUE de juveniles más alta se registró hacia el lado oeste del alto golfo, mostrando un patrón espacial hacia las costas de Baja California. Esta zona se caracteriza por registrar valores altos de temperatura, salinidad y turbidez durante los meses de verano (Fig. 13). Durante julio, la CPUE de juveniles más alta se registró en los sitios 1, 2, 9, 11, 16, 19 y 22 y en el mes de agosto en los sitios 15, 16, 19, 24 y 25 (Fig. 2).

Tabla II. Variación mensual media de las variables ambientales registradas en los sitios de captura de juveniles de totoaba en el Alto Golfo de California durante el periodo de 1991 a 1996 y 1999.

Mes	Salinidad			Temperatura		Profundidad	
	<i>n</i>	\bar{x}	<i>s</i>	\bar{x}	<i>s</i>	\bar{x}	<i>s</i>
Junio	78	37.02	1.28	28.94	1.15	13.24	9.15
Julio	84	37.23	1.29	30.01	1.26	15.13	9.42
Agosto	86	37.36	1.37	30.10	1.30	15.96	8.69
Septiembre	58	36.41	1.06	28.90	1.61	23.63	8.52
Octubre	51	35.84	0.42	23.12	0.84	25.34	7.93
Noviembre	48	35.62	0.33	18.10	0.78	28.32	7.61

La CPUE de juveniles fueron significativamente diferentes entre años ($P < 0.01$); tales diferencias se dieron entre 1991, 1992 y 1994 con respecto a 1993, 1995 y 1996. La CPUE de juveniles más alta se obtuvo en 1991, con 34 juveniles km^{-2} y la más baja en 1995, con solo 6 juveniles km^{-2} (Fig. 22).

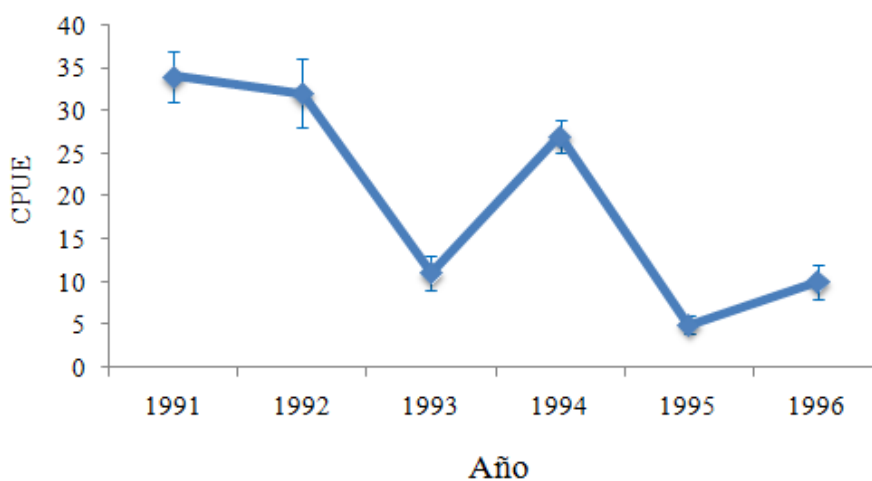


Figura 22. Captura por unidad de esfuerzo media anual (CPUE \pm d.s.) de juveniles de totoaba capturados durante julio y agosto de 1991 a 1996.

7.4.2. Abundancia de juveniles de totoaba en relación con la salinidad.

La figura 23 describe la distribución y abundancia que presentan los juveniles durante los meses de julio y agosto en relación con la salinidad. La relación entre la CPUE de los juveniles y la salinidad no fue estadísticamente significativas ($r = 0.137$, $P > 0.05$). La salinidad solo explicó el 1.91 % de la variabilidad de la abundancia de juveniles (Fig. 24).

7.4.3. Abundancia de juveniles de totoaba en relación con el gasto del Río Colorado y la precipitación.

La abundancia de juveniles de totoaba, posterior al represamientos de las aguas del Río Colorado no mostró relación significativa con el flujo del río ($r = -0.354$, $P > 0.05$), ni con la precipitación ($r = -0.353$, $P > 0.05$), ambas variables explicaron el 12.0% y 12.5% de la variabilidad de la CPUE media anual de juveniles, respectivamente (Figs. 19 y 20).

7.4.4. Relación entre la abundancia de juveniles de totoaba y las variables ambientales.

En general, la temperatura y la salinidad estuvieron positiva y significativamente correlacionadas ($P < 0.05$), pero negativa y significativamente correlacionadas con la profundidad ($P < 0.05$).

El análisis factorial aportó dos categorías de asociación de abundancia de juveniles, con el 85.23% de varianza acumulada. El gradiente de abundancia alto no estuvo asociado a las variables incluidas en el análisis (Tabla III). El efecto relativo de las variables ambientales sobre la abundancia de juveniles de totoaba se muestra en la figura 24. De las tres variables incluidas en el análisis de regresión, la profundidad presentó mayor relación con el índice de abundancia de los juveniles, sin embargo, esta relación no fue estadísticamente significativa ($P > 0.05$).

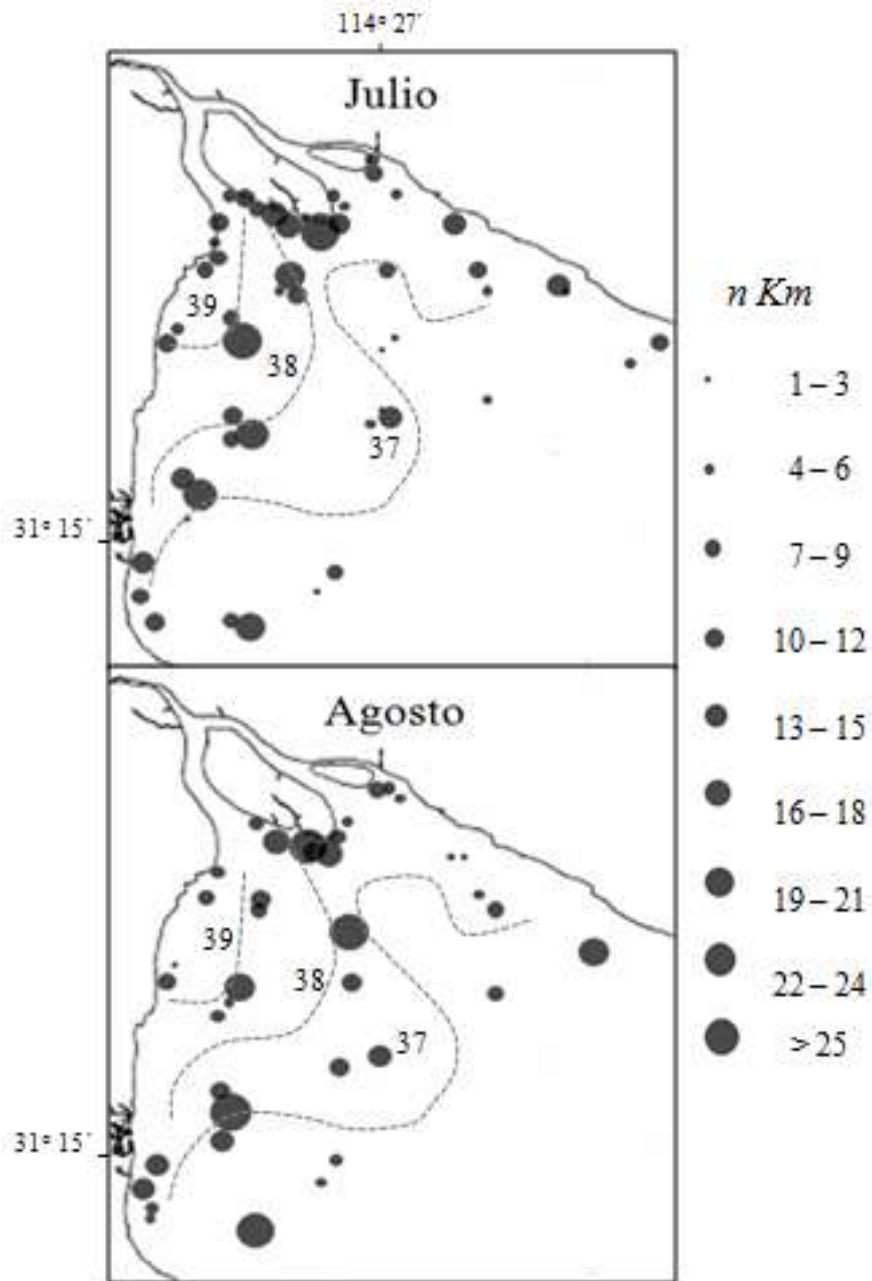


Figura 23. Distribución y abundancia de juveniles de totoaba y la salinidad en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado durante julio y agosto.

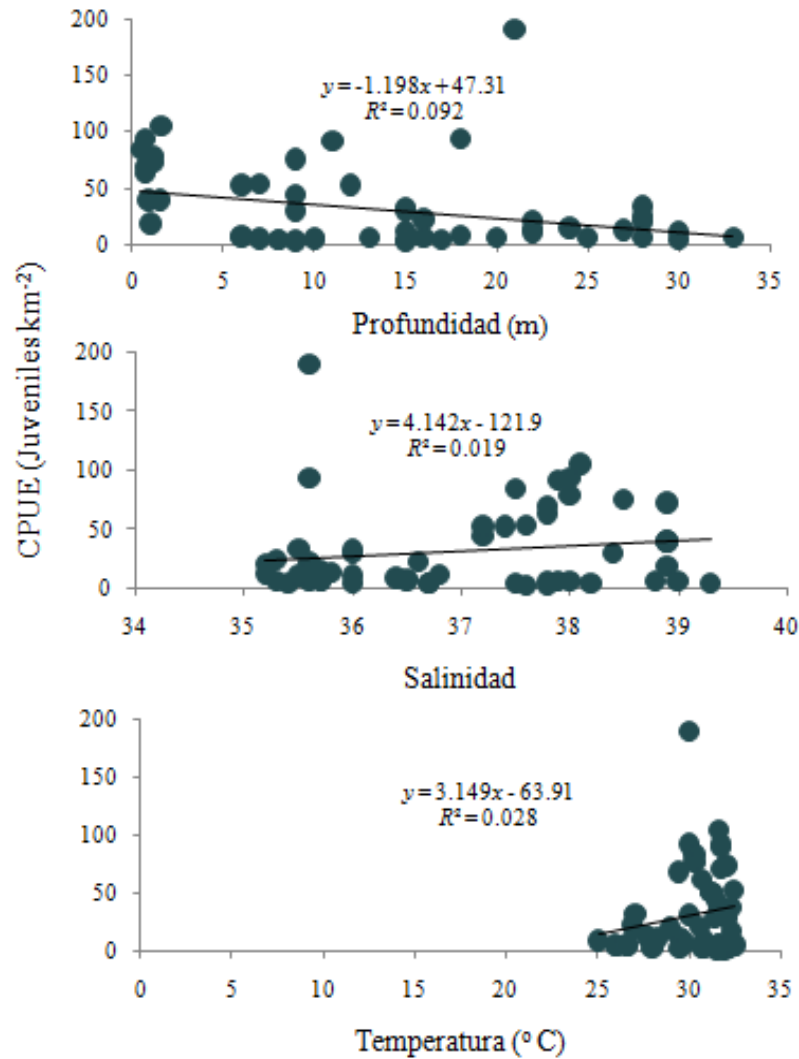


Figura 24. Relación entre CPUE de juveniles de totoaba y las variables ambientales.

7.5. Análisis de contenidos estomacales de juveniles de totoaba.

De los 43 estómagos analizados, solo 26 contenían alimento. El 62% de estos organismos fueron capturados en la región del delta, el resto en el alto golfo. De los grupos que conformaron la dieta de los juveniles de totoaba, los crustáceos del género *Litopenaeus* constituyeron el alimento principal, con frecuencia de ocurrencia del 52%; seguidos por

peces pequeños pertenecientes a los géneros *Gobiosoma*, *Gobiesox*, *Guillichthys* y *Eleotris*, con el 39%; el alimento incidental estuvo conformado por restos de cangrejos (géneros no identificados por el grado de digestión que presentaban), escamas, espinas pequeñas, restos de caparazones de crustáceos y materia digerida.

Tabla III. Relación entre las variables ambientales originales registradas en los sitios con presencia de juveniles de totoaba y los factores obtenidos del análisis factorial.

	F1	F2
Profundidad	-0.88	0.20
Salinidad	0.90	0.05
Temperatura	0.90	0.09
CPUE	-0.05	0.99
Autovalor	2.40	1.02
% Varianza explicada	59.92	25.66

7.6. Tasas de crecimiento y condición de juveniles de totoaba en relación con las variables ambientales..

7.6.1. Estructura de tallas de los juveniles de totoaba.

La longitud total de los organismos registrados durante el periodo de junio a noviembre varió de entre los 6 a los 44 cm (Fig. 25).

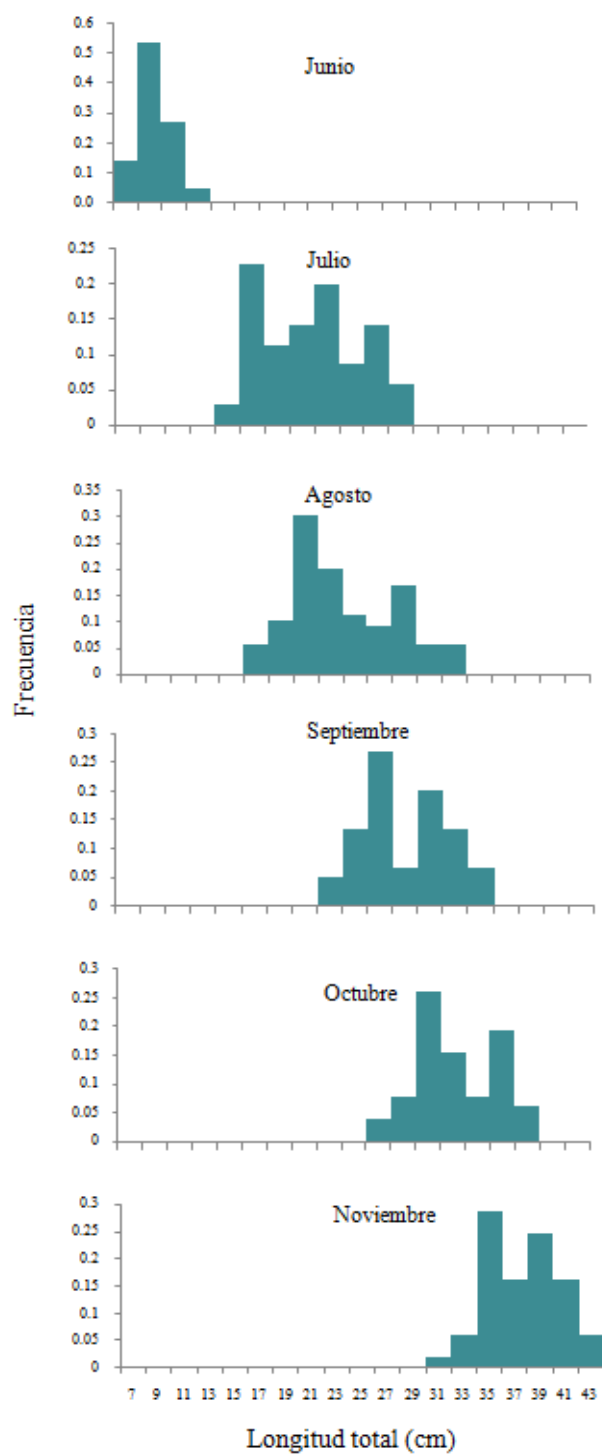


Figura 25. Estructura de tallas de los juveniles de totoaba en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.

7.6.2. Relaciones biométricas.

Las conversiones morfométricas entre las regresiones $LT - LS$, $LS - LT$, $LT - W$ y $LS - W$, se enlistan en la tabla IV. Todas las relaciones fueron estadísticamente significativas con $r^2 > 0.98$ y $P < 0.001$. Durante este periodo los juveniles de totoaba presentan crecimiento isométrico; la pendiente de la regresión estimada ($b = 3.102$, $S_b = 0.023$, $r^2 = 0.989$), fue significativamente igual a 3.00 ($P < 0.05$) (Tabla IV, Fig. 26).

Tabla IV. Conversiones morfométricas de juveniles de totoaba capturados de junio a noviembre en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.

LT (mm)	W (g)	n	Conversión	Ecuación	r^2	F	P
60 - 440	2 - 750	694	LT a LS	$LS = 0.702 LT - 0.002$	> 0.99	86186	< 0.001
			LS a LT	$LT = 1.422 LS + 0.052$	> 0.99	86186	< 0.001
			LT a W	$W = 0.006 LT^{3.102}$	0.989	1317	< 0.001
			LS a W	$W = 0.019 LS^{3.095}$	0.985	1321	< 0.001

7.6.3. Relación entre la tasa de crecimiento en talla, tasa de crecimiento en peso y condición de los juveniles de totoaba y las variables ambientales.

La temperatura y salinidad más altas se registraron durante los meses de julio y agosto al suroeste del estuario y noroeste del alto golfo. Durante esos meses los juveniles presentaron tasas de crecimiento altas y buena condición (Tabla V).

Tabla V. Tasa de crecimiento en talla, tasa de crecimiento en peso y factor de condición relativo de juveniles de totoaba.

	n	GLT	Gw	K
Junio	96			1.02
Julio	189	0.33	2.09	1.09
Agosto	215	0.22	2.67	1.05
Septiembre	74	0.13	3.32	1.03
Octubre	71	0.12	3.58	1.11
Noviembre	49	0.11	4.28	1.16
\bar{X}		0.18	3.20	1.07
s		0.09	0.84	0.05

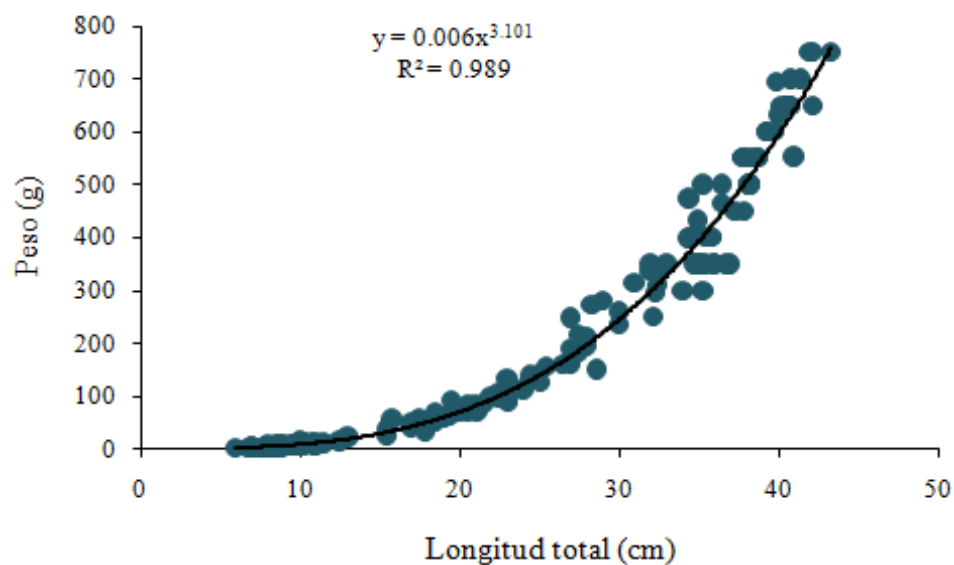


Figura 26. Relación longitud – peso de juveniles de totoaba capturados de junio a noviembre en el Alto Golfo de California y parte baja del Delta del Río Colorado.

El efecto relativo de la temperatura y la salinidad sobre la condición, tasa de crecimiento en talla y tasa de crecimiento en peso de los juveniles obtenido mediante el análisis de regresión múltiple avanzada se describen con las ecuaciones:

$$Kn = 1.094 + 0.006*S - 0.009*T + \varepsilon$$

$$G_{LT} = -2.151 + 0.063*S + 0.001*T + \varepsilon$$

$$G_W = 19.213 - 0.393*S - 0.060*T + \varepsilon$$

Los modelos explicaron el 62, 67 y 83% de la variabilidad del factor de condición, tasa de crecimiento en talla y tasa de crecimiento en peso, con factor de inflación de la varianza de 1.100, 1.108 y 1.039, respectivamente.

VIII. DISCUSIONES

8.1. Distribución y abundancia de juveniles de totoaba en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.

8.1. 1. Distribución y abundancia de juveniles de totoaba en relación con la salinidad.

A pesar de la conexión correlativa entre la declinación de la pesquería y las alteraciones al estuario del Río Colorado, no hay evidencia de que la totoaba utilizaba este hábitat estuarino salobre como criadero (Lercari y Chávez, 2007; Rowell *et al.*, 2008); ni estudios que indiquen como la alteración del estuario haya afectado a la totoaba (Ávila-Serrano *et al.*, 2006). Este trabajo provee las primeras mediciones de la relación entre la distribución y abundancia de juveniles de totoaba y la salinidad en su área de crianza después de la diversificación de las aguas del Río Colorado.

Durante el verano los juveniles de totoaba se distribuyen en delta del río y parte oeste del Alto Golfo a niveles de salinidad del agua superiores a los registrados en aguas marinas. Barrera-Guevara (1990), menciona que los cambios en la salinidad de las aguas del delta y el alto golfo afectaron el área de desove y crianza de la totoaba, pero que los efectos específicos de esos cambios sobre el tamaño de la población no han sido demostrados claramente. Cisneros-Mata *et al.* (1997), concuerdan con este autor, indicando que el área de desove y crianza de la totoaba fueron alteradas por el control del flujo del Río Colorado y los desechos agrícolas, lo cual se piensa que tuvo un impacto negativo sobre la supervivencia de los primeros estadios de vida de la totoaba. Sin embargo, a más de 60 años de que las aguas del Río Colorado dejaron de fluir libremente y que la región del delta es considerada un anti-estuario, los adultos continúan con sus migraciones reproductivas y

los juveniles permanecen en sus áreas de desove y crianza, como lo han hecho por miles de años.

Muchas especies de peces requieren condiciones especiales de crianza, particularmente aguas de baja salinidad para el desarrollo de larvas y juveniles. Hendrickson (1979), cita que la única razón por la cual la totoaba se formó el hábito de nadar cientos de kilómetros para desovar en la desembocadura del Río Colorado, era porque sus huevos y peces jóvenes necesitaban aguas con baja salinidad. Aunque no se conocen los efectos específicos de las aguas hipersalinas sobre la viabilidad de huevos y larvas, este estudio sugiere que no afectan el desarrollo de los juveniles de totoaba. Además, la distribución de juveniles no sugiere esa búsqueda de aguas de baja salinidad para crecer y desarrollarse. La salinidad del agua de los sitios donde los juveniles permanecen durante los primeros meses de vida, es más alta que las que registran aguas del centro y sur del golfo, donde completan su ciclo de vida. El carácter eurihalino de los juveniles de totoaba ha sido demostrado mediante experimentos de laboratorio. Ortíz-Viveros (1999), indica que los juveniles son capaces de aclimatarse a distintas salinidades y soportar cambios inmediatos de salinidad de 11 a 40, mostrando un sistema de regulación homeostático eficiente, capaz de regular su concentración osmótica e iónica.

Los resultados obtenidos no concuerdan con los supuestos establecidos de que los juveniles de totoaba permanecen en las áreas del delta y alto golfo buscando aguas de baja salinidad. La distribución que presentan los juveniles en su área de crianza, la baja correlación obtenida entre la salinidad y la abundancia relativa, tasas de crecimiento y condición de los

juveniles, demuestran que esta variable no es una variable importante para los juveniles de totoaba.

8.1.2. Distribución y abundancia de juveniles de totoaba en relación con las variables ambientales.

Una especie habitará un nicho preferido de condiciones ambientales (Hutchinson, 1959). De acuerdo con este principio, las especies de peces responden a ciertas características como salinidad, temperatura, profundidad, tipo de sustrato. No obstante, estas variables no están aisladas, sino que convergen en forma de gradientes ambientales. Al relacionar la CPUE de juveniles de totoaba con la temperatura, la salinidad y la profundidad de los sitios donde fueron capturados, el análisis multivariado aportó un gradiente de abundancia alto que no estuvo asociado con éstas variables. Así mismo, el análisis de regresión tampoco indicó una relación estadísticamente significativa entre la CPUE de juveniles y las variables ambientales. Es posible que otra u otras variables del hábitat sean quienes determinan la distribución y abundancia de los juveniles de totoaba y que estén relacionadas con la salinidad, la temperatura o la profundidad. Aboogire *et al.* (2001), indican que el hábitat de muchas especies de peces demersales está más definido por la profundidad que por la salinidad y la temperatura del agua. Así mismo, los juveniles de muchas especies de peces demersales ocurren predominantemente entre a lo largo de la costa sobre fondos suaves.

En el alto golfo, al sur de la boca del río, hay un patrón distintivo de distribución espacial de juveniles de varias especies, con la abundancia más alta al norte de una línea imaginaria que conecta el Golfo de Santa Clara, Sonora, en un punto a cinco millas náuticas de San

Felipe, Baja California. La característica sobresaliente de esta área es su turbidez alta, que posiblemente provee a los juveniles protección y alimento (Guevara-Escamilla *et al.*, 1973). Los juveniles de totoaba presentaron un patrón de distribución similar; se encontraron distribuidos en el área de estudio, con abundancia alta al suroeste de la Isla Montague y parte oeste del alto golfo. Los estudios de Álvarez-Borrego y Galindo-Bect (1974), Álvarez-Borrego (2003), muestran una tendencia espacial de isolíneas bien definido, en la cual, aguas oceánicas de menos salinidad entran al estuario a través de su paso este (canal de Sonora) y salen aguas mas salinas del delta a través de su paso oeste (canal de Baja California), mostrando la existencia de un sistema de circulación ciclónica. Carriquiry y Sánchez (1999), reportan que los sedimentos y la salinidad siguen este patrón de circulación; sin embargo, la abundancia de juveniles en ésta zona no fue homogénea, ni proporcional a la salinidad y a la temperatura.

La salinidad y la temperatura son altas en esta zona y presentan un comportamiento inestable; la salinidad presenta un patrón irregular en forma de masas de agua y la temperatura presenta un patrón con variación diurna, influenciado por el calentamiento solar. Hernández – Ayón *et al.* (1993), citan que la turbidez más alta se encuentra en los alrededores de la Isla Montague, en la boca del río; mientras que las aguas cercanas a las costas de Sonora son menos turbias, con niveles moderados cerca del Golfo de Santa Clara, Sonora. Esta zona de agua turbia, además de ser somera, también es altamente productiva; Millán-Núñez *et al.* (1999), indican que las concentraciones de clorofila *a* y la abundancia del fitoplancton son mayores en el lado de Baja California que en el lado de Sonora. Es

posible que las sobresalientes características de esta zona provean a los juveniles protección y alimento.

8.2. Análisis de contenidos estomacales

El análisis de contenidos estomacales describe a los juveniles de totoaba como organismos carnívoros. Su dieta está constituida por una variedad de organismos presa de los cuales, el alimento principal es el camarón. Los organismos presa encontrados en los contenidos estomacales de los juveniles (90 – 290 mm) no difirieron con los reportados por otros autores. Berdegú (1955), menciona que la dieta principal de juveniles de totoaba de 190 a 270 mm de longitud patrón, consiste de camarones juveniles (género *Penaeus*) y peces pequeños (familia *Gobiidae*), restos de pinzas y partes de exoesqueleto de pequeño tamaño. Guevara-Escamilla *et al.* (1973) reportan que el alimento principal de juveniles de totoaba de 150 – 270 mm son las postlarvas de camarón. Flanagan y Hendrickson (1976), citan que la dieta de juveniles de totoaba de 60 mm incluye peces, anfípodos y crustáceos. Esto indica que a pesar del tiempo y de los cambios ambientales del área de crianza de la totoaba, los juveniles no han cambiado sus hábitos alimenticios y continúan mostrando su preferencia por los camarones peneidos. Galindo-Bect (2007), cita que el delta del río a pesar de haber perdido sus condiciones estuarinas, sigue siendo el área de crianza de camarones peneidos *L. stilylrostris* y *L. californiensis*, con proporciones de 85% a 15%, respectivamente. Así mismo, Aragón-Noriega y García-Juárez (2002), reportan que la abundancia más alta de postlarvas de camarón en el estuario del Río Colorado ocurre durante el verano. Estos resultados sugieren que el alimento puede ser una variable importante en la distribución y abundancia de los juveniles. Kouki *et al.* (2007), citan que

las áreas estuarinas ofrecen a los juveniles una medida de protección de depredadores, además de alimento abundante.

8.3. Tasas de crecimiento y condición de juveniles de totoaba en relación con las variables ambientales.

8.3.1. Tasa de crecimiento en talla y tasa de crecimiento en peso de juveniles de totoaba.

La tasa de crecimiento en talla media de los juveniles capturados durante los meses de junio a noviembre (1.88 mm d^{-1}) fue más alta que las reportadas en estudios previos (1.59 y 0.93 mm d^{-1}) por Morales-Abril *et al.* (1991) y Almeida-Paz *et al.* (1992); sin embargo, la tasa de crecimiento en peso media (3.16 g d^{-1}) fue más baja que las reportadas por esos autores (3.7 y 9.32 g d^{-1}). Estas diferencias pueden ser atribuidas al periodo de estudio y por lo tanto, a las tallas y pesos utilizados en la estimación. La tasa de crecimiento reportada por los primeros autores estuvo basada sobre análisis de frecuencia de talla de julio a octubre, la segunda, fue obtenida con tres juveniles mantenidos bajo condiciones de cautiverio, capturados en agosto y septiembre. Al respecto Webb y Kneib (2004), citan que la tasa de crecimiento es dependiente de la talla; aunque también puede ser atribuido a factores ambientales.

8.3.2. Relación entre tasa de crecimiento en talla, tasa de crecimiento en peso y factor de condición de juveniles de totoaba y las variables ambientales.

Malloy y Targett (1991), mencionan que los peces generalmente buscan temperaturas del agua que maximicen su crecimiento y supervivencia. Powell *et al.* (2000) encontraron una relación curvilínea entre la tasa de crecimiento de juveniles de *Cynoscion nebulosus* y la temperatura, estadísticamente fuerte pero difícil de explicar biológicamente. Se ha encontrado que la temperatura del agua influye sobre la tasa metabólica de los peces y define la cantidad de alimento necesario para soportar su actividad metabólica (Gertseva y Gertsev, 2006). Segnini y Chung (1997), indican que hay un sinergismo entre la temperatura y la disponibilidad de alimento. Las tasas de crecimiento de los juveniles sugieren la existencia de ese sinergismo. Las altas temperaturas en el área de crianza de la totoaba durante el verano podrían incrementar el crecimiento si el alimento apropiado está disponible. Los modelos de regresión de ambas variables ambientales explican un buen porcentaje de la variabilidad de la tasa de crecimiento y el factor de condición, lo cual sugiere que de alguna forma la temperatura y salinidad interactúan solas o con otras variables en la producción de alimento. Aunque en este estudio no se incluyó la productividad, los estudios de Farfán y Álvarez- Borrego (1992), Hernández-Ayón *et al.* (1993), Millán-Núñez *et al.* (1999), Aragón-Noriega y García-Juárez (2002), Galindo-Bect (2007), demuestran que el área de estudio aun es productiva, a pesar de los cambios ecológicos.

Los juveniles presentaron buena condición, lo cual habla bien de la plasticidad de la especie ante los cambios ambientales. Hartman y Margraf (2006), indican que los índices de

condición con frecuencia son usados como indicadores de salud, crecimiento y alimentación, o para comparar el bienestar ecológico entre poblaciones de peces. Entre éstos índices, el factor de condición puede fluctuar estacionalmente, reflejando cambios en la actividad alimenticia y disponibilidad de alimento. Los valores mensuales estimados para éste factor no reflejaron cambios significativos en la condición de los peces, sugiriendo disponibilidad de alimento y bienestar ecológico.

IX. CONCLUSIONES

9.1. La distribución que presentan los juveniles de totoaba en su área de crianza, la baja correlación entre la CPUE de juveniles y la salinidad, su condición y tasas de crecimiento, sugieren que la salinidad no juega un papel importante en su distribución y abundancia.

9.2. El análisis factorial aportó dos gradientes de abundancia de juveniles. El gradiente de abundancia alto no estuvo asociado con la temperatura, la salinidad y la profundidad.

9.3 El análisis de regresión no aportó una relación estadísticamente significativa entre el índice de abundancia (CPUE) de juveniles de totoaba con la temperatura, la salinidad y la profundidad.

9.4. El alimento principal de los juveniles de totoaba fueron los camarones peneidos, mientras que el alimento secundario estuvo constituido por pequeños peces.

9.5. Los resultados sugieren existen una o más variables ambientales diferentes a la salinidad, la temperatura y la profundidad que determinan la distribución y la abundancia de los juveniles de totoaba en la parte Alta del Golfo de California y Delta del Río Colorado.

9.6. La temperatura y la salinidad explican un buen porcentaje de la variabilidad de la tasa de crecimiento y el factor de condición relativo de los juveniles, es posible que éstas variables interactúen solas o con otras variables en la producción de alimento.

9.7. La tasa de crecimiento y la condición de los juveniles de totoaba muestran la plasticidad de la especie ante los cambios ambientales.

9.8. En el área de crianza de la totoaba aun existen las condiciones ecológicas que favorecen su desarrollo, lo cual explica el porqué la especie no cambió su patrón migratorio después de las alteraciones producidas por el control del flujo del Río Colorado.

X. BIBLIOGRAFIA

- Abookire, A. A., J. F. Piatt y B. L. Norcross. 2001. Juvenile groundfish habitat in Kachemak Bay, Alaska during late summer. *Alaska Fishery Research Bulletin* 8(1): 45-56.
- Afifi, A. A. y V. Clark. 1990. *Computer-aided Multivariate analysis*. 2ª ed. Van Nostrand Reinhold New York, USA pp. 371-392.
- Almeida-Paz M., G. Morales-Abril y M. J. Román-Rodríguez. 1992. Aspectos sobre aclimatación y crecimiento de juveniles de totoaba, *Totoaba macdonaldi* (Gilbert) (Pisces: Sciaenidae) en condiciones de cautiverio. *Ecológica* 2(1):7-12.
- Álvarez-Borrego, S. y L. A. Galindo-Bect. 1974. Hidrología del alto Golfo de California I. Condiciones durante otoño. *Ciencias Marinas* 1(1): 46-64.
- Álvarez-Borrego, S., B. P. Flores-Báez y L. A. Galindo-Bect. 1975. Hidrología del alto Golfo de California II. Condiciones durante invierno, primavera y verano. *Ciencias Marinas* 2(1): 21-36.
- Álvarez-Borrego, S. 1983. The Gulf of California. In: B. H. Ketchum, editor. *Estuaries & Enclosed Seas*, Elsevier Scientific, New York pp. 427-449.
- Álvarez-Borrego, S. 1979. Masas de agua del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, México. 6 (1 y 2): 43-63.
- Álvarez-Borrego, S. 2003. Physical and Biological Linkages between the Upper and Lower Colorado Delta. *Managing for Healthy Ecosystems*, CRC Press LLC. 108: 1077-1089.

- Amezaga, H. R. 1988. Análisis de contenidos estomacales en peces. Revisión bibliográfica de los objetivos y metodología. Informes Técnicos del Instituto Español de Oceanografía (63): 1-72.
- Aragón-Noriega, E. A. y L. E. Calderón-Aguilera. 2000. Does damming of the Colorado River affect the nursery area of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* (Decapoda: Penaeidae) in the Upper Gulf California. *Revista Biología Tropical* 48(4): 867-871.
- Argón-Noriega, E. A. y A. R. García-Juárez. 2002. Reclutamiento de postlarvas de camarón azul *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1987) a condiciones antiestuarinas provocadas por actividades antropogénicas. *Hidrobiológica* 12(1): 37-46.
- Arvizu, J. y H. Chávez. 1972. Sinopsis sobre la biología de la totoaba *Cynoscion macdonaldi* (Gilbert, 1890). FAO 21 p.
- Ávila-Serrano, G. E., K. W. Flessa, D. A. Téllez-Duarte y C. E. Cintra-Buenrostro. 2006. Distribution of the intertidal macrofauna of the Colorado River Delta, northern Gulf of California, México. *Ciencias Marinas* 32: 649-661.
- Barrera-Guevara, J. C. 1985. La totoaba valioso recurso del noroeste de México. *Centro de Investigación y Desarrollo de Sonora* 3:2-4.
- Barrera-Guevara, J. C. 1990. The conservation of *Totoaba macdonaldi* (Gilbert, 1891) (Pisces: Sciaenidae), in the Gulf of California, México. *Journal of Fish Biology* 37: 201-202.
- Barrera-Guevara, J. C. 1992. Biología reproductiva de la totoaba *Totoaba macdonaldi* (Gilbert, 1891) (Teleostei: Sciaenidae). Tesis de maestría. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guaymas, Sonora.

- Berdegúe, A. J. 1955. La pesquería de la totoaba *Cynoscion macdonaldi* en San Felipe, Baja California. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 16(1-4): 45-78.
- Bray, N. A. 1988. Water mass formation in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research* 93: 9223-9240.
- Carriquiry, J. D. y A. Sánchez. 1999. Sedimentation in the Colorado River delta and Upper Gulf of California after nearly a century of discharge loss. *Marine Geology* 158: 125-145.
- CITES, 1976. The first meeting of the Conference of the International Trade in Endangered Species of the Wild Fauna and Flora. Berne, Switzerland 1-26, Apendix I.
- Cisneros-Mata, M. A., G. Montemayor-López y M. J. Román-Rodríguez. 1995. Life history and Conservation of *Totoaba macdonaldi*. *Conservation Biology* 9: 806-818.
- Cisneros-Mata, M. A., L. W. Botsford y J. F. Quinn. 1997. Projecting viability of *Totoaba macdonaldi*, a population with unknown age-dependent variability. *Ecological Applications* 7(3): 968-980.
- Conal, D. T., L. A. A Silva y C. N. Castro. 1997. Adquisition of broodstock of *Totoaba macdonaldi*: Field handling, decompression, and profilaxis of an endangered species. *Fish-Culturist* 59: 246-248.
- Cupul-Magaña, A. L. 1994. Flujos de sedimentos en suspensión y nutrientes en la cuenca estuarina del Río Colorado. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México 116 p.
- Flanagan, C. L. y J. Hendrickson. 1976. Observations on comercial and reproductive

- biology of the totoaba, *Cynoscion macdonaldi*, in the northern Gulf of California. U.S. National Marine Fisheries Service. Fishery Bulletin 74: 531-544.
- Farfán, C. y S. Álvarez-Borrego. 1992. Zooplankton biomasa of the northernmost Gulf of California. *Ciencias Marinas* 18: 17-36.
- Félix-Pico, E. y C. P. Mathews. 1975. Estudios preliminares sobre la ecología del camarón en la zona cercana a la desembocadura del Río Colorado. *Ciencias Marinas* 2: 68-85.
- Filloux, J. H. 1973. Tidal patterns and energy balance in the Gulf of California. *Nature* 243: 217-221.
- Galindo-Bect, M. S., H. M. Page, R. L. Petty, J. M. Hernández-Ayón, E. A. Aragón-Noriega y H. Bustos-Serrano. 2007. Variación temporal en la abundancia de postlarvas y juveniles de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) y camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*) en el estuario del Río Colorado. *Ciencias Marinas* 33(3): 247:258.
- Gertseva, V. V. y V. I. Gertsev. 2006. A conceptual model of fish functional relationships in marine ecosystems and its application for fisheries stock assessment. *Fisheries Research* 81: 9-14.
- Guevara-Escamilla, S., M. A. Huerta-Díaz, E. Félix-Pico y C. Mathews. 1973. Biología. En: Estudio químico sobre contaminación por insecticidas en la desembocadura del Río Colorado. Tomo II. (Inf. Final Dirección de Acuacultura de la Secretaría de Recursos Hidráulicos). Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C. México. pp. 236-364.
- Hartman K. J. y F. J. Margraf. 2006. Relationships among condition indices, feeding and

- growth of walleye in Lake Erie. *Fisheries Management and ecology* 13(2): 121.
- Hendrickson, J. R. 1979. Totoaba: Sacrifice in the Gulf of California. *Oceanic Society* 12(5): 14-18.
- Hernández-Ayón, J. M., M. S. Galindo-Bect, B. P. Flores-Báez y S. Álvarez-Borrego. 1993. Nutrient Concentrations are High in the Turbid Waters of the Colorado River Delta. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 37: 593-602.
- Kouki K., S. Mitsuhiko y K. Hiroshi. 2007. Relationships between short-term variations in density of juvenile yellowfin goby *Acanthogobius flavimanus* and environmental variables on an estuarine mudflat. *Fisheries Science* 73: 38-45.
- Hutchinson, G. E. 1959. Homeage to Santa Rosalia, or why are so many kinds of animals. *The American Naturalist* 93: 145-159.
- Lavín, M. F., Beier, E. y A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escala estacional e interanual. *Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Unión Geofísica Mexicana* 3: 141-171.
- Lavín, M. F. y S. Organista. 1988. Surface heat flux in the Northern Gulf of California. *Journal of Geophysical Research* 93: 14033-14038.
- Lavín, M. F., R. Durazo, E. Palacios, M. L. Argote y L. Carrillo. 1997. Lagrangian observations of the circulation in the northern Gulf of California. *Journal Physical Oceanography* 27: 2298-2305.
- Lavín, M. F. y S. Sánchez. 1999. On how the Colorado River affect the hidrography of the Upper Gulf of California. *Continental Shelf Research* 19(12): 1545-1560.
- Lavín, M. F., V. M. Godínez y L. Álvarez. 1998. Inverse-Estuarine features of the upper

- Gulf of California. *Estuarine Coastal & Shelf Science* 47: 769-795.
- Lercari, D. y E. Chávez. 2007. Possible causes related to historic stock depletion of the Totoaba macdonaldi, *Totoaba macdonaldi* (Perciformes: Sciaenidae), endemic to the Gulf of California. *Fishery Research* 86: 136-142.
- Malloy, K. D. y T. E. Targett . 1991. Feeding, growth, and survival of juvenile summer flounder *Paralichthys dentatus*: Experimental analysis of the effects of temperature and salinity. *Marine Ecology Progress Series* 72: 213–223.
- Marinone, S. G. y M. F. Lavín. 1997. Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California. *Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Unión de Geofísica Mexicana* 3: 113-139.
- Martínez-Rojas, R. M. K. 1990. Distribución espacial y registros circadianos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en el delta del Río Colorado. Tesis, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México. 90 p.
- Meckel, L. D. 1975. Holocene sand bodies in the Colorado delta area, northern Gulf of California. In: Broussard, M.C. (Ed.), *Deltas, Models for Exploration*. Houston Geological Society pp. 239-265.
- Millán-Núñez, R., E. Santamarina-del Ángel, R. Cajal-Moreno y O. A. Borocio. 1999. El Delta del Río Colorado: Un ecosistema con alta productividad primaria. *Ciencias Marinas* 25(4): 509-524.
- Morales-Abril G., M. Almeida-Paz y M. J. Román-Rodríguez. 1991. Evaluación de la población de totoaba, *Totoaba macdonaldi* (Gilbert, 1891) con fines de conservación. En: Almeida-Paz M., G. Morales-Abril y M.J. Román-Rodríguez (eds.), *Aspectos sobre aclimatación y crecimiento de juveniles de totoaba, Totoaba*

- macdonaldi* (Gilbert) (Pisces: Sciaenidae) en condiciones de cautiverio. *Ecológica* pp. 7-12.
- Ortíz-Viveros, D. 1999. Regulación iónica y osmótica de los juveniles de *Totoaba macdonaldi* ante cambios de salinidad. M.S. Tesis. Universidad Autónoma de Baja California.
- Paden, C. A., M. R. Abbott y C. D. Winant. 1991. Tidal and atmospheric forcing of the upper ocean in the Gulf of California: 1: Sea surface temperature variability. *Journal Geophysical Research* 96: 18,337-18,359.
- Powell, A. B. y E. H. Laban. 2000. Validation of age estimates from otoliths of larval and juvenile spotted seatrout, *Cynoscion nebulosus*. *Fishery Bulletin* 98: 650-654.
- Ramírez-González, E. E. 1968. Resumen estadístico de la captura anual de totoaba en el Golfo de California en el período de 1929-1966. Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General de Pesca. Instituto Nacional Investigaciones Biológico Pesqueras, Trabajo de Divulgación XIII (124): 1-30.
- Ricker, W. 1971. Methods for assesment of fish production in fresh water. Blackwell, London 326 p.
- Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin Fisheries Research* 191: 1-382.
- Román-Rodríguez, M. J. 1990. Alimentación de la totoaba en el Golfo de California. *Ecológica* (2): 1-7.
- Rosales-Juárez, F. y E. Ramírez-González. 1987. Estado actual sobre el conocimiento de la totoaba (*Cynoscion macdonaldi*, Gilbert, 1890). Secretaría de Pesca, México.

- Rowell, K., True, C., Flessa, K.W. y Dettman D.L. 2008. Fish without water: Validation and application of $\delta^{18}\text{O}$ in *Totoaba macdonaldi* otholiths. *Ciencias Marinas* 34(1): 55-68.
- Santamaría-del Ángel, E., R. Millán-Núñez y G. De la Peña-Nettel. 1996. Efecto de la turbidez en la productividad primaria en dos estaciones en el área del delta del Río Colorado. *Ciencias Marinas* 22(4): 483-493.
- Segnini, M. I. B. y K. S. Chung. 1997. Influencia de los factores ambientales sobre el crecimiento instantáneo en peces tropicales evaluado por el seguimiento de la relación ARN/DNA. *Instituto de Oceanografía Biológica* 36: 21-29.
- Silber, G. K. 1990. Occurrence and Distribution of the Vaquita *Phocoena sinus* in the Northern Gulf of California. *Fishery Bulletin* 88(2): 339-346.
- Sokal, R. y J. Rohlf. 1995. *Biometry*. 3^{er} ed. Freeman Publisher, New York 887 p.
- Sparre, P. y S.C. Venema. 1997. Introducción a la evaluación de los recursos pesqueros tropicales. Parte 1. *Manual FAO* (306): 345-371.
- Thompson, R. W. 1968. Tidal flat sedimentation on the Colorado River, northwestern Gulf of California. *Bulletin Geological Society of American* 107.
- Thompson, R. W. 1969. The northern Gulf of California: A synopsis based on available information. Bathymetry and sedimentation. In: *Environmental impact of brine effluents on Gulf of California* (Thompson, D.A., A.R., Mead and J.R. Shreiber). U.S. Department of the Interior, Research and Development Progress Report No. 387.
- Thomson, D. A., L. T. Findley y A. N. Kerstitch. 2000. Reef Fishes of the Sea of the Cortez. *The rocky-shore fishes of Gulf of California*. University of Texas Press. U.S.A. 373

pp.

Valdez-Muñoz, C. 2004. Distribución y crecimiento de organismos juveniles de totoaba *Totoaba macdonaldi* (Gilbert 1891), en relación con los parámetros ambientales en el Alto Golfo de California y delta del Río Colorado. Tesis de Maestría. ITMAR No. 03. Guaymas, Sonora, México 47 p.

Webb, S. y R. T. Kneib. 2004. Individual growth rates and movement of juvenile white shrimp (*Litopeneus setiferus*). in a tidal marsh nursery. Fishery Bulletin 102: 376-388.