



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**EVALUACION DE JAULAS Y HABITATS ARTIFICIALES PARA LA
CRIANZA DEL ERIZO ROJO *Strongylocentrotus franciscanus***

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN
OCEANOGRAFIA COSTERA
PRESENTA:

PEDRO MARTÍN DOMÍNGUEZ VALDEZ

Ensenada, B.C., Diciembre de 1999.

EVALUACION DE JAULAS Y HABITATS ARTIFICIALES PARA
LA CRIANZA DEL ERIZO ROJO *Strongylocentrotus franciscanus*

TESIS

QUE PRESENTA:

PEDRO MARTIN DOMINGUEZ VALDEZ

APROBADA POR:



PRESIDENTE DEL JURADO
M.C. ALFREDO E. SALAS GARZA



SINODAL PROPIETARIO
DR. JOSE A. ZERTUCHE GONZALEZ



SINODAL PROPIETARIO
DR. EUGENIO CARPIZO ITUARTE

Resumen

Se evaluaron, en función del crecimiento, sobrevivencia e índice de condición (IC) de juveniles de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus*, jaulas y hábitats artificiales como artes para el cultivo integral o parcial de la especie. Las estructuras experimentales se instalaron en la zona conocida como Puerto Escondido, B.C., a 8 y 14 m de profundidad (jaulas y hábitats artificiales, respectivamente). El experimento tuvo una duración de 13 meses. Se utilizaron un total de 420 juveniles asignados a 6 estructuras experimentales (3 jaulas y 3 hábitats artificiales o camas), con una talla inicial promedio de 25.85 mm ($s=2.7107$) y una densidad de siembra de 120 organismos/m². Se suministró semanalmente *Macrocystis pyrifera* como alimento a los organismos sembrados en las jaulas. Los organismos sembrados disminuyeron de 120 org./m² a 103.7 (jaula 1), 73.0 (jaula 2), 59.0 (jaula 3) y 6.1 (camas) organismos/m². Lo anterior obedeció principalmente a eventos accidentales asociados al diseño de las estructuras (jaulas 2 y 3) y al manejo inadecuado del sistema (camas), por lo que no es posible su comparación en términos de sobrevivencia asociada al uso de estas artes de cultivo. No hubo diferencias significativas ($p < 0.7497$) entre las tallas finales obtenidas para los diferentes tratamientos, cuyo valor promedio fue de 49.3 mm. Las tasas de crecimiento anual obtenidas de 19.6 a 26.0 mm/año, se encuentran en el límite superior de los valores reportados para la especie (15 a 25 mm/año). Los valores del IC resultaron significativamente mayores en los organismos experimentales –jaula 1, 16.94%; jaula 2, 18.37%; jaula 3, 17.89%; camas, 13.84%– que en organismos silvestres de talla comparable –3.64%–, y son mayores a los valores reportados por el CRIP para organismos sujetos a explotación pesquera – promedio noviembre Zona II, 14.89%; promedio temporada 1998-1999 Zona II, 12.51%; promedio global temporada 1998-1999, 10.77%. Se considera factible la crianza de *S. franciscanus* en el medio natural, mediante el empleo de jaulas o hábitats artificiales, tanto para el cultivo integral como para el cultivo intermedio en programas de repoblamiento y/o engorda del recurso. Se considera factible obtener un producto comercializable de alto valor y demanda en el mercado en tan sólo 2 a 2.5 años, con un rendimiento gonadal que iguala o supera al que se obtiene en la pesquería.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haber otorgado la beca para la realización de los estudios de posgrado y el financiamiento para el proyecto a través de la partida 4276-P.

Especial gratitud al M.C. Alfredo Salas Garza por su amistad, apoyo, dedicación y dirección brindada al presente trabajo, complementada con no pocas dosis adecuadas de paciencia.

A mis sinodales Dr. José Zertuche González y Dr. Eugenio Carpizo Ituarte por sus sugerencias y comentarios que enriquecieron el resultado final.

Al Ocean. Humberto Cetina Ortegón de Técnicos Submarinos de Ensenada, Gustavo Monteverde Borrego y Agustín Hernández por su amistad y apoyo incondicional, sin cuya ayuda hubiera sido imposible llevar a cabo el proyecto.

A los integrantes de la Sociedad de Buzos y Pescadores del Ejido Coronel Esteban Cantú, S.P.R., en especial a Rafael Ponce y David Martínez, por el apoyo logístico brindado.

A Jorge Escobar Martínez y a mis compañeros de ECODES, cuyo apoyo me permitió dedicar tiempo a la realización de los trabajos de campo.

A la M.C. Evlin Aydee Ramírez Félix, al personal del proyecto de macroalgas del IIO, a Enrique Quintero y todas aquellas personas que de alguna manera hicieron posible este proyecto y que me han distinguido además con su amistad.

A Teresa Domínguez por su apoyo vital tras bambalinas. A Héctor Domínguez, motor de mis esfuerzos y propietario del tiempo dedicado al proyecto.

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS	5
OBJETIVO GENERAL.....	5
OBJETIVOS PARTICULARES	5
MATERIALES Y MÉTODOS	6
ÁREA DE ESTUDIO.....	6
DISEÑO EXPERIMENTAL	6
DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS	8
<i>Jaulas</i>	8
<i>Hábitats Artificiales (Camas)</i>	12
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES.....	12
<i>Siembra de Organismos</i>	15
<i>Evaluación y Seguimiento</i>	15
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	18
RESULTADOS	20
SOBREVIVENCIA.....	20
CRECIMIENTO.....	24
ÍNDICE DE CONDICIÓN.....	28
OBSERVACIONES COMPLEMENTARIAS	30
<i>Temperatura</i>	30
DISCUSIÓN	31
CONCLUSIONES.....	38
REFERENCIAS	39

Lista de Figuras

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	7
FIGURA 2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PRIMER TIPO DE JAULA UTILIZADA AL INICIO DEL EXPERIMENTO. (SIN ESCALA).	9
FIGURA 3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SEGUNDO TIPO DE JAULA UTILIZADA PARA EL DESDOBLE DE LOS ORGANISMOS. (SIN ESCALA).	10
FIGURA 4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN EMPLEADO PARA LA COLOCACIÓN DE LAS JAULAS. (SIN ESCALA).	11
FIGURA 5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS HÁBITATS ARTIFICIALES (CAMAS) DISEÑADOS PARA EL EXPERIMENTO. (SIN ESCALA).	13
FIGURA 6. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ESTRUCTURA UTILIZADA PARA EL MONTAJE DE LOS HÁBITATS ARTIFICIALES (CAMAS). (SIN ESCALA).	14
FIGURA 7. SUMINISTRO DE <i>Macrocyctis pyrifera</i> COMO ALIMENTO DE <i>Strongylocentrotus franciscanus</i> CRIADO EN JAULAS. LA MACROALGA FUE SUMINISTRADA A DISCRECIÓN. SE APRECIAN LOS MECANISMOS DE CIERRE Y SUJECIÓN DEL PRIMER TIPO DE JAULA UTILIZADA.	16
FIGURA 8. SOBREVIVENCIA DE <i>Strongylocentrotus franciscanus</i> EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES. a) NÚMERO TOTAL DE ORGANISMOS; b) DENSIDAD (ORGANISMOS/m ²). LAS OBSERVACIONES CORRESPONDEN A LOS MISMOS DÍAS; SE PRESENTAN DESFASADAS PARA UNA MEJOR APRECIACIÓN GRÁFICA.	22
FIGURA 9. CRECIMIENTO DEL ERIZO ROJO <i>Strongylocentrotus franciscanus</i> OBSERVADO EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES. CADA PUNTO REPRESENTA EL PROMEDIO DE 20 MEDICIONES; LAS BARRAS VERTICALES, ± UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR. LAS OBSERVACIONES CORRESPONDEN A LOS MISMOS DÍAS; SE PRESENTAN DESFASADAS PARA UNA MEJOR APRECIACIÓN GRÁFICA.	26
FIGURA 10. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA (a) Y LA TASA DE CRECIMIENTO DIARIA DEL ERIZO <i>Strongylocentrotus franciscanus</i> OBSERVADA EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES (b-e). a) MEDICIÓN DE TEMPERATURA OBTENIDA POR TERMÓGRAFO (Tmgfo) Y POR MEDICIÓN DIRECTA SEMANAL (MDS). b-e) LOS PUNTOS REPRESENTAN LAS TASAS DE CRECIMIENTO DIARIA ESTIMADA A PARTIR DEL INCREMENTO EN LA TALLA PROMEDIO (n = 20 ORGANISMOS) DIVIDIDA POR LOS DÍAS TRANSCURRIDOS ENTRE UNA Y OTRA MEDICIÓN. LAS LÍNEAS PUNTEADAS SEÑALAN LOS EVENTOS INDICADOS EN EL TEXTO: ① PRESENCIA DE ALIMENTO NATURAL EN CAMAS; ② PÉRDIDA ACCIDENTAL DE ORGANISMOS EN JAULA 3; ③ PÉRDIDA ACCIDENTAL DE ORGANISMOS EN JAULA 2; ④ DESDOBLE DE ORGANISMOS DE JAULA 1.	27
FIGURA 11. ANÁLISIS DE REGRESIÓN SIMPLE DEL CRECIMIENTO DE <i>Strongylocentrotus franciscanus</i> EN CADA UNIDAD EXPERIMENTAL. a) JAULA 1; b) JAULA 2; c) JAULA 3; y, d) CAMAS. CADA PUNTO REPRESENTA EL PROMEDIO DE 20 MEDICIONES; LAS BARRAS VERTICALES, ± UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR.	29

Lista de Tablas

TABLA I. PARÁMETROS INICIALES PARA CADA UNIDAD EXPERIMENTAL. N: NÚMERO DE ORGANISMOS SEMBRADOS; n: TAMAÑO DE LA MUESTRA.	8
TABLA II. SOBREVIVENCIA DE <i>Strongylocentrotus franciscanus</i> EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES. A) JAULA 1; B) JAULA 2; C) JAULA 3; D) CAMAS. SU COMPARACIÓN CON LA PRUEBA χ^2	23
TABLA III. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE SOBREVIVENCIA DEL ERIZO <i>Strongylocentrotus franciscanus</i> ENTRE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES. CON LA PRUEBA χ^2	25
TABLA IV. COMPARACIÓN DEL CRECIMIENTO DE <i>Strongylocentrotus franciscanus</i> EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES. PROBABILIDAD ASOCIADA A LAS PRUEBAS DE NORMALIDAD, HOMOCEASTICIDAD, Y ANÁLISIS DE VARIANZA. EN LOS CASOS QUE NO SE CUMPLIERON LAS CONDICIONES DE NORMALIDAD Y HOMOCEASTICIDAD, LA INFORMACIÓN CORRESPONDIENTE A LAS PRUEBAS ANOVA Y DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE SE REFIERE A SUS EQUIVALENTES NO PARAMÉTRICOS (KRUSKAL- WALLIS Y TUKEY NO PARAMÉTRICO). J1=JAULA 1; J2=JAULA 2; J3=JAULA 3; CS=CAMAS.	25
TABLA V. MATRIZ DE CORRELACIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO DIARIA DE <i>Strongylocentrotus franciscanus</i> OBSERVADA EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES ($r_{crit} = 0.5529$; $\alpha = 0.05$).	26
TABLA VI. COMPARACIÓN MÚLTIPLE TUKEY PARAMÉTRICO PARA LAS PENDIENTES DE LA REGRESIÓN OBTENIDA DEL CRECIMIENTO DE <i>Strongylocentrotus franciscanus</i> EN LAS DIFERENTES UNIDADES EXPERIMENTALES. SE PRESENTAN LOS VALORES DE q CALCULADO; REGLA DE RECHAZO: $ q_{calc} > q_{crit}$	28
TABLA VII. TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE <i>Strongylocentrotus franciscanus</i> ESTIMADA DE LAS PENDIENTES OBTENIDAS EN EL ANÁLISIS DE REGRESIÓN.	28
TABLA VIII. ÍNDICE DE CONDICIÓN (I.C.)* DE <i>Strongylocentrotus franciscanus</i> OBTENIDO DE LOS ORGANISMOS EXPERIMENTALES Y DE ORGANISMOS SILVESTRES. $\left(I.C. = \frac{\text{Peso Gónadas}}{\text{Peso Total}} \times 100 \right)$	30
TABLA IX. EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN (I.C.) DE <i>Strongylocentrotus franciscanus</i> EN CADA UNIDAD EXPERIMENTAL. PROBABILIDAD ASOCIADA A LAS PRUEBAS DE NORMALIDAD, HOMOCEASTICIDAD, Y KRUSKAL-WALLIS. PARA LA PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE TUKEY NO PARAMÉTRICO SE PRESENTAN LOS TRATAMIENTOS CON DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE SÍ, ORDENADOS DE MENOR A MAYOR. J1=JAULA 1; J2=JAULA 2; J3=JAULA 3; CS=CAMAS; SL=SILVESTRES.	30
TABLA X. RENDIMIENTO GÓNADAL DEL ERIZO ROJO <i>S. franciscanus</i> POR ZONA DE PESCA EN LA TEMPORADA 1998 - 1999.	37

Introducción

El desarrollo de biotecnologías de cultivo constituye una opción viable para propiciar la recuperación de los recursos pesqueros; principalmente de aquellos que por su alto valor comercial han estado expuestos a niveles excesivos de explotación.

El erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* es uno de los recursos pesqueros más importantes del estado. Su alto valor y demanda en el mercado japonés lo colocan como una de las especies pesqueras más atractivas para esta región del país. Debido a ello, los bruscos descensos recientes en los volúmenes de captura han motivado que los diversos sectores involucrados en su explotación opten por implementar estrategias tendientes a su recuperación (Palleiro-Nayar, 1994). Entre las opciones que pretenden favorecer o apoyar activamente la recuperación de las poblaciones naturales de este recurso, se pueden mencionar: a) el repoblamiento con semilla producida en laboratorio o captada en el medio; b) el trasplante de macroalgas a zonas de producción de erizo con limitaciones actuales de alimento; c) el trasplante de juveniles de erizo a zonas con mayor disponibilidad de alimento; d) el establecimiento de encierros o corrales para confinar una población de erizo y alimentarlos directamente; y, e) el cultivo integral o parcial de la especie (Tegner, 1989; Palleiro-Nayar *et al.*, 1992).

Si bien es cierto la acuicultura como estrategia para la recuperación del recurso requeriría de una mayor inversión, de resultar económicamente rentable presenta varias ventajas con respecto al resto de las estrategias propuestas para la recuperación del erizo. En primer lugar, no existe una talla mínima legal o época de veda para la comercialización del producto. En este sentido, para ser comercializables bastaría que los organismos alcanzaran su talla de madurez gonadal (50 a 60 mm de diámetro de

testa (Ruiz-Anaya *et al.*, 1987)), la cual alcanzan aproximadamente en 2.0 a 2.5 años (Kato & Schroeter, 1985). Lo anterior, aunado a la factibilidad de programar las cosechas para cuando el erizo presenta los mayores precios en el mercado, se traduce en una recuperación más rápida de la inversión. En segundo lugar, la mortalidad por depredación puede ser prácticamente eliminada, aumentando las posibilidades de mayores rendimientos. En tercer lugar, el suministro constante de alimento aumenta la probabilidad de un mayor rendimiento de gónada por organismo y una mayor homogeneidad en la calidad de la gónada por lote cosechado. Finalmente, la principal ventaja de la acuicultura sobre las estrategias de recuperación anteriormente descritas lo constituye el que los resultados sean mucho más predecibles y reproducibles.

Diversas artes de cultivo han sido utilizadas para la crianza de los invertebrados bentónicos marinos. Tradicionalmente se utilizan desde cuerdas (sartas) o canastas para el caso de organismos sésiles (mejillón, ostión, etc.) hasta estructuras que constituyen pequeños encierros para los organismos que poseen cierta capacidad de desplazamiento (almeja, abulón, etc.), como por ejemplo: jaulas, barriles, etc. Recientemente, países como Japón han recurrido al empleo de "hábitats" o "arrecifes artificiales" para proveer a los organismos de un hábitat adecuado para su desarrollo (Sonu & Grove, 1985; Mottet, 1985; Grove *et al.*, 1994). Algunos de los aspectos importantes que considera el diseño de los hábitats artificiales es el de incrementar la protección de los organismos contra los depredadores y propiciar la ocurrencia adecuada y abundante de alimento (Nakayama *et al.*, 1993). Diseños más avanzados permiten la crianza simultánea de varias especies de alto valor comercial, como abulón, erizo, langosta, etc., en lo que sería un pequeño ecosistema racionalmente explotado para sostener altos volúmenes de producción por unidad de área (Sato, 1985; Sonu & Grove, 1985; Nakayama *et al.*, 1993).

Comparativamente hablando, las jaulas y hábitats artificiales presentan ventajas y desventajas que llevan a considerar su uso de manera complementaria. Las jaulas requieren menor inversión inicial, brindan protección casi total contra los depredadores, evitan pérdidas por migración o desplazamiento de los organismos y posibilitan el control de la alimentación. Como contraparte, el uso de las jaulas demanda una cantidad significativa de mano de obra, tanto en el mantenimiento de las estructuras, como en el de los organismos. Además, su vida útil es de tan sólo 2 a 5 años, dependiendo del régimen de trabajo. Por su parte, los hábitats artificiales presentan costos de inversión elevados pero su vida útil se estima de 10 a 30 años (Sonu & Grove, 1985; Nakamura, 1985); no se tiene un costo asociado de mano de obra en la operación ya que ni la estructura ni los organismos requieren de mantenimiento; existe, sin embargo, el riesgo de pérdidas en la producción por depredación y/o desplazamiento de los organismos.

El erizo rojo es un buen candidato para ser criado o cultivado en hábitats artificiales ya que en presencia de alimento tiende a congregarse y mantenerse en una área definida (Rosenthal *et al*, 1974; Mattison *et al*, 1977; Castilla y Moreno, 1982; Dean *et al*, 1984; Harrold & Reed, 1985; Watanabe & Harrold, 1991); sin embargo, la susceptibilidad a la depredación de sus tallas chicas a intermedias (Tegner & Dayton, 1977), sugiere el empleo de jaulas durante las etapas delicadas de su desarrollo. Dicha estrategia lo mismo serviría para producir organismos de talla comercial que para acondicionar juveniles que posteriormente fueran liberados como parte de programas de repoblamiento, en lo que podría considerarse un cultivo intermedio del recurso.

El uso combinado de jaulas y hábitats artificiales para la crianza de organismos como el erizo es práctica común en el Japón (Mottet, 1985, 1989; Saito, 1992); sin embargo, debido principalmente al idioma muy poca información específica actualizada está

disponible para los países occidentales. Aún cuando se trata de especies diferentes, información básica relativa al diseño de artes y estrategias de cultivo (tallas, densidades y épocas de siembra, frecuencia de alimentación y mantenimiento, rendimientos obtenidos por unidad de producción, etc.) sería de gran utilidad como punto de partida para el desarrollo de una biotecnología de cultivo acorde a las especies locales y recursos económicos de nuestro país.

El presente trabajo pretende generar la información básica que permita el desarrollo de una biotecnología para la crianza del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus*, como una estrategia que coadyuve a la recuperación de las poblaciones naturales. Para tal fin se evaluará el crecimiento y sobrevivencia de juveniles criados en jaulas y hábitats artificiales. Las observaciones sobre el comportamiento y desarrollo de los organismos en los hábitats artificiales servirá de manera adicional para evaluar la utilidad potencial de dichas estructuras en programas de repoblamiento de la especie.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar en función del crecimiento, sobrevivencia e índice gonadal de juveniles de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus*, jaulas y hábitats artificiales como artes para el cultivo integral o parcial de la especie.

Objetivos Particulares

- Diseñar las artes de cultivo con base en los conceptos de jaulas y hábitats artificiales.
- Evaluar, basado en el crecimiento en longitud, en la sobrevivencia y en el índice de condición de los organismos, el rendimiento de las jaulas contra el de los hábitats artificiales.

Materiales y Métodos

Área de Estudio

El proyecto se llevó a cabo en la zona conocida como Puerto Escondido, B.C., ubicada sobre la costa Oeste de Punta Banda, B.C. Esta caleta, cuya boca se encuentra hacia el sur, brinda protección del oleaje de tormenta del Norte, Noroeste y Oeste. Presenta en su zona más protegida una pequeña playa de bolsillo que se continúa en un fondo arenoso interrumpido ocasionalmente por rocas aisladas, de pendiente suave y profundidad menor a los 30 m. Conforme se aleja de la costa, el fondo presenta incrementos bruscos de profundidad alcanzando los 70 m a aproximadamente 200 m de la línea de costa (Fig. 1). Para la selección del área se consideraron aspectos logísticos, oceanográficos y biológicos, tales como: punto de embarque más cercano, tiempo de traslado desde dicho punto, distancia desde el punto de embarque, distancia desde la costa, factibilidad de establecer vigilancia; corrientes dominantes, grado de exposición al oleaje, profundidad promedio, tipo de fondo, ocurrencia de turbidez, aportes fluviales cercanos, geografía de la costa cercana; presencia de poblaciones naturales de erizo, tallas dominantes, rendimientos obtenidos en la zona, presencia de mantos de macroalgas, macroalga más común formando mantos y presencia de sargazo gigante en el fondo (a la deriva).

Diseño Experimental

Se utilizó un diseño aleatorio simple cuyos tratamientos son las estructuras de crianza - jaulas contra hábitats artificiales- y las variables a evaluar fueron: a) el crecimiento en longitud; b) la sobrevivencia; y, c) el índice de condición de los organismos (peso de las

gónadas/peso total del organismo X 100; Baker, 1973; Kato & Schroeter, 1985; Ruiz-Anaya *et al*, 1987). Para ello, 420 juveniles con una talla inicial promedio de 25.85 mm ($s=2.7107$), se asignaron aleatoriamente a cada tratamiento a una densidad de siembra de 120 organismos /m² (Tabla I).

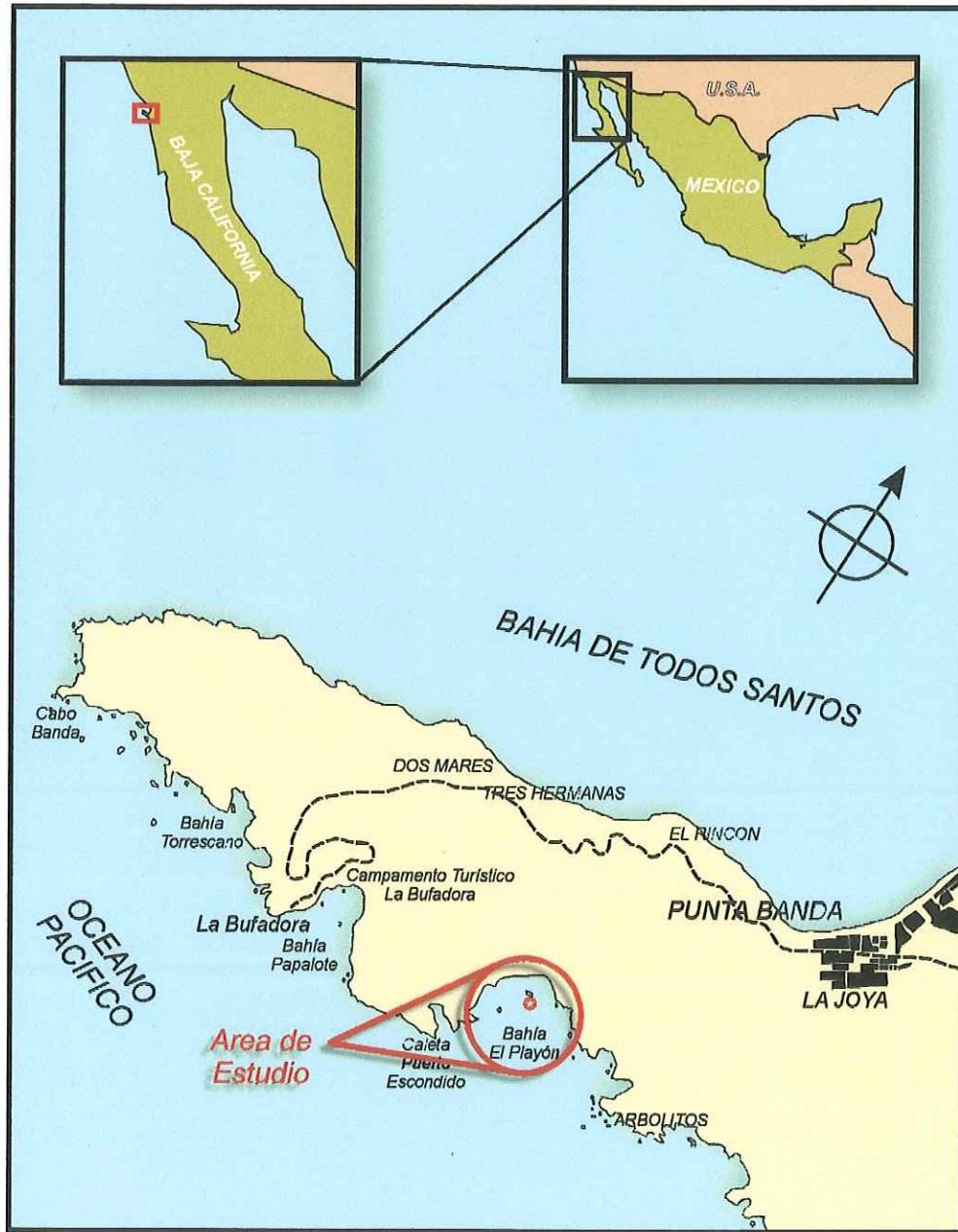


FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Los juveniles utilizados para el experimento fueron colectados durante las labores de captura comercial de la Sociedad de Buzos y Pescadores del Ejido Coronel Esteban Cantú, S.P.R. de R.L.

TABLA I. PARÁMETROS INICIALES PARA CADA UNIDAD EXPERIMENTAL.
N: NÚMERO DE ORGANISMOS SEMBRADOS; n: TAMAÑO DE LA MUESTRA.

Parámetro	Jaula 1	Jaula 2	Jaula 3	Hábitat 1	Hábitat 2	Hábitat 3
N	81	81	81	59	59	59
n	16	16	16	12	12	12
talla promedio (desv. std.)	27.0 (2.6502)	26.1 (2.9597)	25.7 (2.1292)	26.4 (2.1829)	23.7 (2.2995)	25.9 (3.1918)
densidad (organismos/m ²)	120	120	120	120	120	120

Diseño de las Estructuras

Jaulas

Se construyeron dos tipos de jaulas. El primer tipo se utilizó para la siembra de los organismos al inicio del experimento. Para su construcción se utilizó un armazón de tubo de PVC de ½" forrado con malla plástica DURATHENE® de ¼" de luz de malla. Las dimensiones para este tipo de jaulas fueron de 0.50 X 0.50 X 0.11 m. Sus características de apertura de tapa y amarre se muestran en la figura 2.

El segundo tipo de jaula se utilizó a mitad del experimento para el desdoble de los organismos. Para su construcción se utilizó un armazón de tubo de PVC de ¾" forrado con malla plástica DURATHENE® de ½" de luz de malla. Sus dimensiones fueron de 0.9 X 0.6 X 0.6 m. Sus características principales se ilustran en la figura 3.

Las jaulas se colocaron a 8 m de profundidad sujetas a una línea tendida a media agua, como se ilustra en la figura 4.

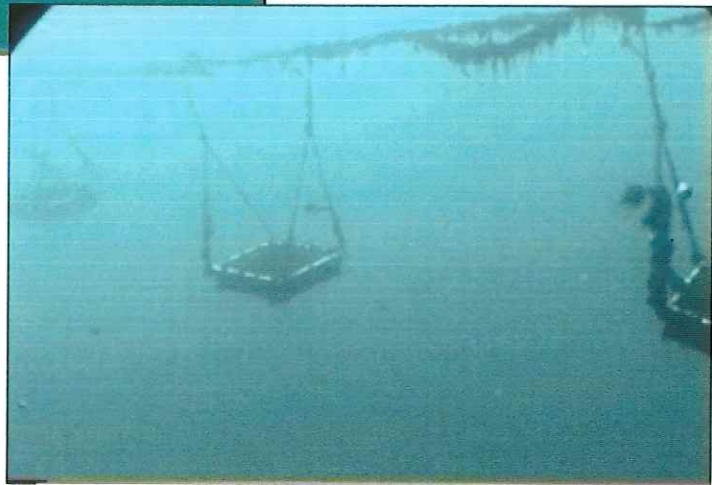
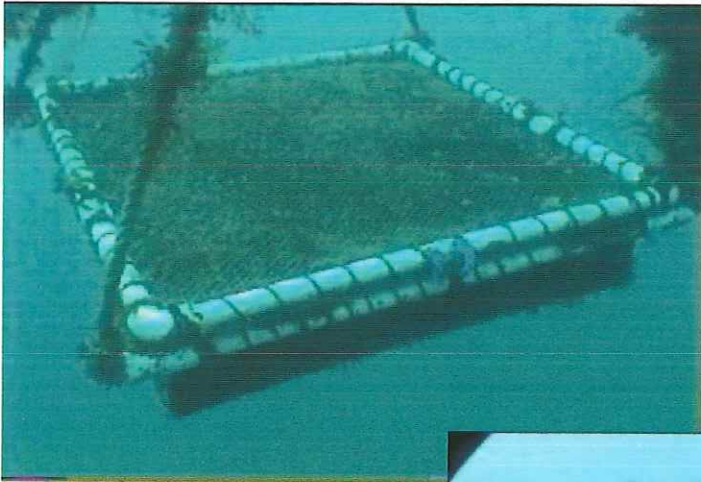
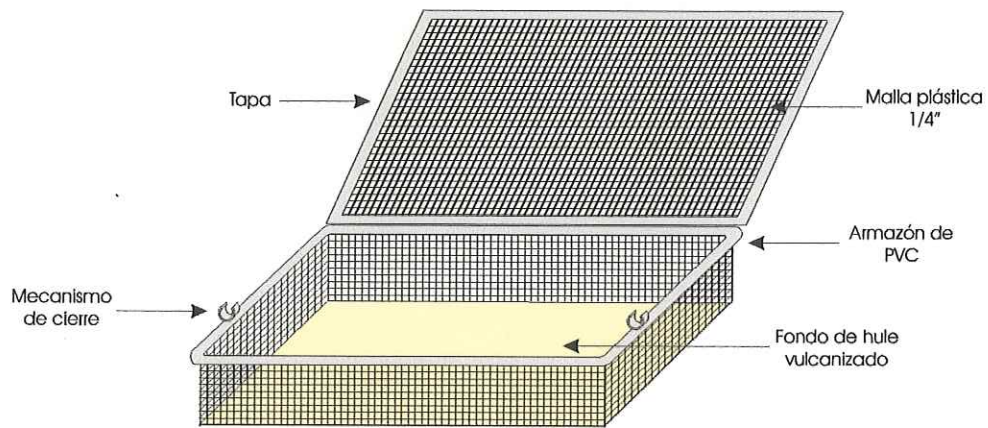


FIGURA 2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PRIMER TIPO DE JAULA UTILIZADA AL INICIO DEL EXPERIMENTO. (SIN ESCALA).

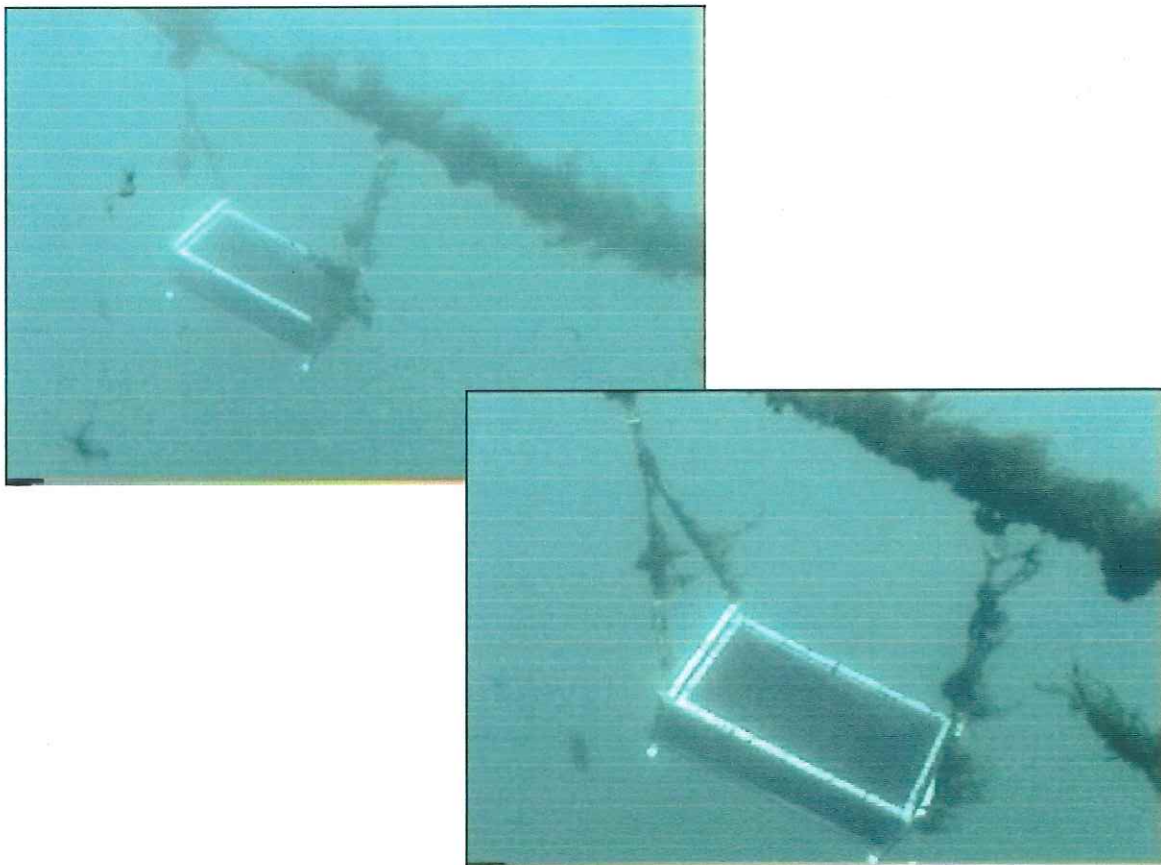
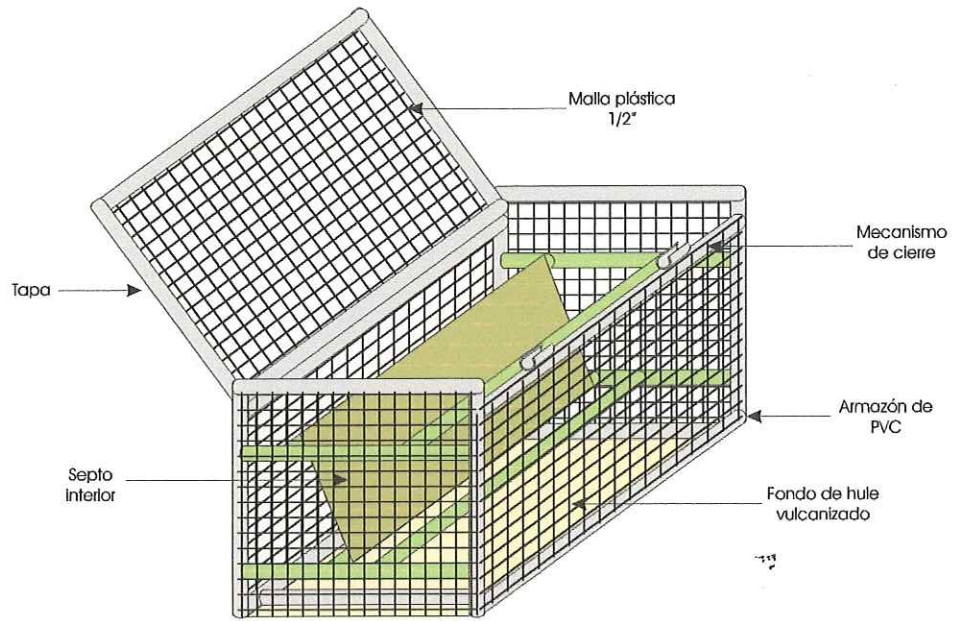


FIGURA 3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SEGUNDO TIPO DE JAULA UTILIZADA PARA EL DESDOBLE DE LOS ORGANISMOS. (SIN ESCALA).

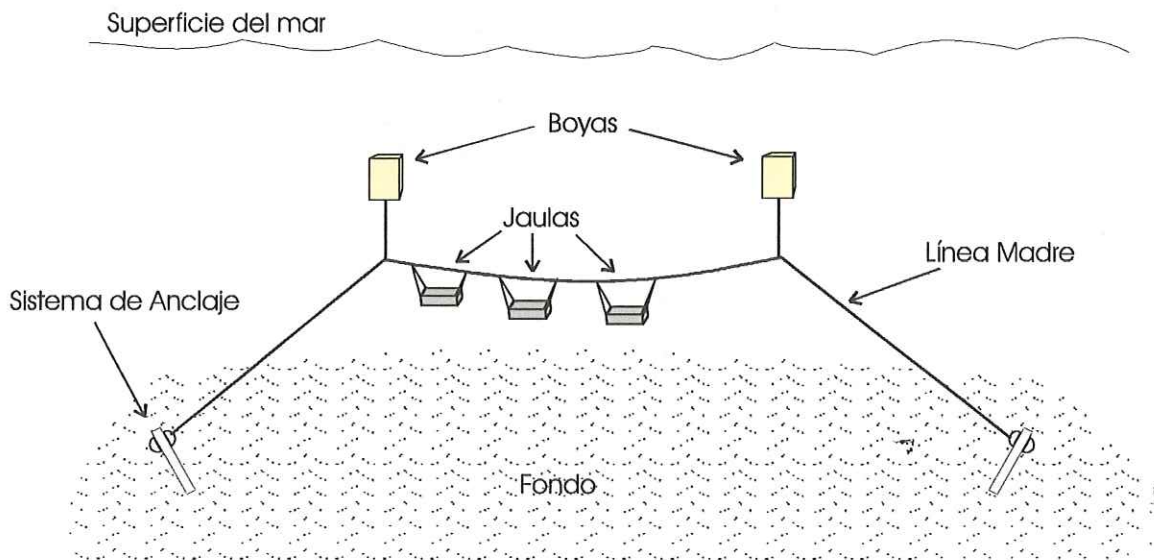


FIGURA 4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN EMPLEADO PARA LA COLOCACIÓN DE LAS JAULAS. (SIN ESCALA).

Hábitats Artificiales (Camas)

Para la construcción de los hábitats artificiales se utilizaron materiales de oportunidad. El cuerpo principal está formado con banda de hule vulcanizado de desecho, de la que se utiliza para el acarreo de graneles. Del cuerpo principal, acomodado en forma de "U", se proyectan una serie de postes hechos con recortes de banda de hule vulcanizado utilizada para la transmisión de movimiento (Fig. 5). Cada una de las camas se sujetó a una estructura metálica de soporte que las mantiene a un metro por encima del fondo (Fig. 6). El conjunto arrecifal se instaló a una profundidad de 14 m.

Descripción de Actividades

Con el objeto de seleccionar el área para la realización del proyecto, se efectuaron 4 salidas de prospección: las dos primeras para un reconocimiento general de las posibles zonas y las dos últimas para un reconocimiento visual directo, mediante buceo, de las dos o tres mejores zonas seleccionadas en las primeras salidas.

Previo a la construcción de las artes de cultivo que fueron fondeadas en la zona de estudio, se realizaron pruebas de laboratorio en prototipos de las mismas con el objeto de observar la interacción de los organismos con dichas estructuras.

Debido a problemas logísticos y financieros, no fue posible el fondeo de las estructuras sino hasta finales de septiembre de 1997. Ese año, como efecto del fenómeno de El Niño, se esperaba que la temporada de tormentas invernales se adelantara. Para no arriesgar el inicio del experimento se decidió adelantar la siembra de los organismos en los hábitats artificiales a pesar de que no habían transcurrido los dos o tres meses que es conveniente esperar para el "añejamiento" de las estructuras (Nakayama *et al*, 1993), proceso durante el cual se espera que la estructura libere cualquier posible sustancia

extraña que haya entrado en contacto con ella y se colonice con organismos que sirvan de alimento natural para el erizo. En el caso del presente experimento, las camas se fondearon 4 semanas antes de la siembra de los organismos, misma que se realizó asignando los tratamientos respectivos de manera aleatoria.

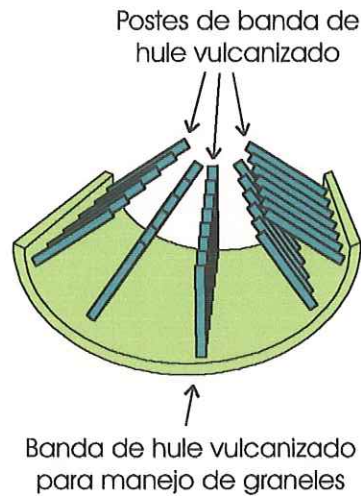


FIGURA 5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS HÁBITATS ARTIFICIALES (CAMAS) DISEÑADOS PARA EL EXPERIMENTO. (SIN ESCALA).

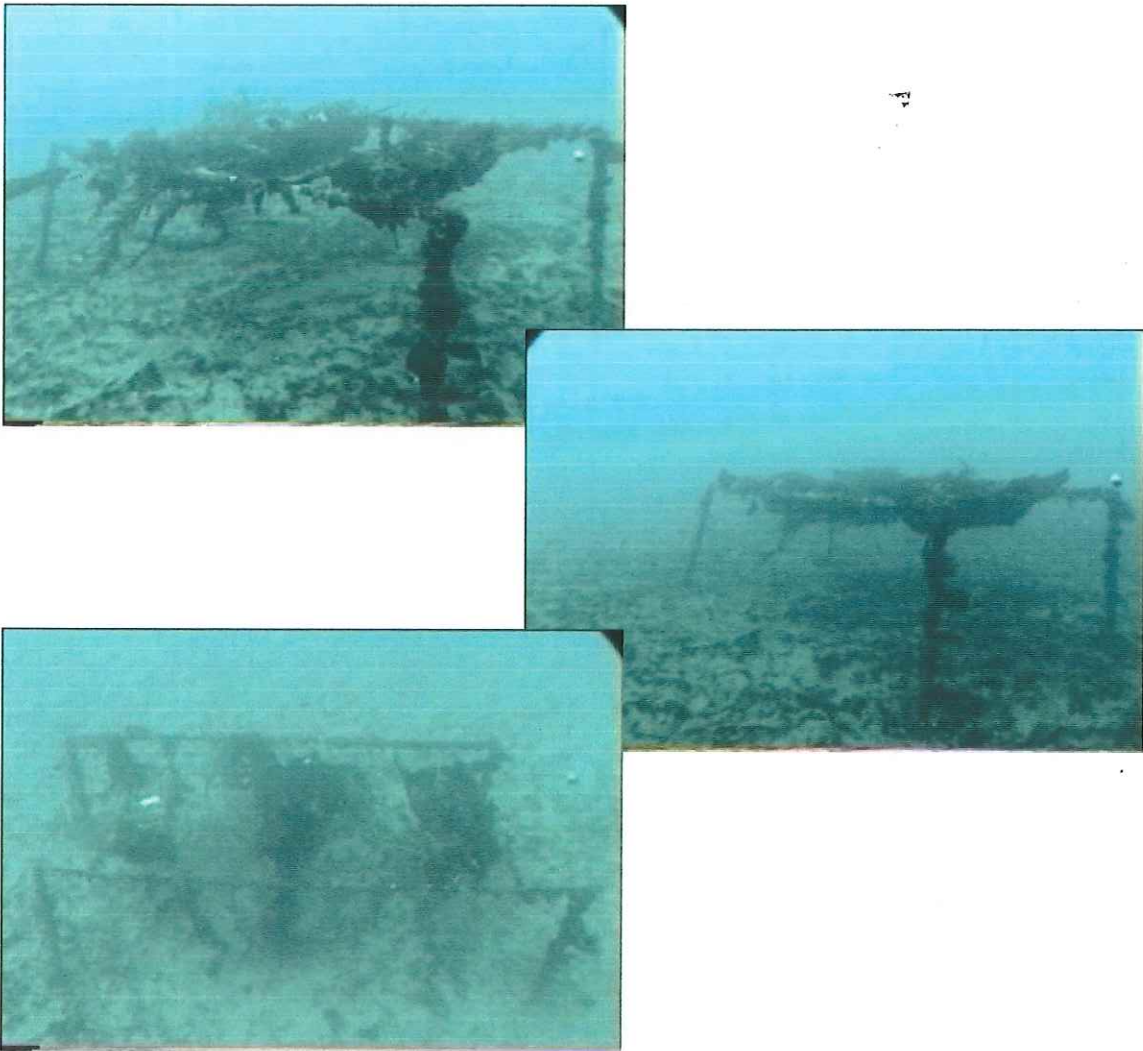
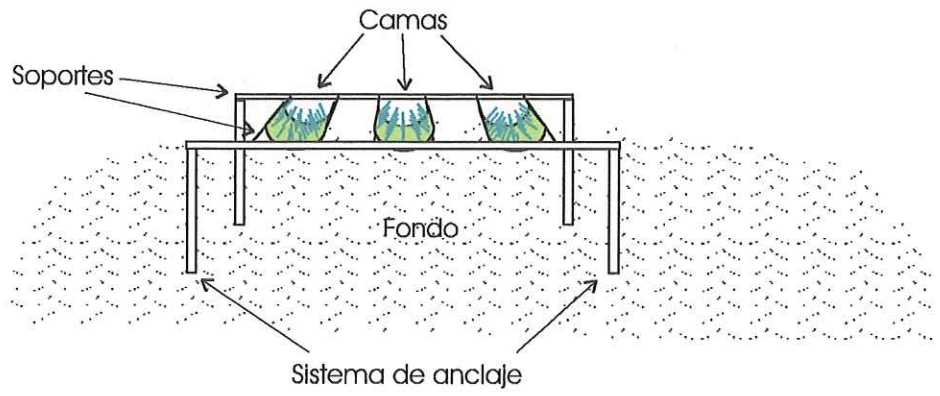


FIGURA 6. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ESTRUCTURA UTILIZADA PARA EL MONTAJE DE LOS HÁBITATS ARTIFICIALES (CAMAS). (SIN ESCALA).

Siembra de Organismos

Los juveniles silvestres fueron mantenidos temporalmente en el mar en una "reciba" con alimento, con la finalidad de permitir una aclimatación a las nuevas condiciones y considerar la mortalidad por manejo que se presenta en esta etapa. Previo a la siembra, se midió el total de los organismos para determinar la estructura general de la población cautiva. Posteriormente, se asignaron los organismos de manera aleatoria a los diferentes tratamientos y unidades experimentales; de cada uno de los lotes se tomó una muestra representativa, cuyo tamaño se determinó para que el error no fuera mayor al 15% con una $\alpha=0.05$ (Tabla I).

Evaluación y Seguimiento

El seguimiento del experimento consistió en las siguientes actividades:

- ALIMENTACIÓN: Se estableció una periodicidad semanal para esta actividad. Sin embargo, debido a problemas logísticos y mal tiempo, no siempre fue posible mantener este esquema de alimentación.

La alimentación consistió en el suministro de la macroalga *Macrocystis pyrifera* a los organismos de cada tratamiento o unidad experimental (Fig. 7). El alimento se proporcionó a discreción, sobrepasando holgadamente una proporción del 10% diario del peso corporal de los organismos (este último estimado a partir de ecuaciones de relación talla-peso presentes en la literatura, ej.: Baker, 1973).

- CRECIMIENTO: La medición de la talla de los organismos se realizó mensualmente con un nonio de plástico. Para ello se seleccionó aleatoriamente una muestra de 20 organismos por cada unidad experimental; lo anterior se determinó estadísticamente para que el error no fuera mayor al 15% con un $\alpha= 0.05$.



FIGURA 7. SUMINISTRO DE *Macrocystis pyrifera* COMO ALIMENTO DE *Strongylocentrotus franciscanus* CRIADO EN JAULAS. LA MACROALGA FUE SUMINISTRADA A DISCRECIÓN. SE APRECIAN LOS MECANISMOS DE CIERRE Y SUJECIÓN DEL PRIMER TIPO DE JAULA UTILIZADA.

- **SOBREVIVENCIA:** Mensualmente se realizó un conteo directo de los organismos para la determinación de este parámetro.
- **PARÁMETROS AMBIENTALES:** La medición de la temperatura se realizó utilizando un termógrafo instalado por el Programa de Macroalgas del IIO en el área conocida como Arbolitos. Entre los meses de marzo y julio de 1998 hubo problemas con el registro del termógrafo; durante ese período se registró la temperatura tomada durante las salidas de campo con un termómetro de laboratorio de inmersión total (escala: -30 a 50 °C).
- **DESDOBLES:** Esta actividad se realizó en el noveno mes del experimento y consistió en transferir los organismos sembrados en las jaulas, del primer tipo de jaula al segundo, para disminuir su densidad de siembra.
- **ÍNDICE DE CONDICIÓN (I.C.):** Al finalizar el experimento se tomó una muestra aleatoria de 5 organismos por cada celda experimental a partir de la cual se determinó en el laboratorio su talla, peso e índice de condición. Para efectos de comparación, se obtuvieron organismos del medio natural de talla comparable a la de los utilizados en el experimento y se les determinaron los parámetros arriba mencionados.
- **OBSERVACIONES COMPLEMENTARIAS:** Además de lo anterior, se llevó un registro descriptivo de las siguientes observaciones:
 - **Aspectos biológicos:** crecimiento de epibiontes en las estructuras de cultivo, presencia de depredadores en las estructuras del cultivo, presencia de macroalgas a la deriva.
 - **Aspectos físicos y geológicos:** estabilidad y resistencia aparente de las estructuras, patrones de asolvamiento, comportamiento de las principales

corrientes, visibilidad.

- **Aspectos técnicos:** facilidad de manejo de las artes de cultivo, manejo de los organismos (muestreos), frecuencia de limpieza de las artes de cultivo.

La duración del experimento fue de 13 meses (390 días), contados a partir de la siembra de los organismos (del 21/oct/97 al 15/nov/98).

Análisis Estadístico

Con el objeto de detectar diferencias entre los tratamientos, se compararon los valores finales de crecimiento e índice de condición mediante pruebas para comparación de medias. Cuando las características de normalidad y homocedasticidad de los datos lo permitieron, se utilizó el análisis de varianza de una vía paramétrico; en caso contrario, se utilizó el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis. Para la determinación del ajuste a la distribución normal de los datos se utilizó la prueba W de Shapiro-Wilk. Para determinar la homocedasticidad de los datos se utilizó la prueba de Homogeneidad de Varianzas de Levene. Dada la potencia del ANOVA paramétrico, cuando las varianzas resultaron heterogéneas se procedió a establecer la posible correlación entre la media y la varianza; si ésta no era significativa se procedía con la prueba paramétrica. En el caso del parámetro 'índice de condición', las pruebas se corrieron sobre la transformación "arco seno" de los datos. Siempre que se detectaron diferencias, se aplicó la prueba *a posteriori* de Tukey.

Mediante un análisis de correlación entre los tratamientos, se comparó la tasa de crecimiento diaria, estimada ésta como el incremento observado en la talla dividido por los días transcurridos entre una y otra medición. Se estimó también la pendiente de las curvas de crecimiento mediante una regresión simple y se compararon entre sí mediante

el análisis de comparación de pendientes (Zar, 1984).

Para detectar diferencias en el parámetro 'sobrevivencia' entre las diferentes artes de cultivo se realizó una prueba Chi-cuadrada de bondad de ajuste en una tabla de contingencia de 2 X 4. Para estandarizar los valores de las diferentes artes de cultivo se transformaron los datos a número de organismos por metro cuadrado.

Para la ejecución de las pruebas estadísticas se utilizó el programa STATISTICA FOR WINDOWS versión 4.2 (© StatSoft, Inc.; 1993). En todas ellas se consideró un $\alpha= 0.05$.

Resultados

Sobrevivencia

El número de organismos sobrevivientes en las estructuras experimentales se presenta en la figura 8a. En el caso de las camas, la sobrevivencia presentó un rápido descenso durante los primeros dos meses del experimento (88% en 67 días); este descenso se vió acompañado por una dispersión de los organismos en toda la estructura arrecifal que imposibilitó el poder asignarlos a alguna de las unidades experimentales durante las evaluaciones de sobrevivencia y crecimiento. Como consecuencia de lo anterior se tomó la decisión de discriminar la existencia de tres unidades experimentales (cama 1, cama 2 y cama 3) y considerar a todo el conjunto arrecifal como una sola unidad (camas). A partir del día 67, la población restante en las estructuras disminuyó de 14.24 a 6.1 organismos/m² hacia el final del experimento, disminución de la densidad que resultó estadísticamente significativa con respecto a la población inicial ($p < 0.0000$; Tabla II-d).

Durante los meses de enero y febrero de 1998 ocurrieron varias tormentas que imposibilitaron el seguimiento adecuado del experimento. En la evaluación del 5 de marzo de 1998 (día 135) se encontró que el mecanismo de cierre de la jaula 3 había cedido y se abrió, lo que significó la pérdida de la mitad de los organismos (Fig. 8). De este modo, la población de la jaula 3 pasó de 81 organismos a 40 (120 org./m² a 59 org./m²); disminución de la población que resultó estadísticamente significativa ($p < 0.0000$; Tabla II-c). Cabe resaltar que a partir de ese momento la población se mantuvo estable hasta el final del experimento.

En la evaluación del 21 de mayo de 1998 (día 212) se encontró que, provocado probablemente por el mal tiempo de los días previos, el cable de acero que soportaba las

jaulas se reventó de un extremo, al igual que las boyas que lo sostenían a media agua. Las jaulas fueron localizadas parcialmente enterradas en la arena y una de ellas, la jaula 2, se encontraba abierta; de esta jaula sólo se logró recuperar 49 de los 81 organismos sembrados inicialmente (73 org./m^2 de 120 org./m^2 ; Fig. 8); disminución de la población que resultó estadísticamente significativa ($p < 0.0006$; Tabla II-b). Cabe resaltar que al igual que la jaula 3, la población de esta unidad experimental permaneció estable el resto del experimento.

Únicamente la estimación de sobrevivencia en la jaula 1 no se vio afectada por eventos accidentales que implicaran literalmente la pérdida de organismos del arte de cultivo. Durante los 13 meses del experimento la población de la jaula 1 disminuyó de 81 a 70 organismos (120 org./m^2 a $103.7036 \text{ org./m}^2$; Fig. 8); disminución que no resultó estadísticamente significativa ($p < 0.2759$) (Tabla II-a).

Finalmente, las diferencias en la sobrevivencia observada entre las unidades experimentales resultaron estadísticamente significativas ($p < 0.0000$, Tabla III).

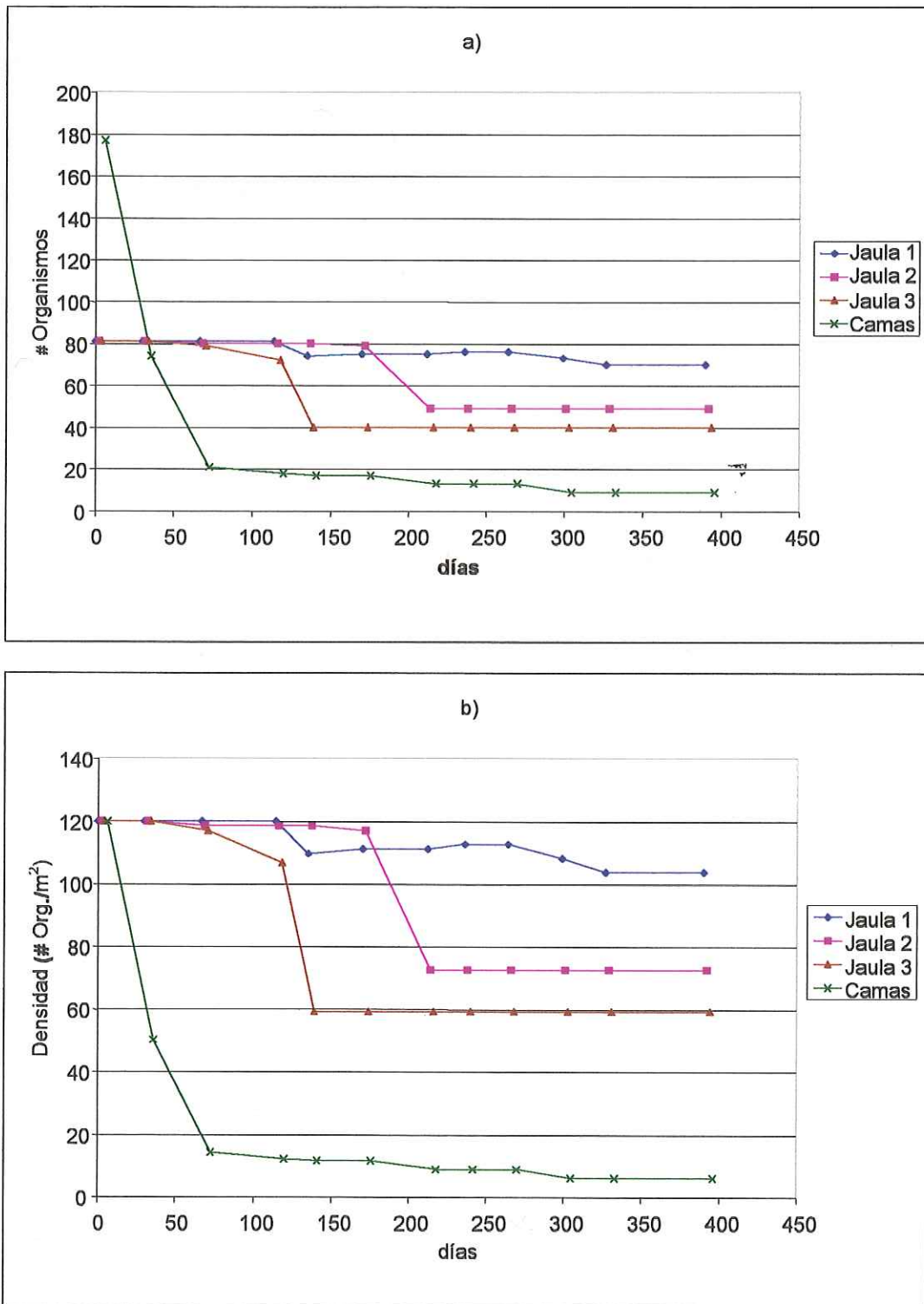


FIGURA 8. SOBREVIVENCIA DE *Strongylocentrotus franciscanus* EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES. a) NÚMERO TOTAL DE ORGANISMOS; b) DENSIDAD (ORGANISMOS/m²). LAS OBSERVACIONES CORRESPONDEN A LOS MISMOS DÍAS; SE PRESENTAN DESFASADAS PARA UNA MEJOR APERCIACIÓN GRÁFICA.

TABLA II. SOBREVIVENCIA DE *Strongylocentrotus franciscanus* EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES
 A) JAULA 1; B) JAULA 2; C) JAULA 3; D) CAMAS. SU COMPARACIÓN CON LA PRUEBA χ^2 .

A) JAULA 1

FRECUENCIAS OBSERVADAS CONTRA ESPERADAS
 $\chi^2 = 1.1871$ g.l. = 1 p < 0.2759

Caso	Valor Obs. <i>O</i>	Valor Esp. <i>E</i>	<i>O - E</i>	$\frac{(O-E)^2}{E}$
Densidad Inicial	120.0000	111.8518	8.1482	0.5935
Densidad Final	103.7036	111.8518	-8.1482	0.5935
Suma	223.7036	223.7036	0.0000	1.1871

B) JAULA 2

FRECUENCIAS OBSERVADAS CONTRA ESPERADAS
 $\chi^2 = 11.6695$ g.l. = 1 p < 0.0006

Caso	Valor Obs. <i>O</i>	Valor Esp. <i>E</i>	<i>O - E</i>	$\frac{(O-E)^2}{E}$
Densidad Inicial	120.0000	96.2963	23.7037	5.8347
Densidad Final	72.5926	96.2963	-23.7037	5.8347
Suma	192.5926	192.5926	0.0000	11.6695

C) JAULA 3

FRECUENCIAS OBSERVADAS CONTRA ESPERADAS
 $\chi^2 = 20.5814$ g.l. = 1 p < 0.0000

Caso	Valor Obs. <i>O</i>	Valor Esp. <i>E</i>	<i>O - E</i>	$\frac{(O-E)^2}{E}$
Densidad Inicial	120.0000	89.6297	30.3703	10.2907
Densidad Final	59.2594	89.6297	-30.3703	10.2907
Suma	179.2594	179.2594	0.0000	20.5814

D) CAMAS

FRECUENCIAS OBSERVADAS CONTRA ESPERADAS
 $\chi^2 = 102.8751$ g.l. = 1 p < 0.0000

Caso	Valor Obs. <i>O</i>	Valor Esp. <i>E</i>	<i>O - E</i>	$\frac{(O-E)^2}{E}$
Densidad Inicial	120.0000	63.0510	56.9490	51.4375
Densidad Final	6.1020	63.0510	-56.9490	51.4375
Suma	126.1020	126.1020	0.0000	102.8751

Crecimiento

A lo largo del experimento, el crecimiento presentó diferentes tendencias y variaciones para cada unidad experimental; no obstante, las tallas promedio finales no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí ($p < 0.7497$) (Fig. 9). A diferencia del crecimiento observado en las jaulas, los organismos sembrados en las camas presentaron un crecimiento nulo durante el primer mes; el crecimiento se fue recuperando y antes del sexto mes la talla promedio de los organismos en las camas no presentó diferencias significativas con respecto a las de las jaulas (Tabla IV, Fig. 9). Hacia el séptimo y octavo mes el crecimiento en las camas excedió al de las jaulas; sin embargo, a partir de este punto las curvas de crecimiento presentaron un comportamiento similar hasta el final del experimento (Fig. 9, Tabla IV).

Una apreciación más clara del crecimiento del erizo observado en la gráfica la brinda el comportamiento de la tasa de crecimiento diaria (Fig. 10). La comparación de los patrones de comportamiento de la tasa de crecimiento observado en las unidades experimentales indica una correlación significativa de la Jaula 1 con la Jaula 2 y las Camas ($\alpha = 0.05$; Tabla V).

TABLA III. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE SOBREVIVENCIA DEL ERIZO *Strongylocentrotus franciscanus* ENTRE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES, CON LA PRUEBA χ^2 .

FRECUENCIAS OBSERVADAS CONTRA ESPERADAS
 $\chi^2 = 82.3221$ g.l. = 3 $p < 0.0000$

Caso	Valor Obs. <i>O</i>	Valor Esp. <i>E</i>	<i>O</i> - <i>E</i>	$\frac{(O-E)^2}{E}$
Jaula 1	103.7036	60.4144	43.2893	31.0184
Jaula 2	72.5926	60.4144	12.1782	2.4548
Jaula 3	59.2593	60.4144	- 1.1551	0.0220
Camas	6.1020	60.4144	- 54.3124	48.8267
Suma	241.6576	241.6576	0.0000	82.3221

TABLA IV. COMPARACIÓN DEL CRECIMIENTO DE *Strongylocentrotus franciscanus* EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES. PROBABILIDAD ASOCIADA A LAS PRUEBAS DE NORMALIDAD, HOMOCEDASTICIDAD, Y ANÁLISIS DE VARIANZA. EN LOS CASOS QUE NO SE CUMPLIERON LAS CONDICIONES DE NORMALIDAD Y HOMOCEDASTICIDAD, LA INFORMACIÓN CORRESPONDIENTE A LAS PRUEBAS ANOVA Y DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE SE REFIERE A SUS EQUIVALENTES NO PARAMÉTRICOS (KRUSKAL-WALLIS Y TUKEY NO PARAMÉTRICO). J1=JAULA 1; J2=JAULA 2; J3=JAULA 3; CS=CAMAS.

Tiempo (días)	Fecha Muestreo	Shapiro-Wilk W Test				Levene	ANOVA	Tukey*
		J1	J2	J3	CS			
30	20/Nov/97	0.5450	0.2851	0.0738	0.0038	----	0.0000	CS contra J2,J3,J1
67	27/Dic/97	0.9207	0.7618	0.5342	0.1923	0.4215	0.0000	CS contra J2,J1,J3
114	12/Feb/98	0.2116	0.8893	0.8213	0.2134	0.2015	0.0000	CS contra J2,J3,J1
135	05/Mar/98	0.2932	0.3440	0.7675	0.1255	0.0973	0.0004	CS contra J3,J2,J1
170	09/Abr/98	0.4557	0.5064	0.4527	0.9762	0.5519	0.0345	J1 contra J3
212	21/May/98	0.0045	0.9360	0.5291	0.1888	----	0.0232	J2 contra CS
236	14/Jun/98	0.3780	0.0368	0.8178	0.1749	----	0.0332	J1 contra CS
264	12/Jul/98	0.6133	0.7458	0.6653	0.1727	0.9788	0.0000	J1,J2 contra J3
299	16/Ago/98	0.2142	0.2346	0.0667	0.4586	0.0111	0.3293	----
327	13/Sep/98	0.3808	0.0296	0.2667	0.0735	----	0.0444	J1 contra J3
390	15/Nov/98	0.4349	0.2106	0.3129	0.5066	0.0696	0.7497	----

* Se presentan los tratamientos con diferencias significativas entre sí, ordenados de menor a mayor.

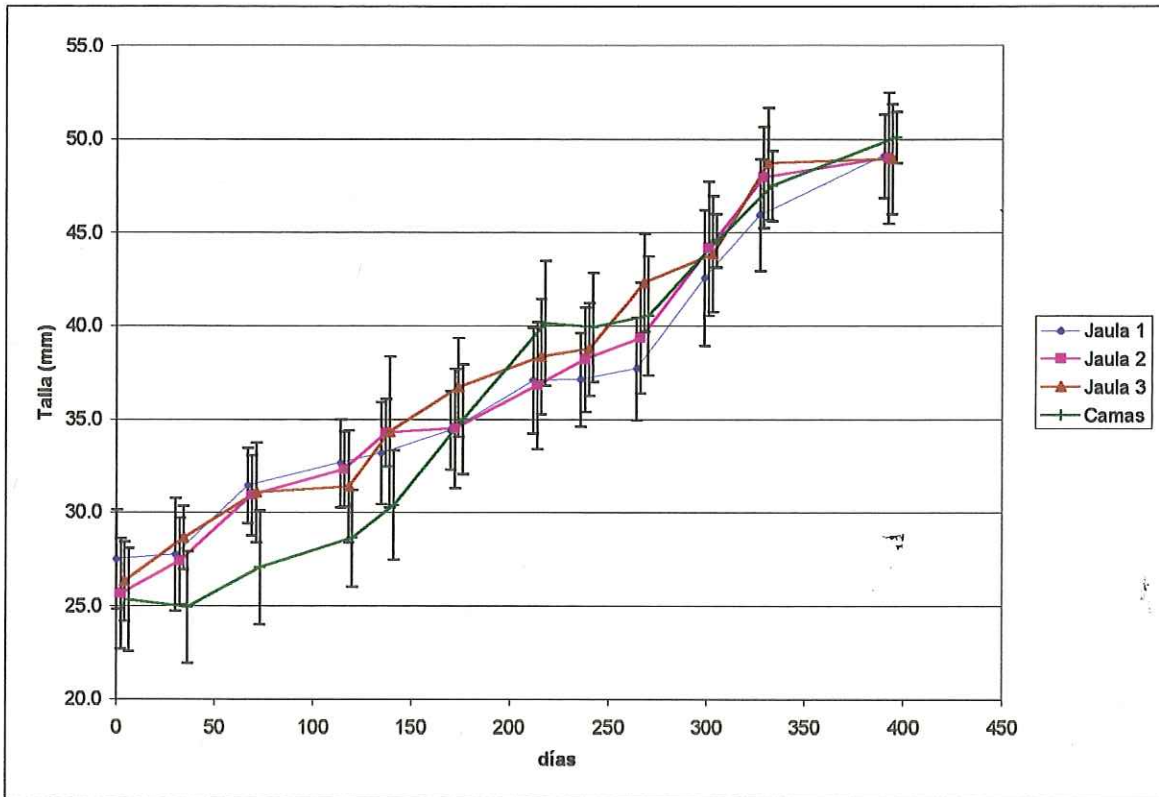


FIGURA 9. CRECIMIENTO DEL ERIZO ROJO *Strongylocentrotus franciscanus* OBSERVADO EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES. CADA PUNTO REPRESENTA EL PROMEDIO DE 20 MEDICIONES; LAS BARRAS VERTICALES, \pm UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR. LAS OBSERVACIONES CORRESPONDEN A LOS MISMOS DÍAS; SE PRESENTAN DESFASADAS PARA UNA MEJOR APRECIACIÓN GRÁFICA.

El análisis de comparación de pendientes (Zar, 1984) indicó diferencias estadísticamente significativas entre ellas ($p < 0.0128$); la prueba a *posteriori* de Tukey indicó que la diferencia ocurre en la comparación de Jaula 1 contra Camas (Fig. 11; Tabla VI).

TABLA V. MATRIZ DE CORRELACIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO DIARIA DE *Strongylocentrotus franciscanus* OBSERVADA EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES ($r_{crit} = 0.5529$; $\alpha = 0.05$).

	Jaula 1	Jaula 2	Jaula 3	Camas
Jaula 1	1.0000	0.7297	0.1862*	0.6227
Jaula 2		1.0000	0.4838*	0.2867*
Jaula 3			1.0000	0.2319*
Camas				1.0000

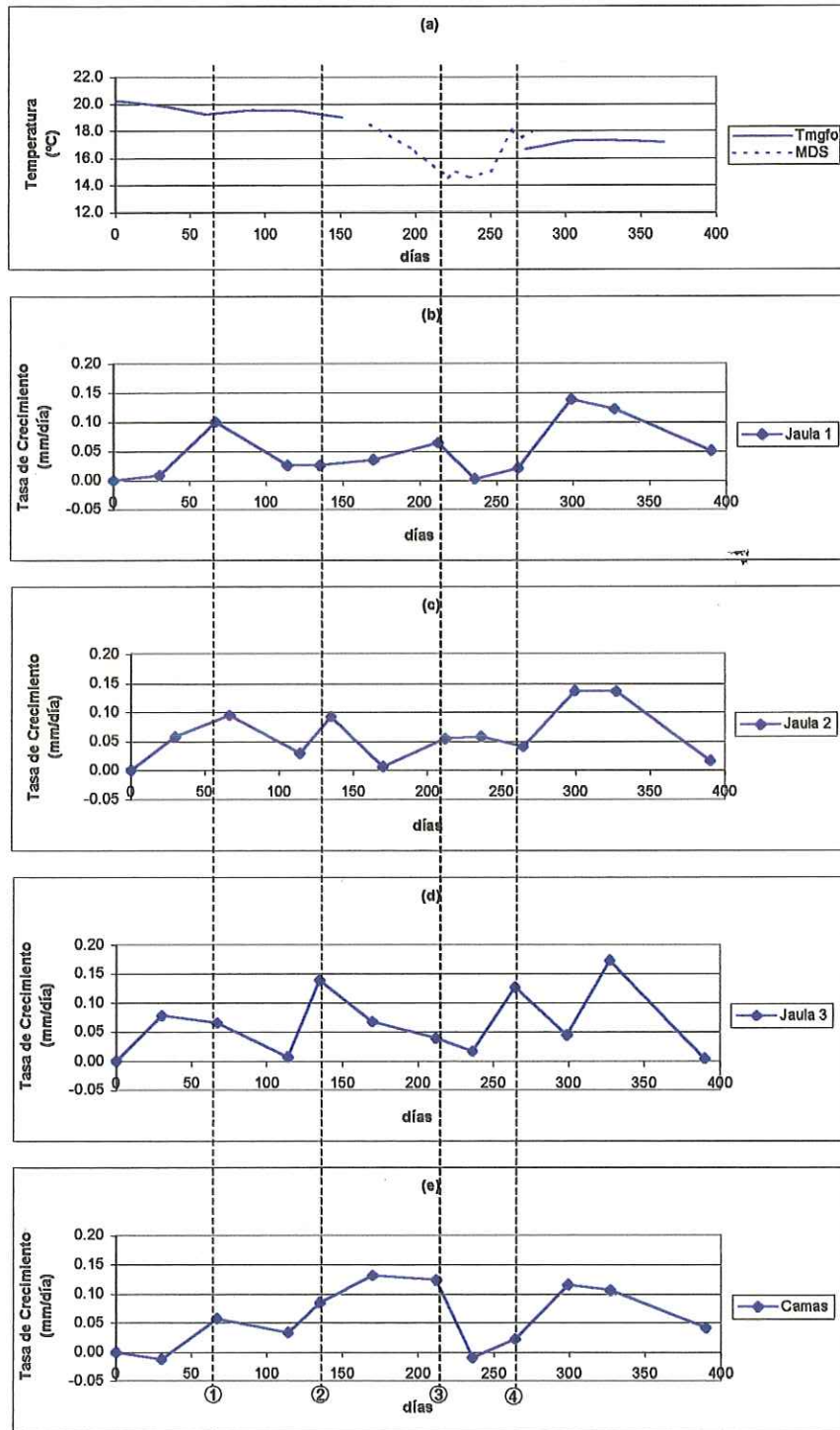


FIGURA 10. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA (a) Y LA TASA DE CRECIMIENTO DIARIA DEL ERIZO *Strongylocentrotus franciscanus* OBSERVADA EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES (b-e). a) MEDICIÓN DE TEMPERATURA OBTENIDA POR TERMÓGRAFO (Tmgfo) Y POR MEDICIÓN DIRECTA SEMANAL (MDS). b-e) LOS PUNTOS REPRESENTAN LAS TASAS DE CRECIMIENTO DIARIA ESTIMADA A PARTIR DEL INCREMENTO EN LA TALLA PROMEDIO ($n = 20$ ORGANISMOS) DIVIDIDA POR LOS DÍAS TRANSCURRIDOS ENTRE UNA Y OTRA MEDICIÓN. LAS LÍNEAS PUNTEADAS SEÑALAN LOS EVENTOS INDICADOS EN EL TEXTO: ① PRESENCIA DE ALIMENTO NATURAL EN CAMAS; ② PÉRDIDA ACCIDENTAL DE ORGANISMOS EN JAULA 3; ③ PÉRDIDA ACCIDENTAL DE ORGANISMOS EN JAULA 2; ④ DESDOBLE DE ORGANISMOS DE JAULA 1.

TABLA VI. COMPARACIÓN MÚLTIPLE TUKEY PARAMÉTRICO PARA LAS PENDIENTES DE LA REGRESIÓN OBTENIDA DEL CRECIMIENTO DE *Strongylocentrotus franciscanus* EN LAS DIFERENTES UNIDADES EXPERIMENTALES. SE PRESENTAN LOS VALORES DE q CALCULADO; REGLA DE RECHAZO: $|q_{\text{calc}}| > q_{\text{crit}}$.

$$q_{\text{crit}}(0.05, 40, 4) = 3.791$$

	Jaula 1	Jaula 2	Jaula 3	Camas
Jaula 1		1.7553	1.8309	4.8631
Jaula 2			0.0756	3.1078
Jaula 3				3.0322
Camas				

Finalmente, las estimaciones de la tasa de crecimiento anual a partir de las pendientes obtenidas en las curvas de crecimiento de las diferentes unidades experimentales se presentan en la tabla VII.

TABLA VII. TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE *Strongylocentrotus franciscanus* ESTIMADA DE LAS PENDIENTES OBTENIDAS EN EL ANÁLISIS DE REGRESIÓN.

Unidad Experimental	Pendiente (mm/día)	Tasa de Crecimiento Anual (mm/año)
Jaula 1	0.0537	19.6148
Jaula 2	0.0600	21.9189
Jaula 3	0.0603	22.0181
Camas	0.0712	25.9985

Índice de Condición

Los resultados se presentan en las tablas VIII y IX; en ellas se aprecia que la talla de los organismos silvestres (SL) fue significativamente mayor que la de los organismos de las jaulas 1 y 2 (J1, J2). En cuanto al peso, los organismos silvestres (SL) presentaron un peso significativamente mayor que los organismos de la jaula 2 (J2) y de las camas (CS). En lo que se refiere al I.C., los organismos silvestres presentaron un valor significativamente menor que los de las unidades experimentales.

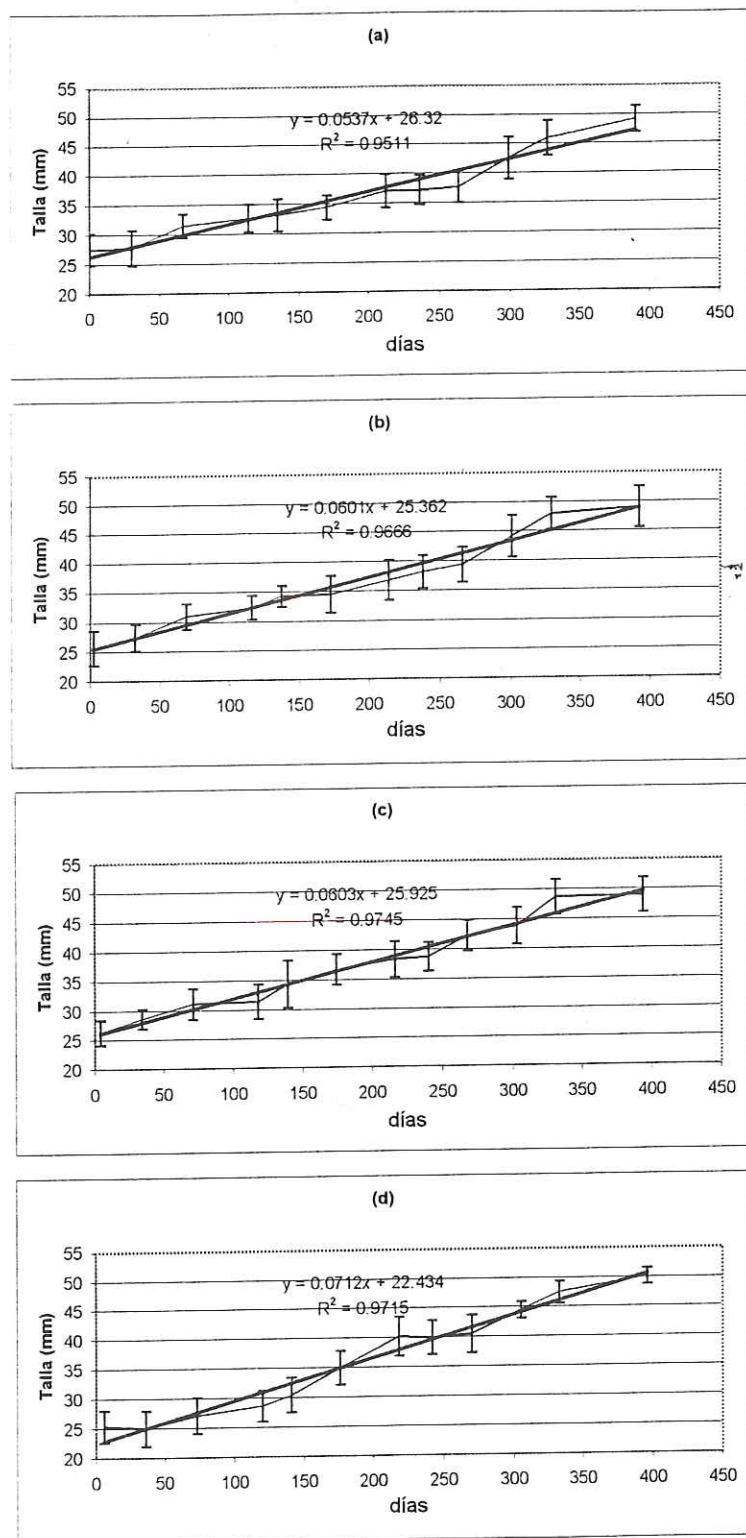


FIGURA 11. ANÁLISIS DE REGRESIÓN SIMPLE DEL CRECIMIENTO DE *Strongylocentrotus franciscanus* EN CADA UNIDAD EXPERIMENTAL. a) JAULA 1; b) JAULA 2; c) JAULA 3; y, d) CAMAS. CADA PUNTO REPRESENTA EL PROMEDIO DE 20 MEDICIONES; LAS BARRAS VERTICALES, \pm UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR.

TABLA VIII. INDICE DE CONDICIÓN (I.C.)* DE *Strongylocentrotus franciscanus* OBTENIDO DE LOS ORGANISMOS EXPERIMENTALES Y DE ORGANISMOS SILVESTRES.

$$\left(I.C. = \frac{\text{Peso Gónadas}}{\text{Peso Total}} \cdot 100 \right)$$

	Jaula 1	Jaula 2	Jaula 3	Camas	Silvestres
n	5	5	5	5	5
Talla (mm)	49.30 (3.6332)	49.80 (2.0797)	50.90 (1.0247)	50.40 (1.9494)	57.70 (2.6125)
Peso (g)	54.56 (8.4995)	52.62 (7.1482)	58.11 (4.9426)	54.63 (9.8040)	91.32 (11.5124)
I.C. (%)	16.94 (1.5311)	18.37 (5.2882)	17.89 (2.1802)	13.84 (2.2443)	3.64 (2.9104)

* media (desviación estándar)

TABLA IX. EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN (I.C.) DE *Strongylocentrotus franciscanus* EN CADA UNIDAD EXPERIMENTAL. PROBABILIDAD ASOCIADA A LAS PRUEBAS DE NORMALIDAD, HOMOCEDASTICIDAD, Y KRUSKAL-WALLIS. PARA LA PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE TUKEY NO PARAMÉTRICO SE PRESENTAN LOS TRATAMIENTOS CON DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE SÍ, ORDENADOS DE MENOR A MAYOR. J1=JAULA 1; J2=JAULA 2; J3=JAULA 3; CS=CAMAS; SL=SILVESTRES.

Variable	Shapiro-Wilk W Test					Levene	ANOVA	Tukey
	J1	J2	J3	CS	SL			
Talla	0.0400	0.1546	0.0574	0.4505	0.1218	---	0.0175	J2,J1_contra SL
Peso	0.0315	0.6683	0.1643	0.8566	0.8346	---	0.0146	J2,CS contra SL
I.C.	0.6747	0.3923	0.0954	0.9366	0.1896	0.0027	0.0039	SL contra CS,J1,J2,J3

Observaciones Complementarias

Temperatura

Las temperaturas registradas por el termógrafo durante el experimento oscilaron entre 16.6 °C (Julio/98) y 20.2 °C (Octubre/97) (Fig. 10; Tmgfo: termógrafo). Los valores registrados con el termómetro de laboratorio, de hasta 14.5 °C sugieren la presencia de surgencias en la zona (Fig. 10; MDS: Medición Directa Semanal).

Discusión

En el transcurso del experimento, tres eventos tuvieron un efecto significativo en la sobrevivencia de los organismos que dificultan su interpretación (Fig. 8). El primero de ellos estuvo relacionado con el efecto de un corto período de añejamiento de los hábitats artificiales previo a la siembra de los organismos; el segundo, con el efecto de las marejadas de enero y febrero de 1998 sobre las unidades experimentales; y, el tercero, con la integridad estructural del sistema de cultivo experimental.

Para mitigar el efecto de la falta de alimento natural en las camas producto de un corto período de añejamiento, se decidió suministrar hojas de sargazo gigante (*Macrocystis pyrifera*) a los organismos; decisión que resultó contraproducente. Durante los buceos de seguimiento se pudo observar que las hojas de *M. pyrifera* se desprendían de la estructura y se llevaban consigo, adheridos, a los juveniles. Además de lo anterior, como resultado de la falta de alimento, los organismos deambulaban por toda la estructura, lo que dificultó el poder asignarlos a alguna de las unidades experimentales durante las evaluaciones de sobrevivencia y crecimiento. Dos meses después de iniciado el experimento (finales de diciembre de 1997), se observó en las camas un crecimiento adecuado de alimento natural, por lo que a partir de este momento dejó de suministrarse *M. pyrifera*. La población restante en las estructuras permaneció prácticamente sin variaciones importantes el resto del experimento (Fig. 8).

La disminución de organismos observada en las camas, al igual que la observada en las jaulas 2 y 3, corresponde más con el concepto de "permanencia" manejado por Bustos *et al.* (1991) que con el de sobrevivencia.

Podemos considerar que únicamente la disminución de la población en la jaula 1 refleja

de manera precisa el concepto de sobrevivencia asociado con estas artes de cultivo.

La permanencia observada en las camas no refleja la capacidad de carga real de estas artes de cultivo. Aún cuando la disminución de la población se debió al manejo inadecuado del sistema, podemos inferir de algún modo su capacidad de carga a partir de las observaciones realizadas.

Como se mencionó anteriormente, una vez que las estructuras presentaron un crecimiento adecuado de alimento natural, la población restante permaneció prácticamente sin variaciones importantes el resto del experimento (día 67, Fig. 8). A este respecto, cabe agregar que los organismos sobrevivientes se mantuvieron confinados en una sola cama; es decir, al tener alimento disponible, no deambulaban por todo el conjunto arrecifal. Si en lugar de considerar a las tres camas como una sola estructura se considerara que la disminución en la población supuso la pérdida de dos de las tres camas, entonces podríamos referir el número de organismos sobrevivientes a la superficie disponible de una sola cama, lo que significaría que en lugar de tener 6.1 organismos/m² al final del experimento, en realidad tendríamos una densidad final de 18.3 organismos/m². Si bien el nuevo valor aún resulta en una disminución de la población estadísticamente significativa con respecto a la inicial, y en una sobrevivencia (o permanencia) menor que la observada en las jaulas; esta interpretación da una mejor idea de la capacidad de carga de estas artes de cultivo. Cabe agregar, que en el transcurso del experimento el crecimiento de alimento natural observado en las camas fue tan abundante que ni la población experimental, ni la de los demás organismos que poblaron la estructura de manera natural, pudieron disminuirla; lo que permite suponer que dichas estructuras pudieran soportar una mayor biomasa que la que tuvieron.

Bajo condiciones normales de operación, las jaulas –comparadas con los arrecifes

artificiales—, representan la posibilidad de tener un mayor control sobre la sobrevivencia y permanencia al brindar mayor protección contra depredadores y restringir el desplazamiento de los organismos al interior de la estructura, sin embargo, las circunstancias que rodearon el desarrollo del experimento no permiten una conclusión definitiva a este respecto y sí la necesidad de plantear un segundo experimento en el que se prevengan los eventos aquí descritos, como la observación del tiempo de añejamiento requerido por los hábitats artificiales y el uso de materiales que aseguren la integridad estructural del sistema de cultivo.

Las curvas de crecimiento presentaron un patrón común que resalta cuando se les analiza a través de la variación de la tasa de crecimiento (Fig. 10). Al constituir las jaulas un arte de cultivo cuyo rendimiento depende de la atención y cuidado que reciba por parte del acuicultor, se podría suponer que las variaciones en la tasa de crecimiento de las jaulas obedecieron a aspectos asociados con el manejo de las mismas (variaciones en la frecuencia de alimentación, retrasos en el desdoblamiento de la población, falta de limpieza periódica). Sin embargo, existen elementos que sugieren otra explicación. En primer lugar, el crecimiento observado en las camas, el cual no dependía del manejo periódico en cuanto a alimentación, desdoble o limpieza de las estructuras, presentó un comportamiento similar al de las jaulas, lo que sugiere la influencia de factores externos comunes a todas las unidades experimentales (Tabla V; Fig. 10). En la comparación gráfica de la tasa de crecimiento se observa que entre los días 67 y 135 del experimento (27/dic/97 y 5/mar/98) ocurrió un descenso en la tasa de crecimiento en todas las unidades experimentales (Fig. 10). Este período corresponde con la ocurrencia de fuertes marejadas por tormentas asociadas con el fenómeno de El Niño. Posteriormente, entre los días 212 y 264 (21/may/98 y 12/jul/98) ocurrió otro descenso en la tasa de crecimiento que coincide con las temperaturas más bajas registradas en la zona por la

temporada de surgencias. Finalmente, hacia el final del experimento la tasa de crecimiento mostró un nuevo descenso, debido posiblemente a las primeras tormentas de la temporada invernal (Fig. 10).

La comparación de las tallas obtenidas en el experimento proporciona un indicador del rendimiento de las estructuras; el hecho de que tanto las tallas iniciales como las finales no presentaran diferencias significativas entre las distintas unidades experimentales sugiere que todas ellas tuvieron el mismo rendimiento. Sin embargo, el análisis anterior no refleja el desempeño del arte de cultivo en el transcurso del experimento ni permitió establecer qué tendencia presenta el crecimiento de los organismos; por ejemplo, los organismos de las camas no presentaron crecimiento alguno los primeros 60 días del experimento, período durante el cual las estructuras aún no se colonizaban con alimento, y sin embargo presentaron la misma talla que los de las demás estructuras al final del experimento (Fig. 9).

La diferencia observada entre las pendientes de las curvas de crecimiento de la jaula 1 y de las camas sugiere la hipótesis de una mayor capacidad de estas últimas para propiciar el crecimiento de los organismos (Tablas VI y VII; Fig. 11). Entre los factores que pudieran explicar lo anterior se pueden mencionar al menos dos, la composición de la dieta y la densidad de los organismos. Las camas, como arrecifes artificiales, brindan una alimentación diversificada disponible de manera natural (Nakayama *et al*, 1993), mientras que la alimentación de las jaulas se basó en un solo tipo de macroalga: *M. pyrifera*. Resulta difícil, sin embargo, establecer hasta qué grado las diferencias entre los regímenes alimenticios –diversificado contra monoespecífico– explica la diferencia en las pendientes; después de todo *M. pyrifera* es la macroalga que consume preferentemente el erizo rojo (Baker, 1973; Kato & Schroeter, 1985) y, como podría esperarse, las dietas

que consisten en los alimentos preferidos resultan en mayores tasas de crecimiento (Vadas, 1977). Además, este factor por sí solo no explica la diferencia observada en las pendientes de la jaula 1 y las camas; la jaula 2 y la jaula 3 tuvieron el mismo régimen alimenticio que la jaula 1 y sus pendientes no presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto a la de las camas. El otro factor que conviene considerar es la densidad de los organismos. La jaula 1 fue la estructura que durante la mayor parte del experimento mantuvo a los organismos en densidades de 120 org./m² mientras que en las camas en menos de 67 días se redujo su población en un 88%. El hecho de que las jaulas 3 y 2 vieron disminuidas prácticamente a la mitad sus poblaciones a los 135 y 212 días de iniciado el experimento, respectivamente, podría explicar el que sus pendientes fueran ligeramente mayores que la de la jaula 1, y que no fueran estadísticamente diferentes a la de las camas.

En general, las estimaciones de la tasa de crecimiento anual a partir de las pendientes obtenidas en las curvas de crecimiento de las diferentes unidades experimentales se ubican en el límite superior de los valores de 13 a 25 mm de crecimiento por año reportados por Baker (1973) y Kato & Schroeter (1985) (Tabla VII). En el presente estudio, organismos con una talla inicial promedio de 26.2 mm crecieron a una talla promedio de 49.3 mm en poco más de un año (390 días); si se considera que la talla inicial corresponde a organismos de un año de edad (Baker, 1973), se tiene que es factible producir mediante el cultivo organismos con tallas cercanas a los 50 mm en un tiempo de 2 a 2 años y medio. Organismos en esa talla han alcanzado la talla de primera madurez para la especie –alrededor de 45 mm (Kato & Schroeter, 1985)– y sus gónadas tienen gran demanda en el mercado japonés por su tamaño, lo que equivale a mejores precios. Lo anterior coloca la posibilidad del cultivo del erizo rojo como una de las mejores opciones, comparado con el cultivo de otras especies de la región de alto valor y

demanda, como el abulón, para el cual se requieren alrededor de 3 años para lograr su talla comercial (Roberto Flores Aguilar, Gerente Técnico, Abulones Cultivados, S.A. de C.V., comunicación personal).

Los valores del I.C. de los organismos silvestres resultaron menores en comparación con los de los organismos experimentales. También resultaron menores al compararlos con los rendimientos gonadales reportados por el CRIP para la zona II (Tablas VIII, IX y X; Aguilar y Romero, en preparación). Para sus muestreos, el CRIP evalúa en planta erizos extraídos durante las operaciones de pesca comercial, de bancos o zonas que presentan rendimientos adecuados para su explotación. En el caso del presente estudio, el muestreo se hizo en una roca cercana al área donde se llevó a cabo el experimento con la intención de obtener una muestra de organismos expuestos a condiciones ambientales similares. Aún cuando existen diferencias en las tallas entre los organismos de los muestreos del CRIP (>80 mm de diámetro de testa) y los organismos experimentales (49-51 mm), los resultados sugieren que es factible obtener organismos con rendimientos gonadales similares (camas: 13.84%) o superiores (jaulas: 16.94 - 18.37%) a los obtenidos en la zona de pesca (14.89% para Noviembre; 12.51% en promedio), en áreas que no están sujetas a explotación por su bajo rendimiento gonadal (silvestres: 3.64%). Es decir, la crianza del erizo rojo en jaulas y/o en camas representa, además de la posibilidad de obtener organismos comercializables en 2 a 2.5 años mediante el cultivo integral de la especie, la viabilidad de utilizar dichas estructuras como un cultivo intermedio de la especie, ya sea para programas de repoblamiento de juveniles, o bien para la engorda de organismos de talla comercial previo a su captura. En este sentido, los resultados obtenidos por McBride *et al.* (1997) sugieren que es factible incrementar el rendimiento gonadal de *S. franciscanus* de talla comercial de 3.4% a 18.7% en tan sólo 120 días mediante el suministro continuo de sargazo.

TABLA X. RENDIMIENTO GÓNADAL DEL ERIZO ROJO *S. franciscanus*
POR ZONA DE PESCA EN LA TEMPORADA 1998 - 1999.

Mes	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV	Global
Julio	7.80	9.80	7.70	7.00	8.08
Agosto	12.09	12.12	7.30	7.39	9.73
Septiembre	15.16	7.30	11.50	7.96	10.48
Octubre	9.14	12.79	7.65	3.61	8.30
Noviembre	11.93	14.89	12.04	13.31	13.04
Diciembre	14.78	18.13	13.30	13.70	14.98
Enero	0	0	0	0	0
Febrero	0	0	0	0	0
Promedios	11.82	12.51	9.92	8.83	10.77

Tomado de: Aguilar, D.M. y J. Manuel Romero M. (en preparación). La pesquería del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* de B.C. durante la temporada de pesca 1998 - 1999. SEMARNAP. INP. CRIP ENSENADA. INFORME INTERNO. Ensenada, B.C. junio de 1999.

El cultivo como estrategia para promover la recuperación de las poblaciones de *S. franciscanus* representa la posibilidad de programar las cosechas para cuando el erizo presente los mayores precios en el mercado, lo que se traducirá en una recuperación más rápida de la inversión. Además, dependiendo de la estructura utilizada, la mortalidad por depredación o pérdidas por migración pueden ser prácticamente eliminadas, aumentando las posibilidades de mayores rendimientos. Finalmente, el suministro constante de alimento, asegura un mayor rendimiento de gónada por organismo (Baker, 1973; McBride *et al*, 1997).

El crecimiento observado en las camas sugiere la posibilidad de desarrollar una estrategia de cultivo con bajos costos de operación y mantenimiento que bien pudiera complementarse con la crianza en jaulas para las etapas o tallas delicadas o susceptibles a la depredación de *S. franciscanus*.

Conclusiones

La disminución de organismos observada en las estructuras experimentales obedeció principalmente a eventos accidentales asociados al diseño de las estructuras (jaulas 2 y 3) y al manejo inadecuado del sistema (camas), por lo que no es posible su comparación en términos de sobrevivencia asociada al uso de estas artes de cultivo.

Tanto las jaulas como las camas (hábitats artificiales) presentaron el mismo rendimiento en cuanto a crecimiento.

Las tasas de crecimiento anual obtenidas en el presente estudio se encuentran en el límite superior de los valores reportados para la especie.

Los valores del índice de condición resultaron significativamente mayores en los organismos experimentales que en los silvestres, y son comparables con los valores reportados para organismos sujetos a explotación pesquera.

Los resultados sugieren que es factible la crianza de *S. franciscanus* en el medio natural, mediante el empleo de jaulas o hábitats artificiales, tanto para el cultivo integral de la especie, como para el cultivo intermedio en programas de repoblamiento y/o engorda del recurso.

Las tasas de crecimiento obtenidas sugieren que es factible obtener un producto comercializable de alto valor y demanda en el mercado en tan sólo 2 a 2.5 años, con un rendimiento gonadal que iguala o supera el que se obtiene en la pesquería.

Referencias

- Aguilar, D.M. y J.M. Romero M. (en preparación) La pesquería del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* de B.C. durante la temporada de pesca 1998-1999. SEMARNAP. INP. CRIP ENSENADA. INFORME INTERNO. Ensenada, B.C. Junio de 1999.
- Baker, S.L. 1973. Growth of red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* (Agassiz) in two natural habitats. Master's thesis. Calif. State Univ., San Diego. 85 Pp.
- Bustos, E., Godoy, C., Olave, S. & R. Troncoso. 1991. Investigaciones en Erizo Chileno. Informe Interno. Instituto de Fomento Pesquero. 59 Pp.
- Castilla, J.C. & C.A. Moreno. 1982. Sea urchins and *Macrocystis pyrifera*: experimental test of their ecological relations in southern Chile. IN: Lawrence, J.M. (Ed). International Echinoderms Conference, Tampa Bay. A.A. Balkema, Rotterdam. 257-263.
- Dean, T.A., Schroeter, S.C. & J.D. Dixon. 1984. Effects of grazing by two species of sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus* and *Lytechinus anamesus*) on recruitment and survival of two species of kelp (*Macrocystis pyrifera* and *Pterygophora californica*). Marine Biology. 78:301-313.
- Grove, R.S., Nakamura, M., Kakimoto, H. & C.J. Sonu. 1994. Aquatic habitat technology innovation in Japan. Bull. of Mar. Science. 55(2-3):276-294.
- Harrold, C. & D.C. Reed. 1985. Food availability, sea urchin grazing, and kelp forest community structure. Ecology. 66(4):1160-1169.
- Kato, S. & S.C. Schroeter. 1985. Biology of the red sea urchin, *Strongylocentrotus franciscanus*, and its fishery in California. Marine Fisheries Review. 47(3):1-20.
- Mattison, J.E., Trent, J.D., Shanks, A.L., Akin, T.B. & J.S. Pearse. 1977. Movement and feeding activity of red sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus*) adjacent to a kelp forest. Marine Biology. 39:25-30.
- McBride, S.C., Pinnix, W.D., Lawrence, J.M., Lawrence, A.L. & T.M. Mulligan. 1997. The effect of temperature on production of gonads by the sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* fed natural and prepared diets. Journal of the World Aquaculture Society. 28(4):357-365.
- Mottet, M.G. 1985. Enhancement of the marine environment for fisheries and aquaculture in Japan. IN: D'Itri, F.M. (Ed). Artificial reefs, marine and freshwater applications. Lewis Publ., Chelsea, Michigan. 13-112 p.
- , 1989. On the natural seeds collection, intermediate culture and release of the sea urchin <<*Strongylocentrotus intermedius*>>. Extended summary of Japanese scientific papers. Japanese Scientific Liaison. 595 Tucker Avenue, number 39. Friday Harbor, WA 98250. Telephone: (206) 378-2662. 16-55 p.
- Nakamura, M. 1985. Evolution of artificial fishing reef concepts in Japan. Bull. of Mar. Sci. 37(1):271-278.

- Nakayama, A., Horikosi, N. & H. Kobayashi. 1993. The planning and design of multipurpose artificial barrier reefs. IN: Nagao, Y. (Ed). Coastlines of Japan II. American Society of Civil Engineers. New York, USA. 183-197.
- Palleiro-Nayar, J.S. 1994. Pesquería del erizo rojo en B.C. Temporada 92-93. En: Memorias del X Simposium Internacional de Biología Marina. 13-17 de junio de 1994; Ensenada, B.C., México. Universidad Autónoma de Baja California, Southern California Marine Institute y Universidad Autónoma de Baja California Sur. p. 161.
- Aguilar-Montero, D. & J.M. Romero-M. 1992. La pesquería del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California, México. In: Guzmán del Prío, S.A. (Ed) Memorias del Taller México-Australia sobre Reclutamiento de Recursos Bentónicos de Baja California. La Paz, B.C.S., México. SEPESCA-IPN. 81-89.
- Rosenthal, R.J., Clarke, W.D. & P.K. Dayton. 1974. Ecology and natural history of a stand of giant kelp, *Macrocystis pyrifera*, off Del Mar, California. Fishery Bulletin. 72(3):670-684.
- Ruiz-Anaya, A., Herrera-Salinas, D. y J. Castro-Longoria. 1987. Análisis anual histológico y productividad orgánica gonadal en el ciclo reproductivo del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* (Agassiz, 1863) (Echinodermata:Echinoidea) en Punta San Miguel, Ensenada, B.C. Tesis Licenciatura. ESC-UABC. Ensenada, B.C. 123 Pp.
- Sato, O. 1985. Scientific rationales for fishing reef design. Bull. of Mar. Science. 37(1):329-335.
- Saito, K. 1992. Urchin enhancement programs in Japan. IN: C.M. Dawes (compiler). The Management and Enhancement of Sea Urchins and other Kelp Bed Resources: a Pacific Rim Perspective. Report T-CSGCP-028. California Sea Grant College Program. La Jolla.
- Sonu, C.J. & R.S. Grove. 1985. Typical japanese reef modules. Bull. of Mar. Science. 37(1):348-355.
- Tegner, M.J. 1989. The feasibility of enhancing red sea urchin, *Strongylocentrotus franciscanus*, stocks in California: An analysis of the options. Marine Fisheries Review. 51(2):1-22.
- and P.K. Dayton. 1977. Sea urchin recruitment patterns and implications of commercial fishing. Science. 196:324-326.
- Vadas, R.L. 1977. Preferential feeding: an optimization strategy in sea urchins. Ecological Monographs. 47:337-371.
- Watanabe, J.M. & C. Harrold. 1991. Destructive grazing by sea urchins *Strongylocentrotus spp.* in a central California kelp forest: potential roles of recruitment, depth, and predation. Mar. Ecol. Prog. Ser. 71:125-141.
- Zar, J.H. 1984. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. 718 Pp.