



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CONSIDERACIONES PARA EL SEMICULTIVO DEL
CARACOL ROSADO *Strombus gigas*, EN LAS COSTAS
DE QUINTANA ROO, MEXICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE

MAESTRIA EN CIENCIAS
(BIOLOGIA)

P R E S E N T A

DONALDO MACARIO MARTINEZ VAZQUEZ

MEXICO. D.F.

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CONSIDERACIONES PARA EL SEMICULTIVO DEL
CARACOL ROSADO *Strombus gigas*, EN LAS COSTAS
DE QUINTANA ROO, MEXICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE

MAESTRIA EN CIENCIAS
(BIOLOGIA)

P R E S E N T A

DONALDO MACARIO MARTINEZ VAZQUEZ

DIRECTORA DE TESIS:
DRA. AURORA CLAUDIA PADILLA SOUZA

MEXICO. D.F.

2006

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a la Maestra Pilar Torres por todo, todo lo que me ayudo para que este esfuerzo y este documento no se quedaran a mitad del camino, por las dosis de entusiasmo que me transmitió en nuestras conversaciones y por convertirse en mi único y más valioso contacto con la Facultad de Ciencias para realizar los tediosos trámites por mi. Gracias Pily sin ti no hubiera podido hacerlo.

A mi directora de tesis la Dra. Claudia Padilla Souza por la confianza que ha tenido en mí y por la seguridad que siempre me mostró de que yo podía hacer la diferencia. Gracias Claudia por las desveladas que pasaste en la revisión del manuscrito, pero sobre todas las cosas, gracias por tu amistad.

Al Instituto Nacional de la Pesca a través del Centro Regional de Investigación pesquera en Pto. Morelos, Q. Roo, así como al CONACYT por el apoyo logístico y económico que me brindaron para la realización de este trabajo.

Al Dr. Hector Garduño por sus acertadas observaciones que enriquecieron considerablemente este manuscrito, así como a todas las personas que tuve la suerte que revisaran este documento, por sus valiosas sugerencias y comentarios.

A la Dra. Anastazia Banaszak mi preciosa esposa y compañera, por el apoyo que siempre me brindo y por hacerme comprender que la voluntad es una de las fuerzas más grandes que puede tener la naturaleza humana. Gracias Ania.

Al Técnico Pesquero Pedro Cadena Romero por su valiosa ayuda en los trabajos de campo. A mis compañeras de trabajo la M. en C. Martha Sandoval y la M. en C. Aurora Ramírez por su ayuda y comentarios para la terminación de esta tesis.

A la M. en C. Eunice Ramírez Zaldivar por su ayuda para poder concluir los trámites en el Posgrado de la Facultad de Ciencias. Mil gracias "Peque".

INDICE

RESUMEN - - - - -	4
I .- INTRODUCCION - - - - -	5
II .- ANTECEDENTES - - - - -	6
III .- OBJETIVOS - - - - -	9
IV .- AREA DE ESTUDIO - - - - -	9
4.1 Descripción del área de estudio - - - - -	10
4.2 Laguna arrecifal - - - - -	10
V .- METODOS - - - - -	12
5.1 Primera etapa de cultivo - - - - -	12
5.1.1 Pruebas de alimentación - - - - -	13
5.1.2 Pruebas de sustratos - - - - -	15
5.2 Segunda etapa de cultivo - - - - -	16
5.2.1 Pruebas preliminares - - - - -	17
a). Pequeña escala (jaulas). - - - - -	17
b). Escala mayor (corrales). - - - - -	19
5.2.2 Pruebas experimentales - - - - -	20
5.3 Diseño de un sistema de cultivo para el manejo de juveniles de <i>Strombus gigas</i> en el mar. - - - - -	22
5.4 Pruebas de cultivo en prototipos a escala de la UPP. - - - - -	22
VI.- RESULTADOS - - - - -	24
6.1 Cultivo semintensivo. Manejo de sistemas de cultivo semicontrolados. -	24

6.1.1 Alimentación. -----	24
6.1.2 Sustratos. -----	27
6.1.3 Formación de la concha. -----	29
6.2 Cultivo extensivo. Manejo de sistemas de cultivo sumergidos en el mar. -	30
6.2.1 Pruebas piloto en sistemas de confinamiento en el mar. -----	31
a). Sistemas de confinamiento a pequeña escala (jaulas) -----	31
b). Sistemas de confinamiento a escala mayor (corrales) -----	34
6.2.2 Pruebas experimentales.	
Efecto del hábitat, alimento y densidad de cultivo. -----	37
6.3 Diseño de un sistema sumergido para el cultivo de juveniles de caracol rosado <i>S. gigas</i> . Unidad de Producción Piloto (UPP). -----	40
6.3.1 Descripción del sistema. -----	40
6.3.2 Construcción del sistema. -----	42
6.4 Pruebas de cultivo en prototipos de UPP. -----	43
6.5 Unidad de Producción Piloto (UPP). -----	45
VII.- DISCUSION. -----	48
7.1 Alimentación. -----	48
7.2 Sustratos. -----	49
7.2.1 Efecto del sustrato en la formación de la concha. -----	49
7.3 Manejo de sistemas de cultivo sumergidos en el mar. -----	50
7.3.1 Pruebas piloto en sistemas de confinamiento en el mar. -----	50
7.3.2 Pruebas experimentales (hábitat, alimento, densidad) -----	52
7.3.3 Diseño de una UPP. -----	55
7.3.4 Pruebas en prototipos de UPP. -----	56

7.3.5 Unidad de Producción Piloto (UPP). - - - - -	56
VIII.- CONCLUSIONES. - - - - -	57
IX.- RECOMENDACIONES. - - - - -	59
X.- REFERENCIAS. - - - - -	60

CONSIDERACIONES PARA EL SEMICULTIVO DEL CARACOL ROSADO *Strombus gigas*, EN LAS COSTAS DE QUINTANA ROO, MEXICO

RESUMEN

El caracol rosado *Strombus gigas* es un recurso que por su gran demanda en el mercado ha sido objeto de una severa explotación en los últimos años, lo que ha ocasionado que el tamaño de sus poblaciones en Quintana Roo muestren una tendencia negativa. El presente trabajo pretende contribuir a la generación de una biotecnología simple que permita el semicultivo de juveniles de *Strombus gigas*, en el mar, hasta tallas comercialmente aceptables o para ser utilizados en prácticas de repoblamiento con mayores posibilidades de éxito en aquellas zonas que han sido afectadas por la sobrepesca. Se propone una biotecnología de bajos requerimientos de infraestructura y financieros, que pueda ser adoptada por grupos de pescadores o acuicultores y que por sus características pueda desarrollarse de manera eficiente en lugares de la costa que no cuentan con servicios. El trabajo comprende dos etapas, en la primera se describe el acondicionamiento que deben tener las semillas de caracol producidas en laboratorio antes de ser introducidas al mar, así como las características de los sistemas de cultivo para el manejo de los juveniles en sus primeras etapas de desarrollo fuera del laboratorio. Se determinó que el alimento artificial fabricado comercialmente para Tilapia Chow 30% funciona de manera adecuada para el cultivo masivo de caracol rosado, y que resuelve el problema del alimento en tanto no se tenga una dieta diseñada para la especie, y que el enriquecer este alimento con *Ulva* sp. ó espinaca, puede incrementar el crecimiento de los juveniles en un 15%. Asimismo, se observó que la arena fina utilizada como sustrato en los sistemas de cultivo, es un medio que favorece la formación de la concha. En la segunda etapa, el cultivo de este organismo se lleva a cabo en el ambiente marino. Para tal propósito, se probaron diferentes diseños de encierros tanto jaulas como corrales para el confinamiento y manejo de los juveniles. Se encontró que la depredación es la principal causa de mortalidad, siendo el cangrejo ermitaño *Pterochirus diógenes* y el pulpo *Octopus vulgaris* los depredadores más frecuentes, ya que tienen la habilidad de introducirse a los sistemas de cultivo, y en menor grado el pez ballesta *Balistes vetula*, el cual depredó a los juveniles que por defecto del diseño escaparon de la jaula. Durante un período anual en el manejo de estos sistemas, no se detectó ningún tipo de enfermedad que afectara a los organismos. Por otro lado, el comportamiento que mostraron los juveniles en confinamiento fue el de permanecer la mayor parte del tiempo pegados a la malla de la jaula, lo que ocasionó un desperdicio de espacio y alimento. Con base en estas observaciones se hicieron las modificaciones pertinentes a la estructura, forma y material de los sistemas de cultivo, dando como resultado el diseño de un encierro marino sumergido de 64 m² denominado Unidad de Producción Piloto (UPP), para el manejo y engorda del caracol juvenil. Se realizaron pruebas de cultivo con prototipos de este diseño a escala 1:20, lográndose eliminar la depredación en su totalidad, así como maximizar el aprovechamiento de alimento y espacio. Asimismo, al llevar a cabo pruebas con diferentes densidades de cultivo se estimó una capacidad de carga de 1,200 organismos por UPP, manejando 4 grupos de edad o cohortes de 300 juveniles cada una, lo cual permitirá tener una programación en las cosechas a lo largo del año. Este diseño de UPP será sometido a un proceso de prueba para determinar su eficiencia y rentabilidad.

I.- INTRODUCCIÓN:

El caracol rosado *Strombus gigas* es uno de los principales recursos pesqueros para muchos países del área del Caribe. Su poca movilidad y la transparencia de las aguas lo hace una especie altamente vulnerable a la pesca, lo que aunado a su gran demanda, ha ocasionado que sus poblaciones naturales hayan disminuido drásticamente en los últimos años (Brownell y Stevely, 1981). Esta no ha sido una situación ajena para el Caribe mexicano, debido a que la pesca furtiva y el comercio ilegal han puesto en serio deterioro esta pesquería en los principales bancos pesqueros de Quintana Roo como son Banco Chinchorro y la isla de Cozumel, sitios que actualmente sostienen esta pesquería en México. Otras áreas del Caribe Mexicano como las costas de Campeche y Yucatán donde tradicionalmente se extraía caracol se han agotado y la captura que se realiza es sólo de autoconsumo (Cruz, 1986; Basurto *et. al.*, 2005).

S. gigas ha sido considerado como una especie apropiada para el maricultivo, debido a su condición de herbívoro, su potencial reproductivo y la ausencia de enfermedades (Davis *et.al.*, 1992). Esto ha despertado el interés en diferentes partes del Caribe por desarrollar una biotecnología para el cultivo de este organismo (Creswell, 1984), esfuerzos que se han venido realizando desde finales de los años 70, con resultados parcialmente exitosos en las primeras fases del ciclo de vida de este molusco. Los objetivos de estas investigaciones se han dirigido principalmente a la producción de semillas de caracol (Davis *et.al.*, 1987) y a la recuperación de las poblaciones naturales, liberando pequeños juveniles al medio natural para restaurar aquellas zonas que han sido afectadas por la sobreexplotación; sin embargo el efecto directo sobre la pesquería se reduce debido a la mortalidad y depredación naturales (Davis y Hesse, 1983; Davis *et.al.*, 1984; Davis, 1994). De este modo, algunos aspectos no han sido explorados, como la cría de juveniles hasta una talla en que pueda ser aprovechado como un alimento gourmet, la producción de media perla y la comercialización de la concha, los cuales serían actividades que podrían dar un valor agregado a este recurso.

En los últimos años, el maricultivo del caracol rosado se ha venido explorando como una opción alterna para dar un aprovechamiento integral a este recurso de alto valor comercial en la región del Caribe (Davis y Hesse, 1987; Davis y Dalton, 1991). La factibilidad de esta práctica como una actividad productiva consiste en determinar los requerimientos de cada etapa de desarrollo para maximizar su crecimiento y sobre vivencia en cautiverio.

Debido a la escasa información que existe del caracol rosado durante su primer año de vida en el ambiente natural, se desconocen los aspectos básicos sobre el manejo del caracol juvenil en sistemas de confinamiento, por lo que, el conocimiento sobre los requerimientos del caracol juvenil *S. gigas* en sistemas de cultivo, será determinante para hacer del maricultivo de este organismo, una actividad viable (Ogawa y Coral, 1986; Appeldoorn, 1994).

II.- ANTECEDENTES:

La biología de *Strombus gigas* ha sido descrita ampliamente por diversos autores (Randall, 1964; D' Asaro, 1965; Alcolado, 1976; Appeldoorn, 1985). Sin embargo para los propósitos de este trabajo, es importante mencionar algunos aspectos biológicos de esta especie en sus primeras etapas de vida bentónica, especialmente en lo que se refiere a su hábitat preferencial, comportamiento y mortalidad.

Una vez que las larvas planctónicas se han asentado y el proceso de metamorfosis se ha llevado a cabo, los pequeños caracoles se mantienen enterrados en la arena por un período aproximado de un año que es la etapa de desarrollo en que su vulnerabilidad a los depredadores es muy alta (Goodwin, 1983). El hecho de que durante su primer año de vida los juveniles permanezcan enterrados en la arena la mayor parte del tiempo, dificulta su observación lo que ha propiciado que se conozca poco sobre su biología durante esta etapa de desarrollo. Cuando los juveniles han alcanzado 7 a 10 cm de longitud en su concha, emergen de manera gradual del sustrato antes de dispersarse (Stoner y Waite, 1990; Marshall y Lipcius 1992, 1996); pudiendo observárseles en el medio natural cuando han alcanzado una talla cercana a los 10 cm.

Los caracoles juveniles se distribuyen en los lechos de pastos marinos integrados principalmente por *Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme*, alimentándose de las algas epifitas que crecen sobre estos pastos a profundidades de 1 a 4 m, donde el alimento es abundante y existe poco oleaje. En estas camas de pastos ocurre el reclutamiento durante los meses de verano, provocando un sobrepoblamiento de las mismas, restableciéndose las densidades naturales en períodos muy cortos de tiempo, debido a la elevada mortalidad que se presenta en estas zonas principalmente por depredación (Lipcius y Stoner, 1991; Sandt y Stoner, 1993).

El hábitat juega un papel muy importante en el desarrollo y distribución de *S. gigas*. Stoner y Sandt (1991) encontraron que los cambios de hábitat están asociados con la edad de los organismos. Así, los juveniles se desarrollan mejor y se protegen de los depredadores en un hábitat de pastos marinos, siendo diferente para los caracoles adultos que prefieren los sustratos arenosos para su desarrollo y actividad reproductiva (Stoner y Schwarte, 1994). El hábitat está tan íntimamente asociado a los patrones de distribución de *S. gigas*, que existe una elevada sobrevivencia y un buen desarrollo en los sitios donde el caracol se congrega de manera natural, sin sobrepasar los límites de densidad (Stoner y Sandt, 1988; Davis y Hesse, 1983).

El crecimiento natural en organismos juveniles es relativamente rápido, en promedio 7 milímetros al mes, los cuales después de 4 años, al alcanzar su estado adulto, pueden llegar a medir hasta 27 centímetros y pesar cerca de 4 kg (Alcolado, 1976). Ya que *S. gigas* es un organismo resistente a las enfermedades y parásitos, su mortalidad natural es causada principalmente por depredación

(Appeldorn, 1987). Muchos animales se alimentan de *S. gigas* en sus distintas etapas de desarrollo, siendo más vulnerables durante su primer año de vida. Sidall (1983) ha identificado un total de 28 especies depredadoras entre gasterópodos, cefalópodos, crustáceos, peces y reptiles.

La elevada mortalidad natural en sus primeras etapas de desarrollo, la perturbación y destrucción paulatina de sus zonas naturales de reclutamiento debido principalmente a que éstas se encuentran cercanas a la costa, así como la disminución del stock reproductor por pesca, han ocasionado que las poblaciones naturales de caracol hayan disminuido drásticamente en los últimos años. Esto ha motivado a considerar estrategias que contribuyan al restablecimiento de sus poblaciones, como es la producción a gran escala de semillas de esta especie para repoblar aquellas zonas que han sufrido los efectos de la sobrepesca.

El cultivo de *S. gigas* en laboratorio parece ser una alternativa viable ya que se han logrado avances tecnológicos sustanciales en los procesos de incubación, larvicultivo y metamorfosis, de tal manera que la producción masiva de juveniles postmetamórficos (1mm), se realiza de manera rutinaria con técnicas confiables de cultivo (Davis, 1992). Sin embargo, en la actualidad no es económicamente rentable hacer crecer esta especie a tamaños mayores a los 3 cm, usando las técnicas ya establecidas, debido a los elevados costos de alimentación e infraestructura, así como personal para su mantenimiento, haciendo inviable el uso de estas semillas para el reestablecimiento de áreas diezmadas por la pesca.

Por otro lado, Dalton (1994) reporta que el manejo de estas semillas en el ambiente natural no ha sido exitosa ya que la supervivencia de juveniles menores de 4 cm liberados en el mar en espacios protegidos por cercas, fue extremadamente baja, atribuyendo las altas tasas de mortalidad a depredadores bentónicos, particularmente cangrejos, que no han podido ser controlados y permanecen en la actualidad como un problema significativo para el maricultivo. Appeldoorn y Rodríguez (1994) señalan que la talla mínima para manejar juveniles en el medio natural podría ser de 8 cm de longitud, cuando los caracoles han desarrollado defensas naturales para disminuir la depredación; sugiriendo dos etapas básicas para desarrollar la cría del caracol juvenil. La primera etapa consiste en crecerlos en viveros colocados en la costa o en sistemas de estanques y la segunda etapa, coleccionar juveniles del medio natural y colocarlos en criaderos naturales cercados como caletas y ensenadas. Dalton (1994) sugiere que si bien esto podría sustentar una producción, el área a manejar es muy grande y dependería de la habilidad para controlar a los depredadores, la disponibilidad de alimento natural y de las poblaciones naturales de caracol, además de todos los problemas potenciales que se presenten al incursionar con estos encierros en el mar.

La principal desventaja que señala para sostener una producción a gran escala, son los costos elevados del alimento que tendría que adicionarse a estos sistemas de confinamiento, los cuales se podrían reducir con el desarrollo de dietas artificiales de bajo costo.

El alimento es uno de los factores más importantes que se deben considerar para desarrollar el cultivo del caracol juvenil, ya que sus requerimientos nutricionales no son bien conocidos. Davis y Dalton (1991) mencionan la importancia de experimentar con dietas artificiales a fin de obtener un alimento diseñado especialmente para el caracol juvenil, que remplace a los utilizados actualmente en sistemas intensivos como son el floculado de *Chaetoceros* sp. y las dietas microencapsuladas para camarón que resultan excesivamente costosas para el cultivo de juveniles a gran escala.

A pesar de que el mantenimiento en cautiverio de ejemplares adultos se realiza actualmente en las Islas de Turks y Caicos, las técnicas de cultivo para juveniles de *S. gigas* aún requieren de un completo desarrollo (Dalton, 1994).

Los trabajos sobre esta especie que se han llevado a cabo previamente en el Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) en Puerto Morelos Q. Roo, se han centrado en el monitoreo poblacional de los bancos pesqueros, a fin de conocer el estado de salud de sus poblaciones, que es la base para el manejo de su pesquería (Basurto *et. al.*, 2005). Por otro lado, se han desarrollado en dos ocasiones programas de investigación tendientes en primer lugar, a adaptar las técnicas establecidas para el cultivo de *S. gigas*, a una tecnología para la producción masiva de semillas de caracol (Ogawa y Coral, 1986), y en segundo lugar, completar el ciclo de cultivo de esta especie hasta la obtención de organismos de talla comercialmente aceptable (Padilla *et. al.*, 2005).

Investigaciones de campo han permitido estudiar el efecto de los factores ambientales sobre el desarrollo y distribución de *S. gigas* (Martínez, 1998), así como la rotación de áreas en sistemas de cultivo sumergidos en el mar para proveer de alimento natural a juveniles en confinamiento. Asimismo, se han realizado investigaciones con bastante éxito suministrando en estos sistemas alimento artificial fabricado comercialmente para el cultivo de Tilapia (Martínez, 1990).

El objetivo de la presente investigación es contribuir a la formación de un paquete tecnológico básico para el manejo y cultivo del caracol juvenil *S. gigas* en sistemas marinos.

III.- OBJETIVOS:

OBJETIVO GENERAL.

Contribuir al conocimiento sobre los requerimientos y manejo de juveniles de *Strombus gigas* en sistemas de cultivo.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- Mejorar el crecimiento de juveniles de caracol rosado en cultivo a partir de dietas artificiales.
- Determinar el tipo de sustrato más favorable para el crecimiento y formación de la concha de juveniles de caracol rosado en sistemas de estanques.
- Determinar el hábitat más favorable para el desarrollo de los juveniles, así como el efecto del alimento y la densidad de cultivo.
- Determinar los factores bióticos y abióticos que afectan a los organismos en sistemas de confinamiento en el mar, como es la depredación, enfermedades, comportamiento, alimentación, competencia y efecto de las corrientes.
- Diseñar un sistema de cultivo marino que permita el confinamiento, alimentación y manejo adecuado de juveniles mayores de 7 cm, hasta tallas comercialmente aceptables.
- Determinar la eficiencia de este diseño de cultivo para la cría de juveniles de caracol en el mar, mediante pruebas de cultivo con prototipos a escala.
- Determinar la eficiencia y rentabilidad de estos sistemas de cultivo, ya como unidades de producción a nivel comercial, con grupos productores como las Sociedades Cooperativas Pesqueras.

IV.- AREA DE ESTUDIO:

El trabajo se desarrolló en el Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) Puerto Morelos del Instituto Nacional de la Pesca. Las instalaciones que se emplearon en las investigaciones son: El sistema de estanquería cercana al mar, en donde se llevó a cabo el cultivo de juveniles en sus primeras etapas. Para las pruebas de cultivo en el mar con juveniles de mayor tamaño, se trabajó en la laguna arrecifal frente a las instalaciones del CRIP.

4.1. Descripción del área de estudio.- El CRIP se encuentra en la población

costera de Puerto Morelos frente al mar Caribe en México. Este poblado se localiza geográficamente en la costa nororiental del estado de Quintana Roo, entre los 20° 50' 50.5" latitud norte y los 86° 52' 30.6" longitud oeste, a 35 km al sur de Cancún y 34 km al norte de Playa del Carmen sobre la costa (Fig. 1).

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen (modificada por García, 1998), el clima en la región es cálido, subhúmedo con temporadas de lluvia marcadas; corresponde a un clima intermedio entre los tipos Aw1(x')(i')g y el Aw2(i'). Presenta lluvias durante todo el año, siendo más abundantes en el verano, su periodo de precipitación invernal es superior al 7% en relación al anual, la temperatura del aire promedio anual es de 26.3 °C con un máximo en el verano de 34.5 °C y mínimo de 12.5 °C en el invierno (Merino y Otero, 1991).

4.2. Laguna arrecifal.- La laguna tiene una extensión variable que va desde aproximadamente 60 m hasta casi 3000 m. Su profundidad varía entre los 2 y 8 m y el fondo esta cubierto principalmente por arena calcárea, que es estabilizada por praderas de pastos marinos. Frente a las instalaciones del CRIP la laguna tiene una extensión aproximada de 600 m con una profundidad de 0.5 a 4 m, presenta vegetación bien desarrollada que esta dominada por *Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme*, acompañadas por algas rizofíticas, entre las más comunes en la laguna arrecifal son: *Penicillus capitatus*, *Rhizocephalus phoenix*, *R. oblongus*, *Udotea flabellum*, *U. spinulosa*, y *Halimeda incrasata*. En la laguna también se encuentran algas pequeñas (menos de 10 cm de altura) con fuertes estructuras de fijación al sustrato. Entre los géneros más comunes son: *Caulerpa*, *Halimeda*, *Dictyota*, *Styopodium*, *Lobophora* y *Laurencia* pueden llegar a ser abundantes en algunas temporadas del año (Collado *et al.*, 1998).

La laguna arrecifal también es un área de alimentación, protección y crianza de varias especies de peces (Alvarez-Guillén *et al.*, 1986). Entre los más abundantes son los góbidos (con muchas especies), la mojarra (*Gerres cinereus*), varias especies de sardinas del género *Harengula*, vaquitas (*Lactophrys* sp.), el pargo (*Lutjanus analis*), jureles (*Caranx bartholomaei*) y chacchis (*Haemulon* spp.). La laguna también es zona de crianza de la langosta *Panulirus argus*, del pulpo *Octopus vulgaris*, el cangrejo ermitaño *Petrochirus diógenes*, y moluscos como *Strombus gigas*, *S. costatus*, *Pleuroploca gigantea*, *Fasciolaria tulipa*, *Charonia variegata*, y *Xancus angulatus* entre otros.

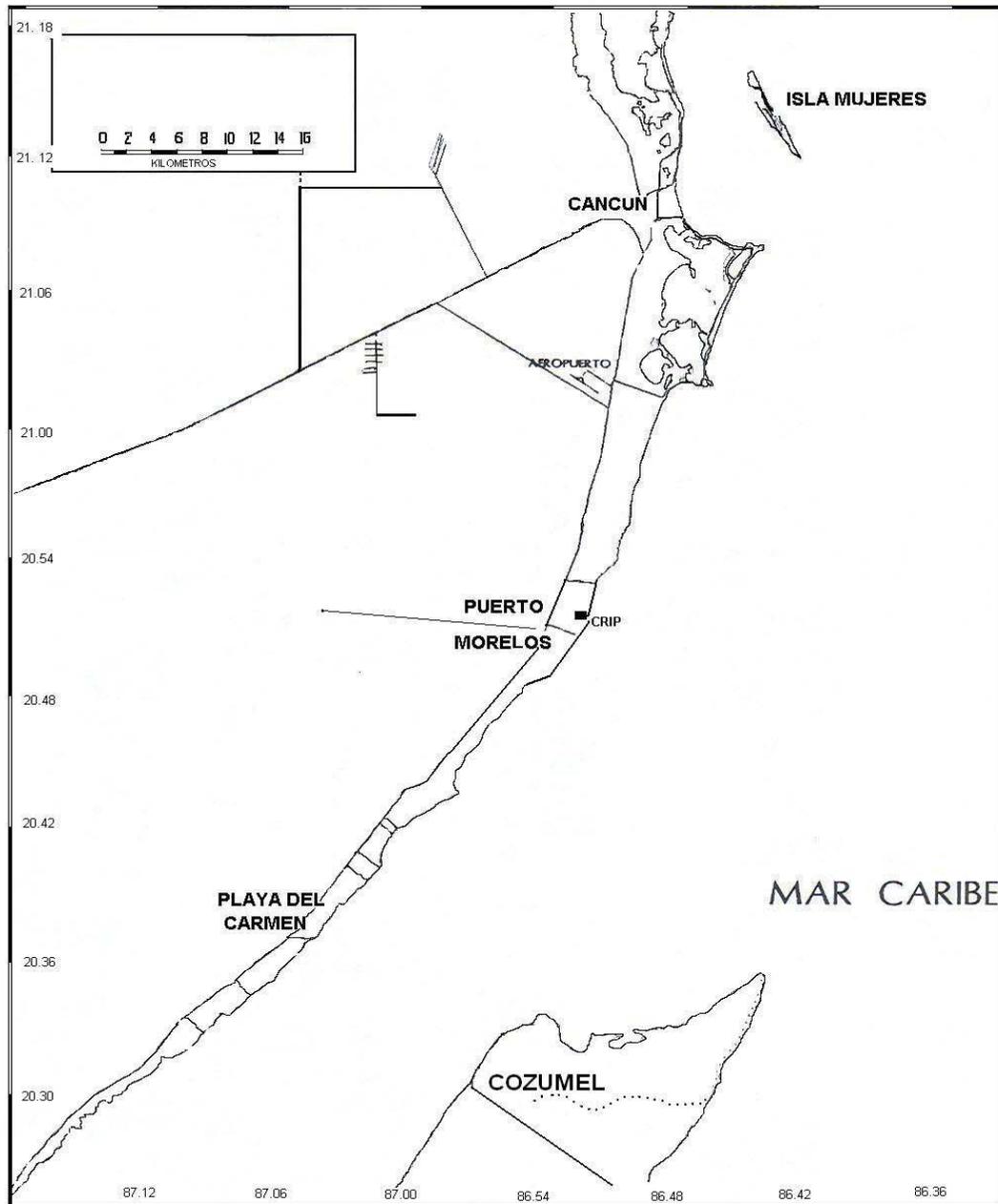


Fig. 1 Ubicación geográfica de la zona de estudio en Puerto Morelos Q. Roo México.

V. METODOS:

El trabajo de investigación para el cultivo de juveniles se dividió en dos etapas, de acuerdo a sus requerimientos de manejo. Para los propósitos de esta investigación y para referirse a ellos en lo sucesivo, los estadios de desarrollo del caracol se dividieron en las siguientes fases.

- *Juveniles de 1er estadio*: comprende organismos a partir de la metamorfosis hasta que alcanzan los 2 cm (se cultivan en condiciones controladas de laboratorio).
- *Juveniles de 2do estadio*: 2 a 7 cm, se conoce poco sobre sus requerimientos ya que no se observan en el medio natural (fueron cultivados en sistemas semicontrolados, en canaletas de fibra de vidrio).
- *Juveniles de 3er estadio*: 7 a 18 cm (se cultivaron en forma extensiva en sistemas sumergidos en el mar).
- *Preadultos*: 18 a 20 cm: organismos con incipiente formación del labio (cultivados de manera extensiva, posible talla de cosecha).
- *Adultos*: organismos mayores de 20 cm con labio completamente formado, sexualmente maduros con actividad reproductiva (fracción de la población sujeta a mortalidad por pesca)

La primera etapa de investigación comprende el cultivo de juveniles del segundo estadio, los cuales se mantienen en sistemas semicontrolados a la intemperie. Esta etapa inicia cuando los juveniles postmetamórficos han alcanzado los 2 cm de longitud de concha y ya no requieren el control de los sistemas de cultivo en laboratorio, y termina cuando miden 7 cm de longitud de concha y se encuentran en condiciones para ser manejados en sistemas de cultivo en el mar.

5.1. PRIMERA ETAPA DE CULTIVO

En la primera etapa de desarrollo del caracol, a partir de la metamorfosis hasta que alcanzan los 2-3 cm de longitud de concha, el cultivo se lleva a cabo de manera intensiva en sistemas controlados de laboratorio (Davis, 1992), en donde se les alimenta a base de un floculado de la microalga *Chaetoceros* sp. y se mantienen en charolas al inicio del cultivo, y posteriormente en canaletas de fibra de vidrio.

Cuando los juveniles han alcanzado 2 a 3 cm de longitud de concha pueden prescindir de las condiciones de laboratorio, en lo referente al control de parámetros fisicoquímicos como temperatura, pH, O₂ así como de filtración y esterilización del agua marina. Por lo tanto, el cultivo de estos organismos puede llevarse a cabo en sistemas semi-intensivos, adaptando las técnicas de manejo de juveniles en laboratorio a sistemas semicontrolados a la intemperie de menor costo de mantenimiento e infraestructura. En este sentido, los factores a controlar

son el flujo de agua, el tipo de sustrato en los sistemas de cultivo, para mejorar la formación de la concha, y el empleo de dietas artificiales de bajo costo para el desarrollo del cultivo de caracol a gran escala.

Las pruebas para mejorar el crecimiento en juveniles mayores de 2 cm se realizaron en canaletas y tinas de fibra de vidrio con un volumen de 200 y 1 000 litros respectivamente, instaladas a la intemperie en un área techada (Fig. 2).



Fig. 2.- Canaletas y tinas de fibra de vidrio utilizadas en las pruebas experimentales durante la primera etapa.

5.1.1 Pruebas de alimentación.

En esta primera etapa de investigación se analizó el efecto de un alimento artificial sobre el crecimiento de los juveniles en cultivo.

Para introducir estos alimentos en el cultivo del caracol, se seleccionó para ser utilizado como alimento control la formulación fabricada comercialmente para la cría de iniciación de Tilapia Chow 30% por los resultados obtenidos en pruebas de aceptación realizadas con anterioridad en el CRIP (Martínez, 1985) (Tabla 1).

Tabla 1.- Composición bromatológica de la dieta artificial para Tilapia Chow 30%

Ingredientes	Contenido seco	Contenido hidratado
Cenizas	6.42	5.10
% Proteína	28.60	27.31
Extracto etéreo	2.77	2.73
Fibra	3.17	3.15
E.L.N.	54.27	51.74
Calcio	1.29	0.80
Fósforo	0.55	0.39
Humedad	9.73	7.10

Adicionalmente se analizó el efecto de enriquecer esta dieta control con productos vegetales al 30%. Se consideró el empleo de un vegetal de origen terrestre de fácil obtención como es la espinaca y una alga de origen marino, *Ulva* sp., para lo cual fue necesario establecer un cultivo.

Se colectó *Ulva* sp. en el muelle de Progreso Yucatán, y se mantuvo en cultivo en una canaleta de fibra de vidrio procurando que recibiera la luz directa del sol durante las primeras horas del día, con un burbujeo intenso y adicionando como nutriente “Triple 17” (urea) al 0.05% (peso:vol) cada tercer día.

A fin de poder incorporar la espinaca y el alga a la formulación artificial fue necesario someterlos a un proceso de deshidratación a 60 °C durante 72 horas. Ya deshidratados estos productos, se pulverizaron pasándolos por una serie de tamices hasta obtener partículas de 500 micras.

La dieta comercial, la cual viene en forma de *pellets*, se pulverizó mediante una licuadora y se le adicionó el producto enriquecedor en una cantidad equivalente al 30% (peso:peso).

Para suministrar el alimento a los caracoles, fue necesario hidratarlo previamente durante 10 minutos con el propósito de suavizarlo y facilitar su precipitación, se proporcionó el alimento una vez al día, en una cantidad equivalente en peso seco al 3% del peso total de los organismos.

Para estas pruebas se utilizaron como sistemas de cultivo canaletas de fibra de vidrio de 1.54 m de largo X 0.42 m de ancho X 0.34 m de altura, a las que se les colocó un sustrato de arena de 5 cm de espesor, suspendido a 7 cm del fondo de la canaleta mediante una rejilla y una malla para garantizar una adecuada circulación del agua (Fig. 3). Se suministró un flujo de agua de 8 lt/min. y aireación, manejando una densidad de cultivo de 32 org/m².

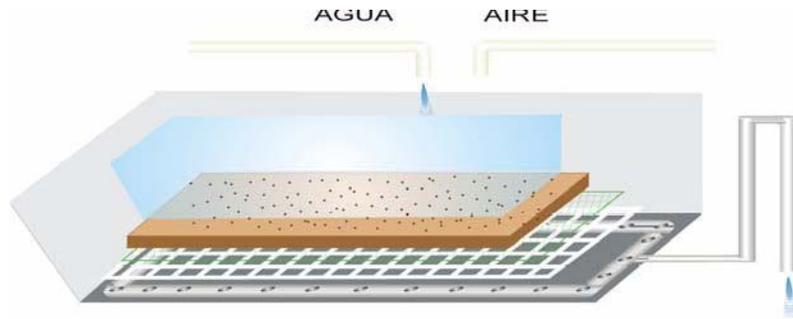


Fig. 3.- Diagrama de la canaleta utilizada como sistema de cultivo en esta prueba.

Para el experimento se establecieron 3 réplicas para cada tratamiento con 16 organismos juveniles en cada lote (con una talla promedio de 3.5 cm de longitud). Al inicio del experimento se registraron las biometrías de los juveniles y se marcaron individualmente y por tratamiento con marcas de colores atadas a las primeras espiras de la concha con alambre de cobre.

En los registros biométricos se consideró la longitud total de la concha y el peso del organismo. Las biometrías se registraron cada mes utilizando un vernier y una balanza digital (Fig. 4) y se siguió el crecimiento por 3 meses.



Fig.4.- Lotes experimentales de juveniles de *Strombus gigas*

Los datos se procesaron mediante el programa JUMP 0.5 Estatistical Discovery Software aplicando un ANDEVA y Comparación *a posteriori* de medias (Prueba de Tukey), para observar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos.

5.1.2 Pruebas de sustratos

Otro aspecto a considerar en el cultivo de juveniles en sistemas semicontrolados es el tipo de sustrato que se emplea en los sistemas de cultivo para optimizar el crecimiento de los organismos durante esta etapa de desarrollo. Para ello se diseñó un experimento tendiente a analizar el efecto que tiene la granulometría de la arena sobre el desarrollo y formación de la concha de los juveniles.

Se consideraron 3 tratamientos en relación a la granulometría de la arena, de acuerdo a la escala de tamaño de Wentworth (1922): a) arena fina (0.125 - 0.2 mm), b) arena gruesa (0.5 - 1.00 mm) y c) grava con fragmentos de coral (3.5 - 5.0 mm) empleando como tratamiento control los sistemas de cultivo sin arena, estableciéndose 3 réplicas para cada tratamiento.

Como sistema de cultivo se emplearon tinas de fibra de vidrio de 1.80 m de diámetro con un volumen de 1 000 litros y una superficie de cultivo de 2.5 m². Se dividió esta superficie de cultivo en 4 secciones para colocar los diferentes sustratos, manejando un volumen de agua de 500 litros con agua corriente a un flujo de 10 l/min y aireación, manejando una densidad de cultivo de 25 org./m². (Fig. 5).



Fig. 5.- Sistema de cultivo empleado en estas pruebas.

Los lotes experimentales quedaron integrados cada uno por 16 juveniles de 4 meses de edad, con un intervalo de talla de 3 a 3.5 cm de longitud total de la concha. Los juveniles fueron marcados individualmente y por tratamiento, de la misma forma que para el experimento de dietas, suministrándoles una vez al día alimento artificial Tilapia Chow 30% en una cantidad equivalente en peso seco al 3% del peso total de los organismos.

Se tomaron biometrías mensuales de longitud y peso, siguiendo su crecimiento durante 90 días. Los datos se procesaron mediante el programa JUMP 0.5 Statistical Discovery Software aplicando un ANDEVA y Comparación *a posteriori* de medias (Prueba de Tukey), para verificar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos.

5.2. SEGUNDA ETAPA DE CULTIVO.

Cuando los juveniles alcanzan tallas mayores de 7 cm en sistemas semicontrolados, la saturación provocada por la cantidad de alimento que se necesita suministrar, así como el aumento en la producción de desechos metabólicos en los criaderos hace necesario incrementar la infraestructura para su mantenimiento, resultando incosteable llevarlos a tallas mayores bajo este esquema de cultivo. Por lo tanto, con la intención de desarrollar una tecnología para la producción de juveniles a nivel masivo, fue necesario explorar la posibilidad de continuar su cultivo en el mar.

Al trasladar el cultivo del caracol al ambiente marino se presentan problemas potenciales que hay que tomar en cuenta como son el control de la depredación, la competencia, el hábito bentónico y la estrategia de alimentación del caracol así como el comportamiento de los caracoles juveniles en cautiverio. Además, se deben considerar la estabilidad de la estructura a factores como son las corrientes y el oleaje, así como la facilidad de manejo y recuperación de los sistemas ante eventos climáticos frecuentes en el área del Caribe como huracanes y Nortes. Por lo tanto, es indispensable diseñar sistemas de confinamiento que consideren estos aspectos así como el aprovechamiento del espacio de cultivo.

Por otro lado, el cultivo de juveniles en el mar requiere el suministro de alimento complementario, considerando la utilización de dietas artificiales de bajo costo que permita el cultivo del caracol a gran escala.

Durante esta segunda etapa, los trabajos de investigación estuvieron orientados a identificar los problemas potenciales que afectan a los juveniles al colocarlos en sistemas de confinamiento en el medio natural, así como diseñar un sistema de cultivo que permita el manejo del caracol juvenil en el mar.

A continuación se describen los experimentos que se llevaron a cabo en cada caso.

5.2.1 Pruebas preliminares.

Las pruebas preliminares que se describen en esta sección sirvieron para conocer los problemas que se presentan al manejar caracoles juveniles en sistemas de confinamiento en el mar a pequeña y gran escala, y además para adecuar los sistemas de cultivo y dar solución a la problemática observada para finalmente obtener un diseño de sistema de cultivo que permita la cría del caracol en el ambiente natural.

a). Sistemas de confinamiento a pequeña escala (jaulas).

Se montó un experimento piloto a pequeña escala con el propósito de identificar aquellos factores bióticos y abióticos que afectan a juveniles de *S. gigas* confinados en sistemas marinos, así como el efecto que tienen estos factores sobre el diseño de la estructura.

Los agentes bióticos que se consideraron fueron depredación, competencia, comportamiento de los juveniles en confinamiento, selección del hábitat y aprovechamiento del alimento artificial. Como factores abióticos fueron considerados el oleaje, la corriente y eventos climáticos como huracanes y Nortes.

Para llevar a cabo esta prueba piloto se utilizaron como sistemas de confinamiento 3 jaulas de forma rectangular de 2 m^2 de área de cultivo (2x1 m y 0.5 m de altura). Las jaulas se construyeron con PVC de 2.5 cm de diámetro y se forraron con malla de hilo alquitranado de abertura de malla de 2.5 cm. En cada jaula se colocaron 30 juveniles, colectados del medio natural, con intervalo de talla entre 8-13 cm, de modo que se manejó una densidad de cultivo de 15 org./m^2 (Fig. 6).



Fig. 6.- Sistemas de cultivo a escala menor utilizado en las pruebas piloto.

Para las pruebas de la selección de hábitat así como para identificar aquellos factores bióticos y abióticos que afectan el cultivo, se colocó una jaula sobre un fondo de arena y otra sobre una pradera de *Thalassia* sp. suministrando a los juveniles alimento artificial una vez al día en una cantidad equivalente en peso seco al 3% del peso total de los organismos. Para observar si este alimento tiene algún efecto sobre el crecimiento de los juveniles cuando son mantenidos en el medio natural, se colocó una jaula sobre una pradera de *Thalassia* sp. donde los caracoles dispusieron únicamente de alimento natural, removiendo la jaula de lugar cada tercer día para que el alimento natural no representara un factor limitante, comparando el crecimiento obtenido al final del experimento en este lote con los juveniles que recibieron complementariamente alimento artificial. Por otro lado, se llevó una bitácora diaria de las observaciones sobre el comportamiento de los caracoles, aprovechamiento de alimento y espacio, competidores e interacción de otros organismos con los caracoles y los sistemas de cultivo. Se llevó un registro de los depredadores y sus estrategias para introducirse a los sistemas de cultivo, realizándose además, observaciones sobre el diseño de la estructura en cuanto a su estabilidad ante el oleaje y facilidad de manejo con el propósito de corregir las fallas y generar un diseño adecuado para el cultivo del caracol.

Las biometrías de longitud y peso se realizaron mensualmente procesándose los datos en el programa JUMP 0.5 en donde se les aplicó un ANDEVA para observar si existen diferencias significativas entre los grupos.

b). Sistemas de confinamiento a escala mayor (corrales).

Una vez identificados los factores principales que afectan el cultivo del caracol en el mar como son los depredadores y sus estrategias para introducirse a los sistemas de cultivo, el comportamiento de los juveniles, así como las fallas en el diseño de la estructura, especialmente en lo que se refiere al control de depredadores y estabilidad ante la corriente y el oleaje, se procedió a explorar el manejo del caracol bajo un esquema de cultivo extensivo.

Para llevar estas pruebas preliminares a una escala mayor, se amplió el sistema de confinamiento a una estructura que cubriera una superficie de cultivo de 100 m^2 , para lo cual se construyó un corral con postes de madera de mangle y malla alquitranada de forma romboidal, cuya arista se orientó en dirección de la corriente predominante, para reducir la resistencia a la misma e incrementar su estabilidad (Fig. 7).

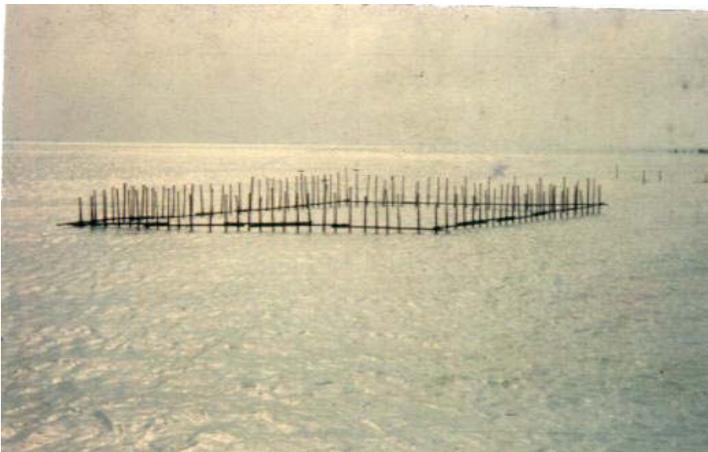


Fig. 7. Corral en forma romboidal de 100 m^2 .

Con el propósito de contrarrestar la acción de los depredadores se realizaron algunas modificaciones en este diseño, adicionando una banda de red a manera de falda en la parte inferior del corral sobre la cual se colocaron blocks de construcción para sellarla perfectamente al fondo, sobresaliendo la estructura un metro de la superficie del agua para evitar la entrada de depredadores.

Se realizó una prueba piloto para evaluar el crecimiento y comportamiento de los juveniles en estos sistemas de cultivo extensivo, asimismo, se evaluó el nuevo diseño del sistema durante un período de 4 meses, tomándose como parámetro de respuesta la longitud y peso de los organismos así como la incidencia de depredadores y operatividad del sistema.

Para esta prueba se colectaron 1000 juveniles del ambiente natural con un intervalo de talla de 15 - 18 cm, manejándose una densidad de cultivo de 10 org./m². Se les proporcionó a los juveniles alimento artificial en una cantidad equivalente en peso seco al 1% del peso total de los organismos, suministrándoseles una vez al día previamente hidratado.

Las biometrías de longitud y peso se realizaron mensualmente en una muestra de 100 organismos, procesando los datos en el programa JUMP 0.5 aplicando un ANDEVA para observar si los incrementos obtenidos en el tiempo presentan diferencias significativas.

5.2.2 Pruebas experimentales. Efecto del hábitat, alimento y densidad de cultivo.

Los resultados obtenidos en las pruebas preliminares permitieron definir el sistema de confinamiento más adecuado para los juveniles e identificar los problemas potenciales que afectan su maricultivo. Con el propósito de abordar cada uno de estos aspectos, se plantearon una serie de experimentos para determinar de manera cuantitativa el efecto que tienen el hábitat, alimento artificial y densidad de cultivo, sobre el crecimiento de los juveniles.

Con este fin se colocaron lotes experimentales sobre camas de pastos marinos (*Thalassia testudinum*), y en ambientes con fondos arenosos. Se manejaron densidades de cultivo altas (75 org./m²) y densidades bajas (25 org./m²) en ambos ambientes, con y sin suministro de alimento artificial.

Los sistemas de cultivo empleados fueron jaulas circulares con una estructura de PVC forrada con malla alquitranada de 2.5 cm de abertura, para permitir la circulación de agua, con un diámetro de 1 m y una altura de 40 cm cubriendo una superficie de cultivo de 0.78 m² (Fig. 8).



Fig. 8.- Jaulas circulares utilizadas en las pruebas de maricultura en juveniles de *S. gigas*.

Los grupos experimentales para alta densidad de cultivo quedaron integrados por 58 organismos cada uno con un intervalo de talla de 50-70 mm. Se colocaron estos lotes experimentales sobre camas de pastos marinos y sobre ambientes con fondo arenoso, con y sin suministro de alimento, teniendo 4 réplicas para cada tratamiento. De esta forma quedaron instalados en ambos ambientes 4 lotes experimentales con suministro de alimento artificial en una cantidad equivalente en peso seco al 3% del peso total de los organismos, así como 4 lotes sin recibir alimento artificial consumiendo estos grupos únicamente el alimento natural disponible.

Los lotes experimentales de baja densidad de cultivo quedaron integrados por 20 juveniles cada uno, con un intervalo de talla de 50-70 mm, a los que se les aplicaron los mismos tratamientos con igual número de replicas, quedando instalados 16 lotes experimentales sobre praderas de pastos marinos, y 16 lotes sobre fondos arenosos.

Paralelamente y para ser utilizados como lote control, se cultivaron juveniles en

sistemas semicontrolados (descritos en la primera etapa), en donde se manejaron lotes de 15 organismos con un intervalo de talla de 50–70 mm, cultivados a una densidad de 30 org./m² con 4 replicas, a los que se les suministró alimento artificial en una cantidad equivalente en peso seco al 3% del peso total de los organismos.

El experimento se realizó por un periodo de 60 días, suministrando el alimento previamente hidratado una vez al día. Los registros biométricos de longitud de la concha y peso se realizaron cada mes utilizando un vernier y una balanza digital. Los datos se procesaron mediante el programa JUMP 0.5 aplicándose un ANDEVA y prueba *a posteriori* de Tukey de diferencia de medias para observar si existen diferencias significativas entre los tratamientos.

5.3. Diseño de un sistema de cultivo para el manejo de juveniles de *Strombus gigas* en el mar.

Los resultados obtenidos a través del manejo de diferentes sistemas de cultivo durante las pruebas preliminares, así como los detalles que pudieron ser esclarecidos a través de los experimentos sobre densidad, hábitat y alimentación de los juveniles, permitió generar un proceso de acumulo de experiencias, con la intención de perfeccionar cada vez más el manejo de los caracoles juveniles en sistemas de cultivo marinos.

Finalmente, al tratar de incorporar todos los conocimientos adquiridos en cuanto a las características de la estructura de encierro, así como del comportamiento de los organismos en confinamiento y sus requerimientos para su buen desarrollo, se contó con los elementos necesarios para diseñar un sistema de cultivo a gran escala para el manejo de juveniles de caracol en el mar.

Este diseño consiste en una estructura sumergida de forma circular con círculos concéntricos cubriendo una superficie de cultivo de 64 m², denominada Unidad de Producción Piloto para engorda de juveniles de caracol rosado (UPP).

Los detalles de este diseño sobre su construcción, mantenimiento y funcionamiento se presenta como uno de los principales resultados de este trabajo. Como parte final de este estudio se llevaron a cabo pruebas de cultivo con prototipos a escala de este diseño.

5.4. Pruebas de cultivo con prototipos a escala de la UPP.

A partir del diseño de la Unidad de Producción Piloto para engorda de juveniles de caracol rosado (UPP) se llevaron a cabo pruebas sobre su funcionamiento con la intención de corregir posibles fallas en el diseño de estos sistemas de cultivo. Para ello se construyeron prototipos de UPP a una escala en relación a el área de 1:20,

cubriendo una superficie de cultivo de 3.14 m^2 . El prototipo tiene un diámetro de 2 metros, con 2 círculos interiores concéntricos de 1.60 m y 0.80 m de diámetro respectivamente (Fig. 9).

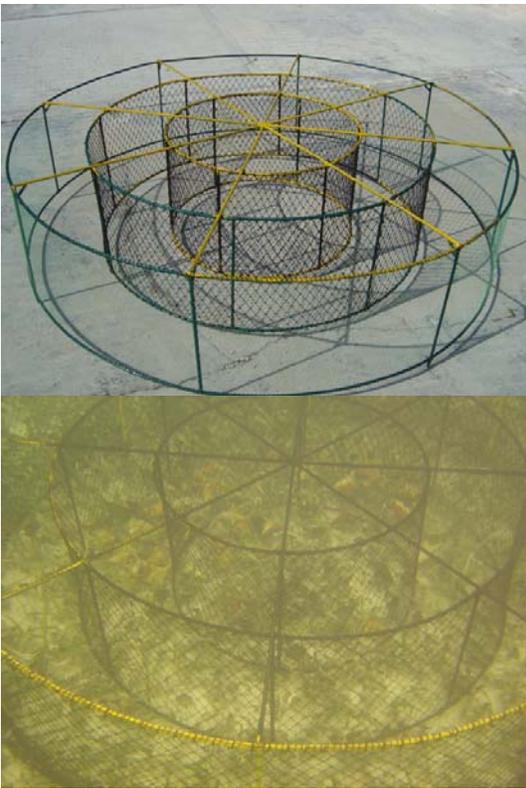


Fig. 9. Elaboración de UPP a escala e instalación en el mar.

Para estas pruebas se construyeron e instalaron 3 prototipos, manejando 75 caracoles en cada uno. Los organismos se colectaron del medio natural, los cuales fueron medidos y pesados con la intención de clasificarlos en 3 grupos de 25 organismos cada uno para cada unidad, los cuales se colocaron en los diferentes círculos de acuerdo a su talla, según se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Características de los grupos que se definieron para el prototipo de UPP.

Círculo	Sup. De cultivo (m ²)	Número de Organismos	Densidad Org./m ²	Intervalo de tallas (cm)
Central	0.125	25	200	8.0 – 12.0
Medio	1.88	25	13	12.1 – 14.0
Exterior	1.13	25	22	14.1 – 17.0

Se llevaron a cabo biometrías mensuales para determinar crecimiento y sobrevivencia de los organismos, haciendo observaciones sobre el comportamiento de los juveniles registrando su movimiento y distribución diaria dentro de los corrales, así como, el aprovechamiento del alimento suministrado.

Por otro lado, se realizaron observaciones inherentes al funcionamiento del sistema como es el control de depredadores, aprovechamiento y pérdida de alimento por efecto directo del diseño de estos prototipos, así como su estabilidad en el mar y mantenimiento requerido.

VI. RESULTADOS

Los resultados de esta investigación se presentan en 2 secciones, de acuerdo a dos estrategias de cultivo: Semi-intensivo y extensivo, determinadas por la etapa de desarrollo de los juveniles.

Primero se presentan los resultados obtenidos en los experimentos sobre el empleo de dietas artificiales así como el efecto del tipo de sustrato utilizado en los criaderos para el cultivo del caracol juvenil en sistemas semicontrolados. En la segunda etapa se exponen los resultados de las pruebas preliminares y experimentales en el ambiente natural, para obtener el diseño de un sistema que permita el cultivo extensivo del caracol juvenil en el mar.

6.1. Cultivo Semi-intensivo. Manejo de sistemas semicontrolados.

En esta primera etapa de investigación se logró adaptar las técnicas de cultivo intensivo en laboratorio, a una metodología de menores requerimientos para el cultivo del caracol juvenil en sistemas semicontrolados a la intemperie, mediante pruebas sobre el suministro de una dieta artificial enriquecida así como el crecimiento y formación de la concha en función del sustrato utilizado en los sistemas de cultivo.

6.1.1. Alimentación.

Las pruebas experimentales para determinar el efecto de las dietas artificiales enriquecidas con productos vegetales sobre el crecimiento de los juveniles, se llevó a cabo considerando 2 variables: La longitud total de la concha y el peso del organismo, en los tres tratamientos que se aplicaron, dieta enriquecida con *Ulva* y espinaca, y dieta no enriquecida.

Al inicio del experimento se eligieron al azar los caracoles juveniles para formar 3 lotes experimentales con sus réplicas para cada una de las dietas estudiadas, de modo que no existió diferencia significativa en cuanto a la longitud de la concha y el peso de los organismos, estimándose una longitud promedio de 37 ± 0.88 mm, con un intervalo de talla en la muestra de 30-44 mm., y un peso promedio de 48.9 ± 3.2 g, con un intervalo de peso en la muestra de 27-86 g, mostrando no tener diferencias significativas entre los lotes que se destinaron para los diferentes tratamientos ($p > .001$) (fig.10)

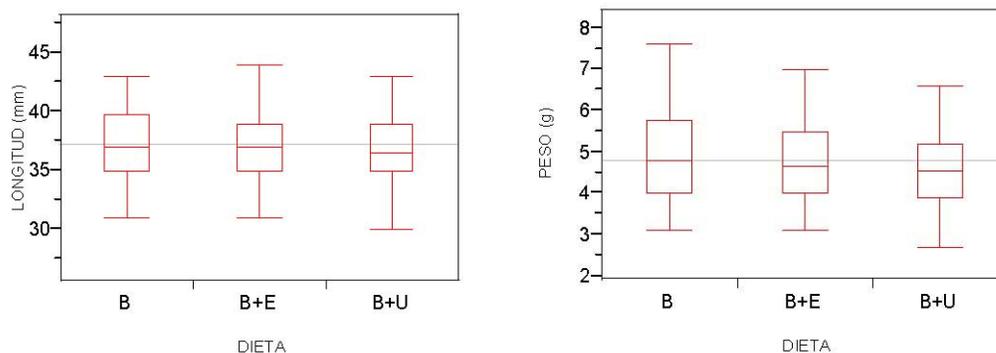


Fig. 10. Comparación de la longitud y peso de los organismos al inicio del experimento entre los 3 tratamientos de dieta: B=Dieta base, B+E= Dieta enriquecida con espinaca, B+U=Dieta enriquecida con *Ulva* sp.

Al final del experimento, después de 60 días de cultivo, el incremento promedio en peso y longitud no mostró diferencias significativas entre las 3 dietas suministradas (ANDEVA una vía; $F= 2.46$; $p>0.001$) (fig. 11). Sin embargo, el grupo experimental tratado con la dieta enriquecida con espinaca muestra un promedio de talla y peso ligeramente superior al de los otros tratamientos

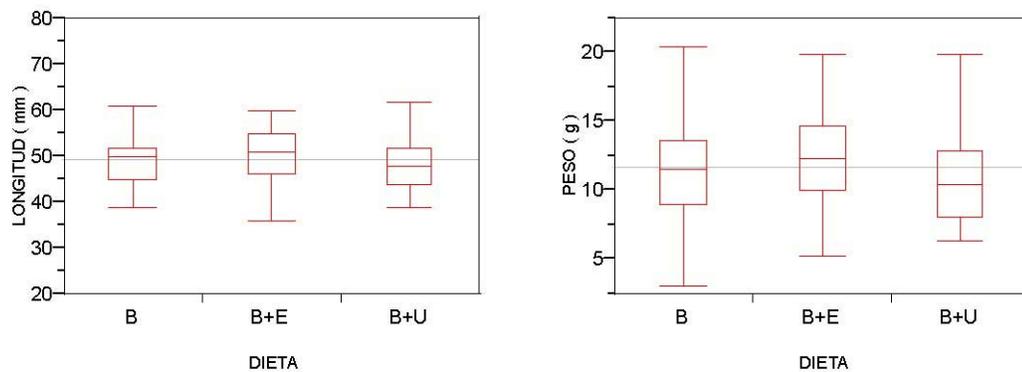


Fig. 11 .- Incremento promedio en longitud y peso después de 60 días de cultivo, en juveniles de *S. gigas* alimentados con diferentes dietas. B = Alimento Balanceado, B+E = Balanceado + Espinaca, B+U = Balanceado + *Ulva* sp.

osado *S. gigas*

El empleo de alimento artificial en el cultivo del caracol mostró tener un efecto positivo en el crecimiento de los juveniles, ya que los lotes que recibieron alimento artificial o dieta base mostraron una tasa de crecimiento de 7.7 mm/mes, los juveniles que fueron alimentados con la dieta enriquecida con espinaca obtuvieron una tasa de crecimiento de 13.7 mm/mes, y para los juveniles que se les alimentó con la dieta enriquecida con *Ulva* sp. se registró una tasa de crecimiento de 8.7 mm/mes. En el caso del peso, los juveniles alimentados con B+E mostraron una ganancia en peso de 3.8 g/mes, los organismos que fueron alimentados con B+U obtuvieron una ganancia en peso de 2.8 g/mes, en el caso de los juveniles alimentados con la dieta no enriquecida la ganancia en peso fue de 3.4 g/mes.

A pesar de que el crecimiento obtenido en los juveniles que fueron alimentados con estas dietas no mostraron diferencias estadísticamente significativas, se observó una tendencia positiva de mejorar el crecimiento de los juveniles al enriquecer la dieta base con espinaca (B+E). (fig. 12).

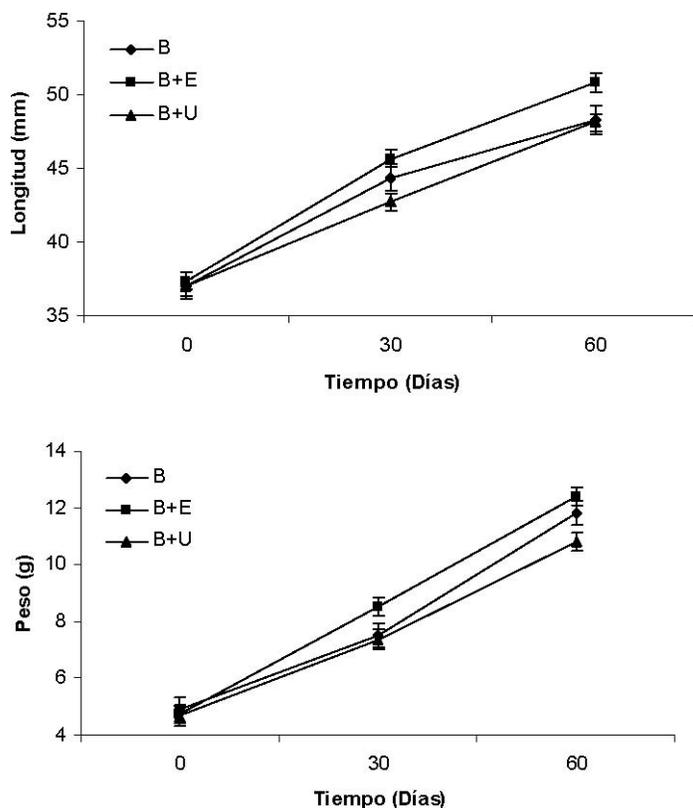


Fig. 12 .- Incrementos en longitud y peso en juveniles de *S. gigas* durante 60 días de cultivo, proporcionándoles alimento balanceado (B), balanceado más espinaca (B+E) y balanceado más *Ulva* sp. (B+U).

6.1.2. Sustratos.

Este experimento sirvió para probar el efecto del tipo de sustrato sobre el crecimiento y formación de la concha de los juveniles de *S. gigas* en cultivo, se llevó a cabo considerando las mismas variables de respuesta: La longitud de la concha, y el peso del organismo, para lo cual se probaron 4 diferentes sustratos en los sistemas de cultivo.

Al inicio del experimento los caracoles juveniles fueron elegidos al azar para formar 3 lotes para cada uno de los 4 sustratos que se probaron (arena fina, arena media, arena gruesa, y sin arena), de modo que no existió diferencia significativa en cuanto al peso y longitud de la concha, estimándose una longitud promedio de 36.6 ± 0.80 mm, con un intervalo de talla en la muestra de 30-44 mm. y un peso promedio de 4.5 ± 0.28 g, con un intervalo de 2.5-7.3 g, mostrando no

tener diferencias significativas entre los lotes que se destinaron para los diferentes tratamientos ($F = 0.9383$, $p > .001$). (fig. 13).

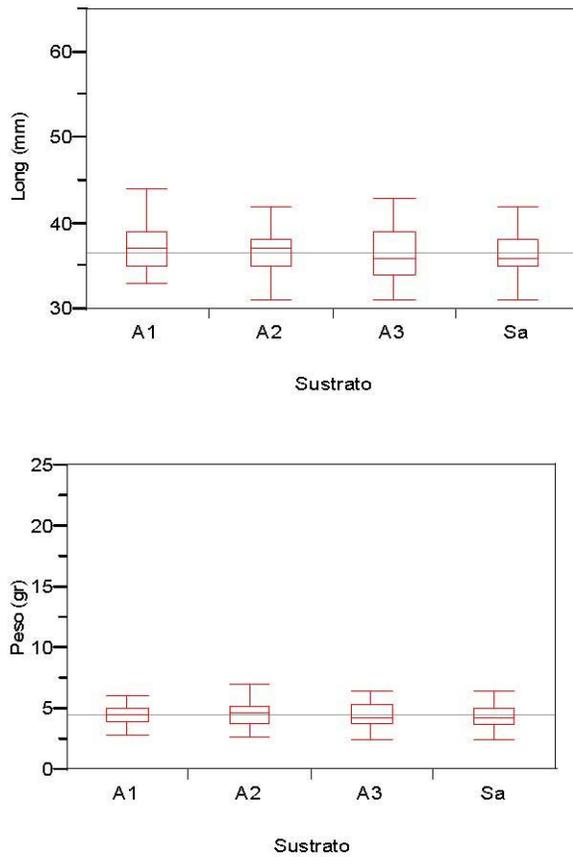


Fig. 13 .- Comparación de la longitud y peso de los organismos en los lotes, al inicio del experimento entre los 4 tratamientos de sustrato: A1=Arena fina, A2=Arena media, A3=Arena gruesa, Sa=Sin arena.

Al término de 60 días de cultivo, los incrementos obtenidos en longitud y peso con

los diferentes sustratos utilizados en los criaderos, mostraron una diferencia significativa entre los grupos estudiados (ANDEVA de una vía $F = 11.38$; $p < 0.001$), la prueba de Tukey (Alfa > 0.05) para todos los pares de medias, al final del experimento mostró que los juveniles cultivados sobre arena fina tuvieron un crecimiento significativamente mayor que aquellos juveniles cultivados sobre arena de granulometría más gruesa. También se observó que existe una tendencia de mejorar el proceso de formación de concha en los juveniles conforme se reduce el tamaño de arena utilizado como sustrato en los criaderos. (fig. 14).

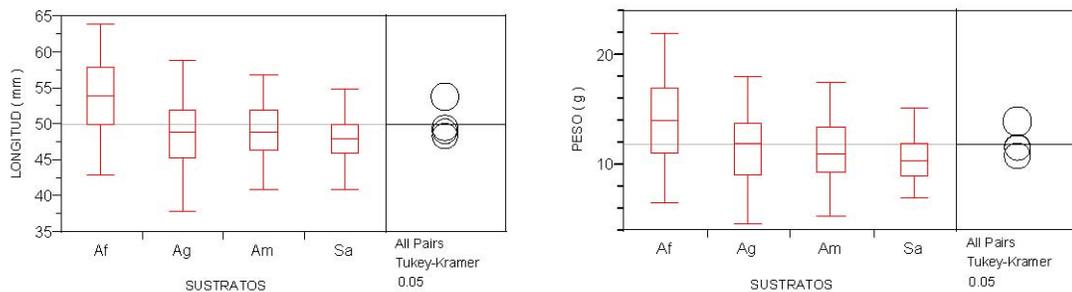


Fig. 14 Comparación para todos los pares de medias en longitud y peso al final del experimento, empleando el método de Tukey – Kramer

En cuanto a estas variables, se pudo observar que la arena fina resultó ser el sustrato más adecuado para el crecimiento de los juveniles de *S. gigas* en cultivo. Los organismos que se manejaron en sistemas de cultivo con arena fina tuvieron un crecimiento en longitud de 8.5 mm/mes, con una ganancia en peso de 4.7 g/mes. En comparación, los juveniles que fueron cultivados sobre sustratos de arena media y arena gruesa mostraron un crecimiento en longitud de 6.5 mm/mes y 6.3 mm/mes con una ganancia en peso de 3.7 g/mes y 3.5 g/mes respectivamente. En los lotes de juveniles que fueron cultivados en criaderos sin arena, se observó un crecimiento de 6 mm/mes con una ganancia en peso de 3.1 g /mes (fig 15).

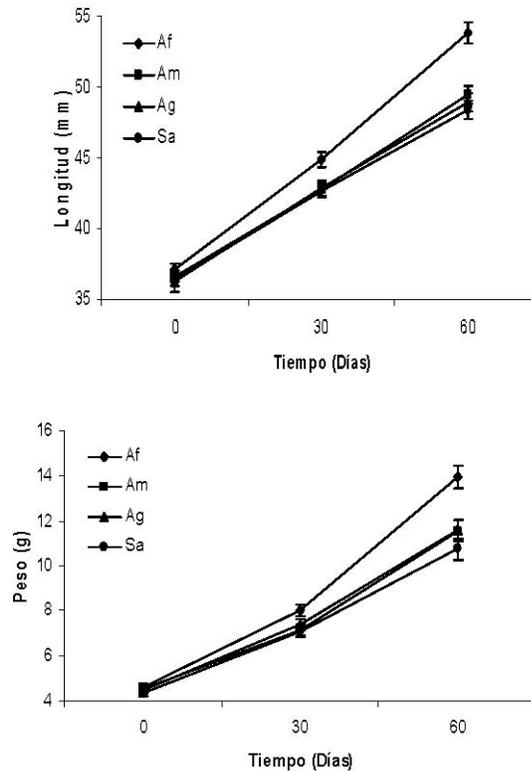


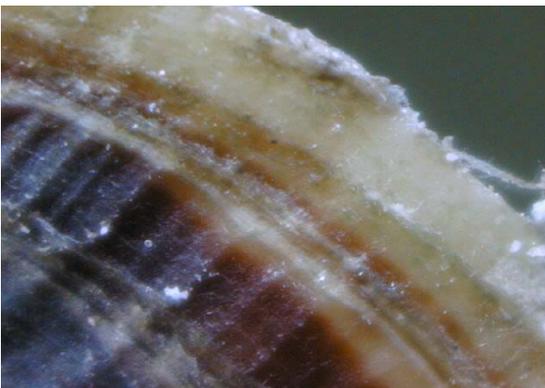
Fig. 15 .- Incremento promedio en longitud y peso en juveniles de *S. gigas* cultivados sobre diferentes sustratos durante un periodo de 60 días. Af = Arena fina, Ag = Arena gruesa, Am = Arena media, Sa = Sin arena.

6.1.3. Formación de la concha

Al mantener juveniles en cultivo durante el desarrollo de esta investigación se tuvo la oportunidad de apreciar diferentes etapas en la formación de la concha. En esta sección se presentan algunas consideraciones de este proceso, en relación con la importancia que tiene el sedimento en los sistemas de cultivo, observando que es un proceso delicado que requiere de condiciones ambientales propicias para llevarse a cabo de manera adecuada.

El crecimiento de la concha ocurre en el borde del labio, en donde se secreta una franja delgada de material transparente y de consistencia gelatinosa, que pasa por una etapa de cristalización durante 10 a 12 horas. En este período, el caracol permanece inmóvil para evitar su desprendimiento o rompimiento ya que esta línea de crecimiento de apenas 3 a 4 mm de ancho es muy frágil y se desprende fácilmente por factores físicos como el movimiento del agua, el movimiento propio del caracol o el contacto con otros organismos. Se considera que la presencia de sedimento en los sistemas de cultivo es uno de los factores abióticos importantes

que favorecen este proceso, al permitir a los juveniles enterrarse fácilmente, ofreciéndoles un medio protector para formar su concha (fig. 16).



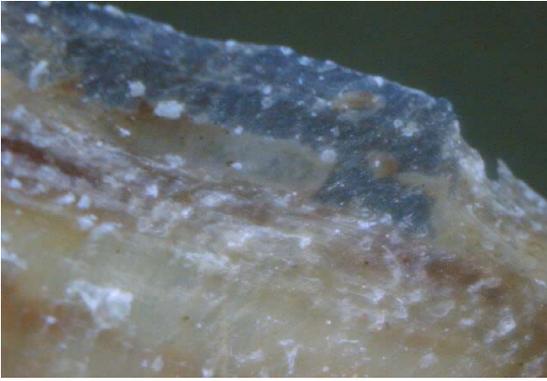


Fig. 16. Proceso de formación de la concha en juveniles de *Strombus gigas*.

El sustrato que ofrece un medio más favorable para este proceso de formación de la concha es la arena fina, ya que se adhiere con mayor facilidad al material gelatinoso a lo largo de la línea de crecimiento, ofreciendo soporte y resistencia a la concha recién formada. Por otro lado, este tamaño de sedimento permite que los juveniles se entierren con mayor facilidad, ofreciendo un ambiente protector durante el período de inmovilidad que requieren para completar el proceso de cristalización. De esta manera, los organismos logran depositar de manera adecuada el nuevo material de su concha, formando líneas de crecimiento completas y bien definidas (fig. 17). Por otro lado, se observó que la ausencia de arena en los criaderos puede reducir el crecimiento de los juveniles hasta en un 15% en longitud, producto de un medio inadecuado para la formación de la concha.

Por lo tanto, estas observaciones permiten suponer que el mayor crecimiento de los juveniles cultivados en sistemas con arena fina es consecuencia de una formación de concha más eficiente.



Fig. 17 .- Formación de las líneas de crecimiento en la concha de *Strombus gigas*

6.2. Cultivo extensivo. Manejo de sistemas sumergidos en el mar.

Los resultados que aquí se presentan comprenden la segunda etapa de esta investigación, en donde de manera preliminar se realizaron pruebas con el manejo de juveniles en el medio natural para observar su comportamiento, interacciones con otros organismos, hábitat más favorable para su desarrollo, aprovechamiento del alimento artificial y la adecuación en el diseño de los sistemas de cultivo.

6.2.1. Pruebas piloto en sistemas de confinamiento en el mar.

a) Sistemas de confinamiento a pequeña escala (jaulas).

El propósito principal en estas pruebas fue conocer de manera preliminar el efecto de la selección del hábitat y el suministro de alimento artificial sobre el crecimiento de los juveniles, así como identificar y dimensionar los problemas potenciales que afectan a los organismos en confinamiento. Por otro lado, se hicieron observaciones sobre el funcionamiento de los sistemas de cultivo para detectar las fallas en el diseño y hacer las adecuaciones pertinentes.

Se eligieron de manera aleatoria caracoles juveniles para formar 3 grupos experimentales (Grupo I *Thalassia* + alimento artificial; Grupo II arena + alimento artificial; Grupo III *Thalassia* sin alimento artificial), estimándose una longitud promedio de 105 ± 8.0 mm, con un intervalo de talla en la muestra de 101 -108 mm., y un peso promedio de 145.8 ± 3.2 g, con un intervalo de peso en la muestra de 92 -199 g, mostrando no tener diferencias significativas entre los grupos que se destinaron al inicio de esta prueba (ANDEVA de una vía $F = 0.1250$; $p > 0.001$).

Después de 5 meses de cultivo en los cuales se mantuvieron en dos diferentes ambientes: praderas de pastos marinos y ambientes con fondos arenosos, se observó que aquellos juveniles que recibieron complementariamente alimento artificial, obtuvieron un incremento promedio en longitud y peso de 6 mm/mes y 30 g/mes respectivamente, independientemente del sustrato sobre los que fueron colocados. Este crecimiento fue significativamente diferente al obtenido en el grupo de juveniles que dispuso únicamente de alimento natural, en el cual se observó un crecimiento en longitud y peso de 0.01 mm/mes y 0.08 g/mes respectivamente (ANDEVA de una vía, $F = 83.5401$; $p < 0.001$). (fig. 18).

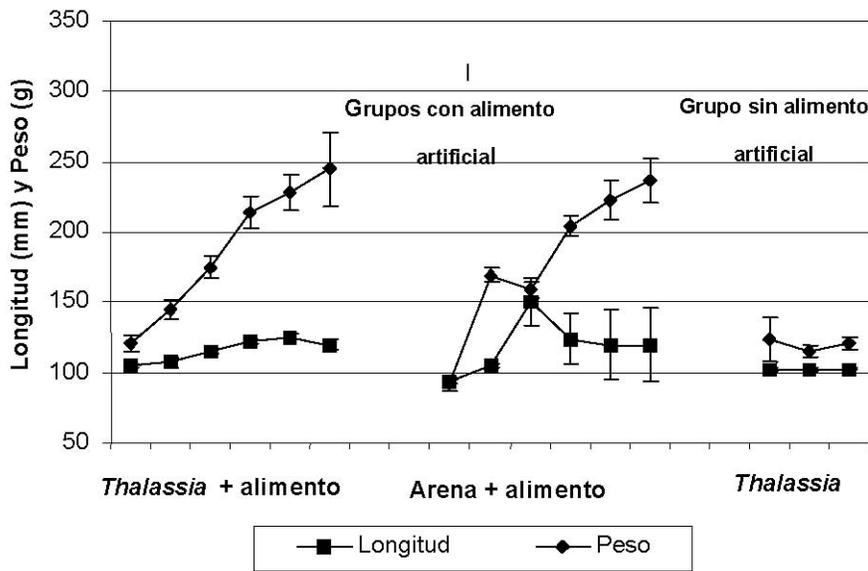


Fig. 18 .- Incremento en longitud. y peso en juveniles de *S. gigas* cultivados en el ambiente marino con y sin alimento artificial durante un período de prueba de 5 meses.

Se presentan en la tabla 3 los incrementos en longitud y peso obtenidos para los diferentes tratamientos, en donde se puede apreciar el efecto positivo que tiene el alimento artificial sobre el crecimiento de los juveniles.

Tabla 3. Crecimiento promedio en longitud y peso en juveniles cultivados en diferentes hábitats marinos con y sin suministro de alimento artificial.

Tiempo días de cultivo	Thalassia con alimento		Arena con alimento		Thalassia sin alimento	
	Longitud promedio (mm)	Error estandar	Longitud promedio (mm)	Error estandar	Longitud promedio (mm)	Error estandar
0	104.967	1.5279	94.4	1.324	102.236	0.87192
30	107.433	3.6448	105.633	1.3021	102.118	1.1104
60	114.448	1.3866	150.367	16.975	102.893	1.0278
90	122.421	1.7841	124.111	17.894		
120	125.25	2.1989	119.857	24.849		
150	120	3.3317	119.846	25.787		

Tiempo días de cultivo	Thalassia con alimento		Arena con alimento		Thalassia sin alimento	
	Peso promedio (g)	Error estandar	Peso promedio (g)	Error estandar	Peso promedio (g)	Error estandar
0	120.89	6.0691	92.097	4.7511	123.284	15.84
30	145.123	6.9518	169.28	49.697	115.25	4.5266
60	175.034	8.1111	159.02	5.8038	121.082	4.3851
90	214.289	11.311	204.296	7.5009		
120	227.825	12.836	222.5	14.499		

En cuanto a la interrelación con otros organismos que afectan el cultivo del caracol juvenil en el ambiente natural, se observaron los siguientes resultados:

• Depredación

Los principales depredadores que lograron introducirse a las jaulas fueron los cangrejos ermitaños *Paguristes erythrops* y *Petrochirus diógenes* ambos de la familia Diogenidae, y el pulpo *Octopus vulgaris*, siendo los primeros los más difíciles de controlar y los que con mayor frecuencia incursionaban en los sistemas de cultivo, representando un problema potencial para los juveniles.

• Competencia

Peces pequeños como damicelas y sargentos de la familia Pomacentridae, peces mariposa de la familia Chaetodontidae y peces de forma elongada principalmente estadios juveniles de la familia Labridae, que pueden entrar a los sistemas de cultivo compiten con los juveniles por el alimento complementario que se suministra en los sistemas de cultivo, perdiéndose aproximadamente un 20% del alimento suministrado por efecto de esta competencia y por arrastre de la corriente.

• Comportamiento

El comportamiento que presentan los juveniles al ser confinados en sistemas de cultivo en el mar, es el de permanecer la mayor parte del tiempo pegados a la malla de la pared de estos sistemas, especialmente a la pared que se encuentre de frente en dirección de la corriente.

• Evaluación del diseño del sistema de cultivo

El diseño de las jaulas resulto ser ineficiente en el control de depredadores y por lo ligero de sus materiales presenta poca estabilidad a la corriente y el oleaje, lo que ocasionó que algunos caracoles se escaparan y otros murieran por depredación al introducirse los depredadores a los sistemas de cultivo, de tal forma que la sobrevivencia de los juveniles fue baja para todos los grupos experimentales, registrándose mortalidades del 83 % en el Grupo 1, 57 % en el Grupo 2 y 96% en el Grupo 3 (fig. 19).

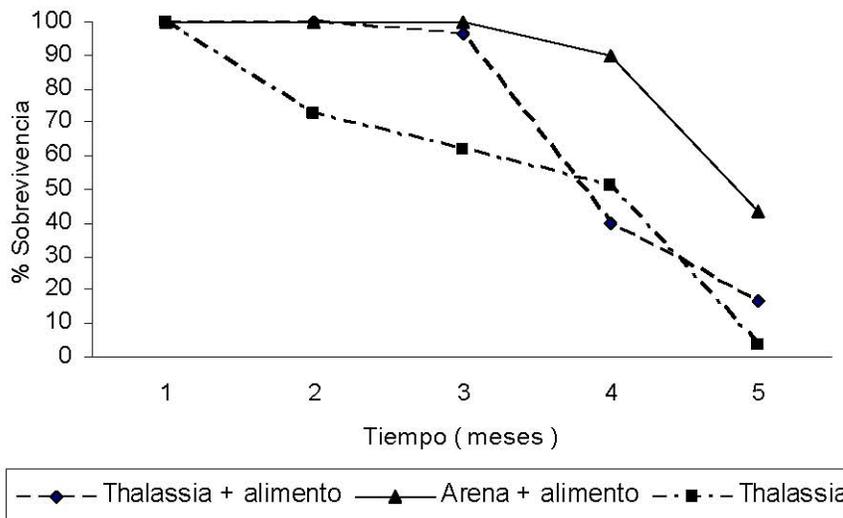


Fig. 19 .- Supervivencia de los grupos experimentales durante 5 meses de cultivo.

b) Sistema de confinamiento a escala mayor (corral).

Apoiados en los resultados preliminares obtenidos en las pruebas a pequeña escala, se escaló el sistema de confinamiento a 100 m². Para evaluar la eficiencia de este diseño se consideraron varios factores, en primer lugar el crecimiento en longitud y peso en 1000 juveniles durante un período de prueba de 5 meses de cultivo, el comportamiento de los caracoles confinados en este sistema y el aprovechamiento del alimento y espacio.

Al término de este período de prueba, el diseño del corral mostró ser totalmente inadecuado para la cría del caracol, debido principalmente a que este diseño no permitió a los juveniles aprovechar adecuadamente el alimento y espacio, provocando la acumulación de los organismos en las esquinas, lo que afectó negativamente el desarrollo de los juveniles.

El constante rompimiento en el borde de crecimiento en las conchas de los juveniles debido a las acumulaciones generadas por el diseño y el comportamiento mismo de los caracoles al estar confinados, ocasionó que la longitud de la concha al inicio y al final del experimento no mostraran diferencias significativas, (ANDEVA de una vía, F= 0.935; p> 0.001).

Pese a que no se apreció un incremento en longitud de los caracoles, el proceso de formación y regeneración de la concha se llevó a cabo durante todo el periodo de prueba, provocando un aumento en el grosor de la misma, con un incremento de 3.12 g/mes, observándose en el tiempo diferencias significativas en el peso de los juveniles, (ANDEVA de una vía, F= 6.262; p< 0.001) (Fig. 20).

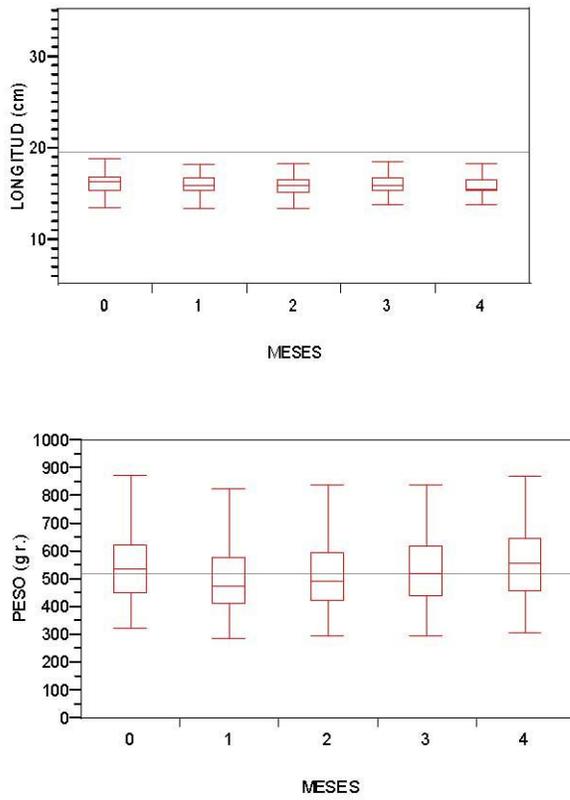


Fig. 20 .- Incrementos promedio en longitud y peso en juveniles de *S. gigas* cultivados en un corral de 100 m² .

- **Competencia**

Al escalar el sistema de confinamiento el efecto de la competencia por alimento dejó de ser importante, ya que el diseño del sistema propició que el alimento fuera desaprovechado casi en su totalidad.

• Comportamiento

El comportamiento de los juveniles no cambió al observado en los sistemas a pequeña escala, permanecieron la mayor parte del tiempo pegados a la pared del corral, desperdiciando toda el área de cultivo, así como el alimento, formando grandes acumulaciones de organismos en las esquinas del corral.

• Mortalidad

Al sellar con bolsas de arena la base del corral la mortalidad por depredación se redujo considerablemente, atribuyéndose este 26% de mortalidad registrada al final del experimento, a depredación por cangrejos ermitaños que aún logran introducirse a los sistemas de cultivo, ya sea escalando las paredes del corral o aprovechando cualquier ruptura en la malla, permaneciendo así como un problema potencial para el maricultivo de juveniles. (fig. 21).

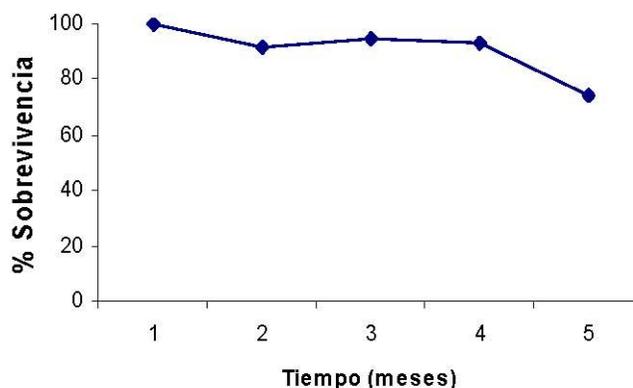


Fig. 21.- Mortalidad de juveniles de *S. gigas* cultivados en un corral de 100 m².

• Evaluación del diseño del sistema de cultivo.

- El diseño del corral mostró ser muy estable, ya que ofreció poca resistencia a la corriente y al oleaje.
- Las modificaciones realizadas como el de colocar un pedazo de malla a manera de falda para sellar con bolsas de arena la parte inferior del corral así como que éste sobresaliera de la superficie del agua, hicieron de este

corral un sistema más eficiente en el control de depredadores.

- Los inconvenientes que mostró este diseño, para la engorda del caracol juvenil, principalmente en cuanto a su forma romboidal estuvieron asociados al comportamiento de los juveniles en confinamiento, ya que tienden a desplazarse pegados a la pared del corral, originando la acumulación de los organismos en las esquinas o aristas del mismo, provocando un constante rompimiento del borde de la concha, el cual es muy frágil afectando seriamente el crecimiento de los juveniles, debido a que gran parte de su energía es utilizada en reparar y engrosar su concha.
- Por otro lado, el diseño del corral presentó el mismo problema que el de la jaula, ya que el espacio y el alimento no fue aprovechado adecuadamente, porque la parte central permaneció completamente vacía por la agregación de los caracoles en las esquinas y periferia del mismo.
- Al sobresalir el corral de la superficie del agua se dificultó el manejo y mantenimiento de los caracoles.
- Otro inconveniente fue que al quedar expuesto el corral en la superficie incursionaban en él constantemente personas ajenas al proyecto, lo que obligó a una constante vigilancia del mismo.

6.2.2. Pruebas experimentales. Efecto del hábitat, alimento y densidad de cultivo.

Una vez identificados de manera preliminar los factores que afectan significativamente el crecimiento del caracol juvenil en condiciones de confinamiento, se realizaron pruebas experimentales con el propósito de determinar el efecto de la selección del hábitat, el suministro de alimento artificial y la densidad de cultivo sobre el crecimiento de los juveniles, comparándolos con el crecimiento obtenido en juveniles cultivados en estanques semicontrolados, estos experimentos se llevaron a cabo en un período de 60 días, considerando 2 variables de respuesta: La longitud de la concha, y el peso de los organismo, utilizado como sistemas de cultivo jaulas redondas de 1m de diámetro y canaletas de fibra de vidrio.

Se presentan resultados de crecimiento en longitud y peso obtenidos en juveniles cultivados bajo diferentes tratamientos (tabla 4), en donde se puede observar que los mayores incrementos se registraron en los grupos que recibieron alimento artificial que aquellos que sólo dispusieron del alimento natural, asimismo, se observaron mayores incrementos en juveniles cultivados en el ambiente natural, especialmente sobre camas de pastos marinos, que el obtenido en juveniles cultivados en estanques semicontrolados.

Más adelante se presentan de manera detallada los resultados obtenidos para cada tratamiento.

Tabla 4. Crecimiento en juveniles de *S. gigas*, cultivados bajo diferentes tratamientos.

TRATAMIENTOS	Incremento mensual en longitud (mm).	Incremento mensual en peso (g)
Arena + alimento artificial Alta densidad (78 org/m ²)	9.8 ± 0.81	11.4 ± 0.9
Arena + alimento artificial Baja densidad (25 org/m ²)	10.5 ± 1.23	13.7 ± 1.4
Arena sin alimento artificial Alta densidad (78 org/m ²)	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.7
Arena sin alimento artificial Baja densidad (25 org/m ²)	-2.2 ± 4.1	7.3 ± 2.1
<i>Thalassia</i> + alimento artificial Baja densidad (25 org/m ²)	19.5 ± 1.1	23.5 ± 1.4
<i>Thalassia</i> sin alimento artificial Baja densidad (25 org/m ²)	3.6 ± 0.9	4.8 ± 1.1
Estanques + alimento artificial Baja densidad (22 org/m ²)	8.6 ± 0.9	8.1 ± 0.8

• **Efecto del hábitat.**

Se presentan resultados del crecimiento obtenido en juveniles cultivados sobre praderas de pastos marinos y sobre sustratos arenosos, comparados con el crecimiento obtenido en juveniles cultivados en estanques en sistemas semi-intensivos. (fig. 22)



Fig. 22 .- Selección del hábitat e instalación de las jaulas para el cultivo de juveniles.

Los resultados obtenidos en este experimento muestran que los juveniles cultivados en el ambiente natural lograron un incremento mayor en la longitud y peso, que aquellos juveniles que fueron cultivados en sistemas semicontrolados. El mayor crecimiento se obtuvo en juveniles cultivados sobre praderas de *Thalassia* sp., observándose que las diferencias obtenidas en el crecimiento de cada grupo, son estadísticamente significativas. (ANDEVA de una vía para longitud, $F= 14.1143$; $p< 0.001$) (ANDEVA de una vía para peso, $F= 128.1465$; $p< 0.001$). . (Fig. 23).

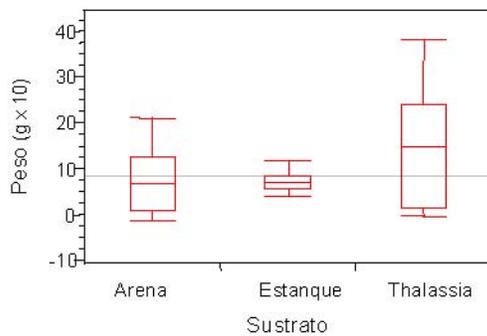


Fig. 23.- Incremento promedio en longitud y peso en juveniles cultivados en estanques y en el medio natural.

Long. (mm)
 30
 40
 50
 60
 70
 80
 90
 100
 Estanque
 Thalassia
 arena
 Sustrato

• Efecto del alimento artificial

Los resultados muestran que el suministro de alimento artificial tuvo un efecto positivo en el crecimiento de los juveniles, ya que los incrementos en peso y longitud obtenidos en los grupos que recibieron alimento artificial y aquellos que únicamente dispusieron del alimento natural, fueron significativamente diferentes (ANDEVA de una vía, $F_{\text{longitud}} = 62.9157$; $F_{\text{peso}} = 19.8834$; $p < 0.001$). (Fig. 24).

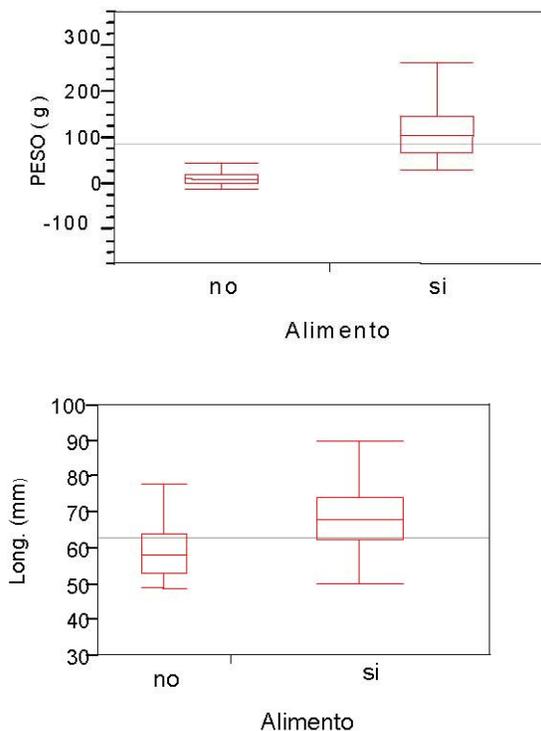


Fig. 24.- Incremento en peso y longitud en juveniles cultivados en el medio natural con y sin alimento artificial.

• **Efecto de la densidad de cultivo**

Los resultados en este experimento indican que a pesar de que se adicionó alimento complementario en los sistemas, una densidad alta en los cultivos afecta negativamente el desarrollo de los juveniles (Tabla 5), mostrando diferencias significativas en los incrementos promedio en longitud y peso obtenidos al final de esta prueba, en las diferentes densidades que se manejaron los cultivos. (ANDEVA de una vía, $F_{\text{longitud}} = 0.2956$; $F_{\text{peso}} = 43.0000$; $p < 0.001$). (fig. 25)

Tabla 5 .-Longitud inicial promedio (mm) y crecimiento en longitud de la concha (mm/mes) observado para diferentes densidades (org./m²) después de 8 semanas de cultivo.

Densidad	Tratamiento	Long. Inicial (DS)	Crecimiento (DS)
25	Arena + Alimento	60.4 ± 0.76	10.75 ± 0.81
75	Arena + Alimento	58.5 ± 0.81	9.35 ± 1.40
25	<i>Thalassia</i> + Alimento	63.05 ± 1.63	20.2 ± 0.94
75	Estanque + Alimento	57.0 ± 1.85	5.57 ± 1.15

30
40
50
60
70
80
90
100
no
si
Alimento
Long. (mm)

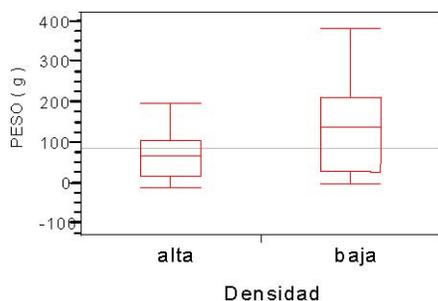


Fig. 25.- Incrementos en longitud promedio en juveniles cultivados en alta y baja densidad (75 y 25 org./ m²) respectivamente.

6.3. Diseño de un sistema sumergido para el cultivo de juveniles de caracol rosado *Strombus gigas*. Unidad de Producción Piloto (UPP)

Con base en los resultados y experiencias obtenidas en estas pruebas sobre confinamiento y manejo de caracoles juveniles en el mar, se logró obtener un diseño de sistema de cultivo que permite el manejo y la cría del caracol en el ambiente natural, considerados como Unidades de Producción Piloto (UPP)

6.3.1. Descripción del sistema:

El diseño de esta (UPP) consiste en una estructura modular de cuatro círculos concéntricos (Fig. 26). La forma circular de este diseño pretende facilitar el desplazamiento de los caracoles sin que se lleguen a formar acumulaciones, como se ha observado en las esquinas de los encierros cuadrados.

Los tres círculos interiores están pensados para un mejor aprovechamiento de la superficie de cultivo y del alimento artificial que se suministra a los organismos. De manera adicional, la disposición de estos círculos interiores nos permite el manejo de cuatro grupos de organismos de diferente tamaño o cohortes.

El círculo central está destinado para los organismos más pequeños, el cual debe ser forrado con malla de menor abertura para brindarles mayor protección. En los círculos subsecuentes, se manejarán juveniles de tallas mayores, y su tamaño ha sido diseñado con base en la densidad de cultivo que se piensa manejar en cada cohorte.

De este modo, el diseño de la UPP implica un manejo o rotación de cohortes dentro del sistema, lo cual puede ser aprovechado para programar las cosechas durante el año. El corral está diseñado para manejar una capacidad de carga de 1,200 organismos, repartidos en 300 caracoles por círculo, estimando una densidad de cultivo por círculo de acuerdo a la tabla 6.

30
40
50
60
70
80
90
100
alta
baja
Densidad
Long. (mm)

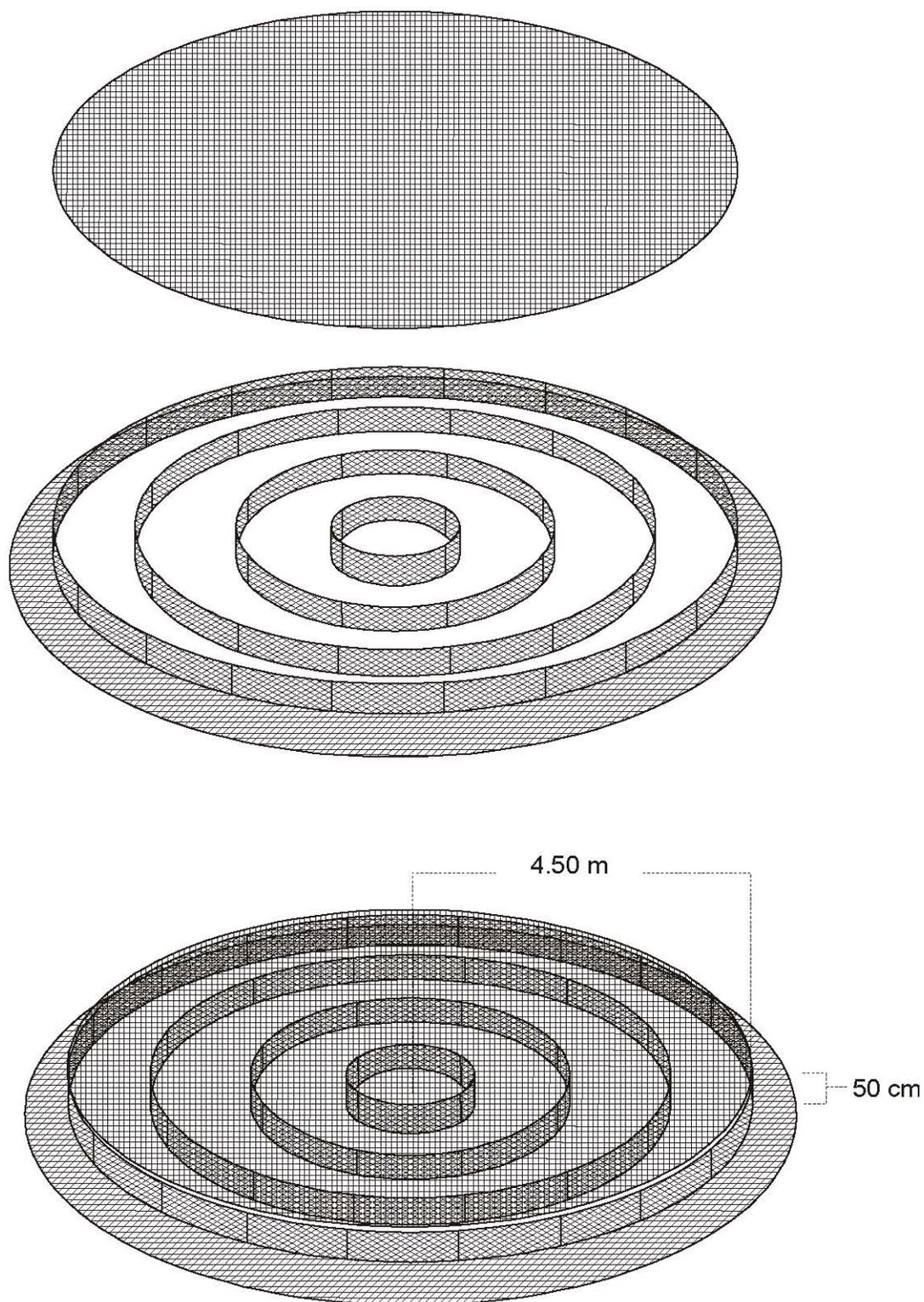


Fig. 26. Diseño de Unidad de Producción Piloto (UPP) para engorda de juveniles de caracol rosado.

Tabla 6. Dimensiones y capacidad de carga por círculo para una UPP.

Círculo	Diám.	Radio	Perím.	Superficie de cultivo	No.de org.	Den.de cultivo
1° central	3 m	1.5 m	9.4 m	7 m ²	300	40 ² org./m
2° medio	5 m	2.5 m	15.7 m	12.5 m ²	300	25 ² org./m
3° medio	7 m	3.5 m	21.9 m	18.8 m ²	300	15 ² org./m
4° exterior	9m	4.5 m	28.2 m	25.1 m ²	300	10 ² org./m

6.3.2. Construcción del sistema.

Los materiales para construir la estructura de una UPP pueden ser muy variados, desde malla galvanizada recubierta de PVC, ó materiales de fácil obtención, tubería de PVC o varillas metálicas, hasta materiales rústicos como madera de la región.

Las dimensiones propuestas para la construcción de una UPP son de 9.0 m de diámetro y 50 cm de altura, cubriendo así una superficie de cultivo de 64 m² (tabla 3). Las paredes de cada uno de los círculos deberá ir cubierta con una red con una abertura de 1 pulgada de luz de malla. Al círculo central se le colocará una malla de menor abertura o una doble malla para reducir los espacios a los depredadores. Los módulos o círculos de la UPP deberán unirse entre sí con varillas (metálicas o de madera) colocadas en forma radial dando así forma y soporte a la estructura. Una vez unidos los módulos la UPP deberá cubrirse para evitar la entrada de los depredadores, forrando la parte superior con malla de seda alquitranada o de monofilamento la cuál quedará sostenida por las varillas. La parte inferior del corral se protege mediante una franja de malla de seda alquitranada, a modo de falda; sobre la cual se colocan bolsas de arena para sellar el sistema perfectamente al fondo. Este lastre, además de impedir la entrada

de depredadores, sirve para dar estabilidad y anclaje a la estructura.

La altura de 50 cm diseñada para este sistema está pensada en facilitar su manejo y mantenimiento, así como la observación de los organismos, ya que se puede tener acceso a todo el corral al poder nadar sobre él, esto permite poder suministrar el alimento artificial en cada círculo mediante una botella plástica con tapa perforada, reduciendo la pérdida del mismo por efecto de la corriente. Por otro lado, el tener una estructura sumergida le brinda mayor estabilidad al sistema y ofrece poca resistencia al oleaje además de que no se encuentra a la vista de personas extrañas.

El peso y la forma de este diseño permite moverlo sin dificultad, facilitando la rotación de áreas, y pueden ser retirados del agua en caso de cualquier contingencia ambiental como huracanes ya que es una estructura modular que permite desmontar los círculos y manejarlos de forma independiente.

6.4. Pruebas de cultivo en prototipos de UPP.

Una vez que se obtuvo el diseño de esta UPP, fue necesario realizar pruebas sobre su funcionamiento para lo cual fue necesario construir prototipos a escala 1:20 de acuerdo a la superficie de cultivo (fig. 27). Las pruebas experimentales para determinar la eficiencia de este diseño en el cultivo de juveniles de *S. gigas*, se llevó a cabo durante un período de 60 días, considerando variables de respuesta de tipo biológico como es el crecimiento en longitud y el peso de los caracoles, su comportamiento en relación a su movimiento y distribución dentro del corral, así como variables inherentes al funcionamiento del sistema, como es el control de depredadores, aprovechamiento y pérdida de alimento por efecto directo del diseño de estos prototipos, así como su estabilidad en el mar y mantenimiento requerido.

Se procedió a la instalación de estos prototipos en el mar, seleccionando el área que de acuerdo a las pruebas realizadas previamente resultó ser más apropiada para el desarrollo de los juveniles. Para estas pruebas se trabajó con juveniles colectados del medio natural, formando 3 grupos de acuerdo a su talla, los más pequeños se colocaron en el círculo central, los medianos en el círculo intermedio y en el círculo exterior se colocaron los más grandes.

Los resultados obtenidos sirvieron para ajustar el diseño de la UPP, determinar su mantenimiento y definir la técnica para el cultivo de juveniles en sistemas sumergidos.

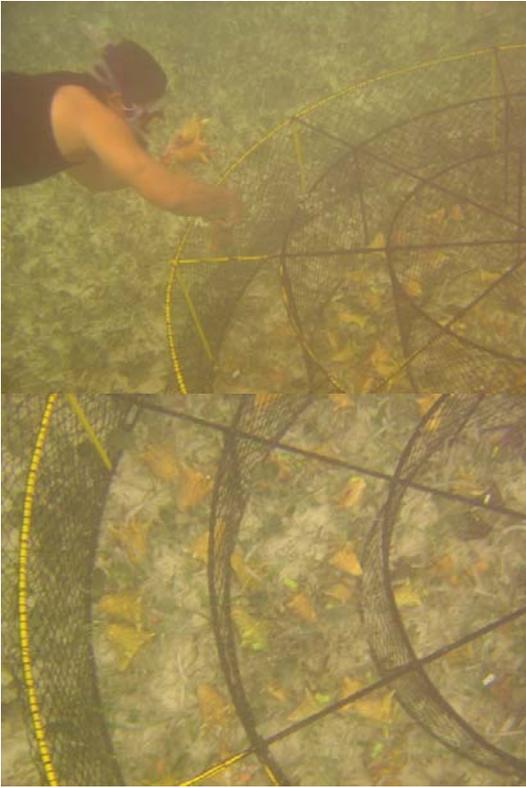


Fig. 27. Instalación del prototipo de la UPP y distribución de los juveniles.

Los resultados después de 60 días de cultivo muestran que el incremento en longitud es diferente entre cada categoría de tamaño, encontrando un mayor crecimiento en los organismos pequeños con una tasa promedio de 3.6 mm mensuales, y que los incrementos en longitud en cada grupo son significativamente diferentes (ANDEVA de una vía $F= 210.9$; $p<0.001$); mientras que en el incremento en peso no se observaron diferencias significativas para las tres categorías. (ANDEVA de una vía $F= 5.236$; $p> 0.001$. (fig.28)

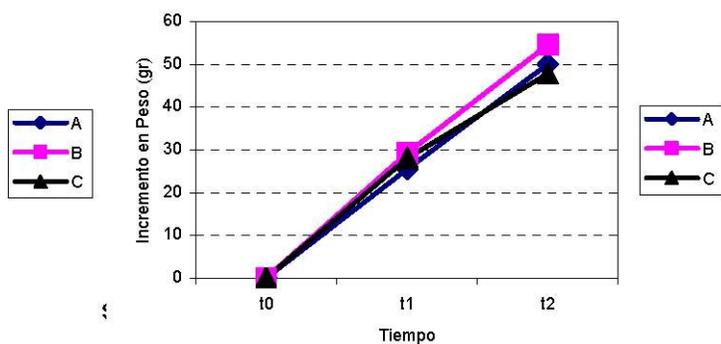
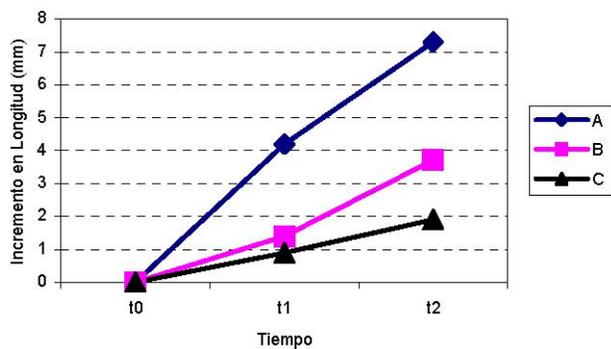


Fig. x ,. Incremento promedio en longitud y peso en tres diferentes grupos de tallas de juveniles de *S. gigas*. ^{t0t1t2Tt0t1t2}

Fig. 28.- Incrementos en Longitud y Peso en juveniles cultivados en prototipos de UPP.

Tabla 7. Valores de los incrementos promedio en longitud y peso en la gráfica.

Círculo	t0 long.prom	Err stan.	t1 long.prom	Err stan	t2 long.prom	Err stan
Central	114.347 mm	1.7822	118.520 mm	1.7210	121.640 mm	1.5063
Medio	134.560 mm	0.8411	136.027 mm	0.9413	138.280 mm	0.9650
Exterior	152.520 mm	0.8301	153.400 mm	0.8453	154.467 mm	0.7946

Círculo	t0 peso prom	Err stan.	t1 peso.prom	Err stan	t2 peso.prom	Err stan
Central	190.627 g	12.906	204.683 g	8.132	229.333 g	8.321
Medio	271.260 g	6.3292	300.620 g	6.3328	325.947 g	6.9985

Exterior	382.093 g	6.9134	410.127 g	7.0392	429.933 g	7.7445
----------	-----------	--------	-----------	--------	-----------	--------

- **Mortalidad.**

Al reducirse a cero la mortalidad por depredación, los prototipos mostraron una eficiencia del 100% en el control de depredadores y escape de los juveniles.

- **Comportamiento**

Los caracoles se mantuvieron distribuidos uniformemente en el corral durante la mayor parte del tiempo que permanecieron en estos sistemas, desplazándose dentro del círculo pegados a la malla sin llegar nunca a formar acumulaciones, gracias a que cuentan con una doble pared de malla para desplazarse dentro del círculo.

- **Evaluación del diseño del sistema de cultivo**

La altura y forma del diseño mostraron ser eficientes en el aprovechamiento del alimento y estabilidad a las corrientes. Como mantenimiento, los sistemas requieren únicamente de un cepillado ligero en la malla cada 2 semanas para evitar la fijación y crecimiento de algas. Por otro lado, durante el periodo de prueba se presentaron dos huracanes que hicieron necesaria la extracción de los prototipos así como de los organismos, mostrando ser estos sistemas de fácil recuperación en caso de contingencias ambientales.

6.5. Unidad de Producción Piloto (UPP)

Después de los resultados obtenidos en las pruebas con prototipos a escala de las UPP se procedió a construir una Unidad de Producción Piloto para engorda de juveniles de caracol rosado, de acuerdo a las especificaciones propuestas en el diseño. Esta UPP se encuentra en un periodo de prueba para evaluar el funcionamiento del sistema a escala real, y en colaboración con grupos productivos, a fin de tener una estimación de su eficiencia y rentabilidad. Actualmente esta labor se lleva a cabo conjuntamente con la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera “Cozumel”; en donde después de un periodo de cultivo de 90 días a una escala comercial se tiene una sobrevivencia del 100%.

El procedimiento para establecer una UPP puede darse a través de dos estrategias de manejo: ya sea con semillas provenientes de un Centro Productor de Semillas (cuando la técnica de producción masiva de semillas de caracol mayores de 7 cm se encuentre completamente establecida); o en caso contrario, a partir de juveniles colectados del medio natural en aquellas áreas donde aún se

cuenta con existencias silvestres y se quiere dar un manejo diferente al recurso mediante el semicultivo.

En el primer caso, cuando la UPP se abastece con semilla proveniente de un Centro Productor, se inicia con el primer módulo de la UPP, que es el círculo más pequeño, agregándose módulos conforme van creciendo los organismos y se van incorporando nuevas cohortes al sistema.

En el segundo caso, cuando el cultivo se lleva a cabo con juveniles silvestres, se debe instalar la UPP completa, y los organismos colectados se agrupan por tallas para ser colocados en el módulo correspondiente, procurando enfocar la colecta a los organismos más pequeños que sea posible encontrar en las zonas de reclutamiento, a fin de únicamente abastecer los dos primeros círculos. De este modo, se realizará una nueva colecta cuando los organismos en cultivo hayan alcanzado la talla estipulada para ser transferidos a los siguientes módulos.

La estructura de una UPP puede fabricarse con cualquiera de los siguientes materiales: PVC, madera o varilla metálica, forrado con una red de seda alquitranada con luz de malla de 1 pulgada. El borde de la estructura es sellada al fondo mediante bolsas de arena y le sirven de lastre al sistema.

Para colocar estos sistemas en el mar (Figura 29) se requiere hacer una selección del hábitat favorable para el crecimiento de los caracoles juveniles, ya que el sustrato es determinante para su desarrollo como se mencionó en párrafos anteriores. La UPP debe colocarse en lugares con poco oleaje por la estabilidad de los sedimentos, sobre fondos de arena con moderada presencia de *Thalassia* sp. y cuya profundidad no exceda los 3 metros.



Fig. 29 Instalación de una Unidad de Producción Piloto.

El mantenimiento de estos sistemas de cultivo consiste en revisar diariamente el lastre que se coloca en la 'falda' para asegurar que selle perfectamente en el fondo y así evitar la entrada de depredadores y/o salida de caracoles. Esta actividad se realiza al momento de suministrar el alimento.

El alimento que se les proporciona a los juveniles durante esta fase, es la misma dieta balanceada Tilapia Chow 30%, pulverizada e hidratada previamente, la cual se suministra en los sistemas de cultivo mediante una botella plástica con una perforación en la tapa. La cantidad de alimento no debe exceder al 2% del peso total de los organismos. La alimentación se realiza una vez al día.

En el manejo de estas jaulas, se ha estimado que se pierde aproximadamente un 20% de alimento, por efecto de la corriente y competencia con pequeños peces que se introducen a los sistemas, por lo que este porcentaje debe considerarse al pesar las raciones diarias de alimento que se van a suministrar.

Durante el manejo de los sistemas de cultivo sumergidos en el mar se recomienda rotar las áreas donde son colocados para evitar el exceso de nitrificación en las mismas.

El manejo de estos sistemas no requerir de personal especializado, su construcción puede ser con material de fácil adquisición o rústico y se reduce el mantenimiento, haciéndolos más rentables.

VII. DISCUSION

7.1. Alimentación.

La maricultura del caracol rosado es una actividad incipiente, cuya técnica de cultivo aún no se ha podido establecer a nivel comercial. Por lo tanto, a través del proceso del desarrollo de esta biotecnología de cultivo y domesticación de la especie es importante determinar la factibilidad de lograr su alimentación a través de dietas artificiales que hagan rentable el cultivo.

Uno de los principales resultados obtenidos en esta investigación fue que el cultivo de juveniles de caracol rosado puede llevarse a cabo de manera eficiente empleando como alimento la formulación fabricada comercialmente para cultivo de Tilapia. El uso de este alimento permitió obtener un incremento en la longitud total de la concha de 9 mm al mes, que es comparable a la tasa de crecimiento obtenida por Megan y Dalton (1991), quienes registraron un incremento de 3 a 9 mm al mes en esta especie, empleando como alimento cultivos de diatomeas, microalgas fraccionadas y alimentos micro-encapsulados.

De manera complementaria, y con la intención de mejorar las tasas de crecimiento del caracol en cultivo, se observó que enriquecer el alimento artificial con productos vegetales puede ser una estrategia viable para mejorar su desarrollo. Los resultados de los experimentos sobre dietas artificiales de este trabajo mostraron que existió una tendencia de mayor crecimiento en el grupo de juveniles que recibieron la dieta enriquecida con espinaca, en comparación con los otros grupos experimentales. Sin embargo, cabe mencionar que no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, probablemente porque el tiempo en el que se realizaron las pruebas resultó ser insuficiente, pero que la tasa de crecimiento obtenida fue incluso mayor a la reportada por Megan y Dalton (1991), con dietas cuya adquisición o elaboración resultan ser muy costosas haciendo incosteable su uso en la alimentación de semillas de caracol por periodos mayores de 3 a 4 meses.

Por lo tanto, estos resultados representan un avance alentador en el desarrollo de la tecnología de cultivo de caracol a nivel comercial, siendo recomendable que las pruebas sobre nutrición y crecimiento se realicen en periodos mayores a 4 meses, así como probar el efecto de enriquecer la dieta con diferentes productos vegetales, con la intención de mejorar el crecimiento utilizando materias primas que hagan más rentable el cultivo de esta especie.

Sin embargo, hay que considerar que para lograr el cultivo del caracol rosado a escala masiva será necesario llevar a cabo investigaciones dirigidas a la elaboración de una dieta específica para cubrir los requerimientos nutricionales en cada fase de desarrollo.

7.2. Sustratos.

Uno de los factores importantes a considerar durante el cultivo de caracoles en sistemas semi-controlados es el tipo de sustrato con el cual se acondicionan los criaderos.

En este sentido, las experiencias previas que se han llevado a cabo en Florida y las islas Turk y Caicos demuestran que se ha dado mayor importancia a la funcionalidad de los sistemas de cultivo que a las necesidades y requerimientos de los organismos. Tradicionalmente, los sistemas de cultivo se han acondicionado utilizando fragmentos de coral como sustrato (Megan 1994; Megan y Dalton 1991), ya que el tamaño de estos fragmentos (0.5 cm) permite el paso de los desechos metabólicos y partículas de alimento facilitando el mantenimiento y limpieza de los sistemas.

Los resultados de los experimentos sobre sustrato llevados a cabo en este trabajo demostraron la importancia de la granulometría del sedimento que se emplea como sustrato en el cultivo de semillas de caracol. Se observó que el acondicionamiento de los sistemas de cultivo con arena fina puede incrementar el crecimiento en los juveniles hasta en un 25% en relación a los otros sustratos estudiados, ya que sus características granulométricas permiten que los caracoles se entierren fácilmente favoreciendo el proceso de formación de la concha, lo que se ve reflejado en su crecimiento.

Sin embargo, este tipo de sustrato tiene la desventaja de que retiene más fácilmente partículas de alimento y desechos metabólicos, requiriendo con mayor frecuencia de un mantenimiento y limpieza de los sistemas de cultivo. El poco entendimiento que existe del efecto que pueda tener el sustrato en la formación de la concha, provoca que no se le dé la debida importancia al tipo de sedimento a utilizar cuando se acondicionan los sistemas de cultivo.

7.2.1. Efecto del sustrato en la formación de la concha.

La formación de la concha en los juveniles de caracol rosado se encuentra poco

estudiada y se desconoce en gran medida los factores que la determinan. El cultivo de juveniles en estanques que se llevó a cabo en este trabajo permitió hacer observaciones importantes sobre la manera en que se lleva a cabo este proceso, señalando que el sedimento es un factor importante para que la formación de la concha se pueda llevar a cabo adecuadamente.

En primera instancia, el sustrato debe ser el adecuado para el hábito de enterrarse que presentan los juveniles. Al analizar la forma en la que ocurre este comportamiento se observó que el sustrato de arena fina permite que los organismos se puedan enterrar más fácilmente, ofreciéndoles un medio protector tanto para formar su concha como para ocultarse de los depredadores; esto explica en parte el por que los juveniles permanecen enterrados en la arena la mayor parte del tiempo durante su primer año de vida (Goodwin 1983; Stoner y Waite 1990; Marshall y Lipcius 1992, 1996).

Por otro lado, el sedimento fino se adhiere mejor al material gelatinoso que se secreta en el borde del labio para la formación de la concha, de modo que otorga protección al material recién depositado durante el proceso de cristalización.

Sin embargo, los experimentos que se realizaron en este estudio no estuvieron enfocados a conocer la manera en la que se lleva a cabo la formación de la concha. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo investigaciones para entender mejor este proceso, y poder aplicar ese conocimiento para mejorar los cultivos y proveer a los juveniles de los elementos necesarios para su adecuado desarrollo.

7.3. Manejo de sistemas sumergidos en el mar

Durante el desarrollo de las investigaciones que se llevaron a cabo en la primera etapa de este estudio se logró mejorar el manejo de semillas de *S. gigas* llevándolas de 25 mm hasta una talla de 70 mm de longitud total. Esta talla es cercana a los 80 mm que señalan Appeldoorn y Rodríguez (1994) como límite en donde los juveniles han desarrollado las defensas necesarias para continuar su cultivo en el mar con mejores posibilidades; sin dejar de considerar que aún existen muchos factores que son necesarios resolver antes de poder engordar estas semillas en el ambiente natural.

Por lo tanto, la segunda etapa de esta investigación estuvo enfocada a identificar los problemas potenciales que se pudieran presentar al mantener en confinamiento juveniles de caracol en el medio natural, tales como la depredación, la alimentación y sobre todo contar con un sistema de cultivo que permita un manejo adecuado de los organismos.

7.3.1. Pruebas piloto en sistemas de confinamiento en el mar.

El propósito de estas pruebas fue identificar de manera preliminar o cualitativa la problemática que es necesario resolver cuando se incursiona por primera vez en

el maricultivo de esta especie. Al inicio se abordaron aspectos básicos como el tipo de encierro a utilizar y la selección del hábitat para colocar los sistemas de cultivo; se eligieron zonas de arena y praderas de *Thalassia* que son el hábitat natural del caracol esperando encontrar diferencias en el desarrollo de los juveniles, sin embargo, en esta prueba la diferencia observada en el crecimiento de los juveniles se debió al efecto causado por el alimento artificial adicionado a los sistemas de cultivo independientemente del ambiente en que se encontraban instalados.

El no adicionar alimento complementario provoca que la disponibilidad de alimento natural en los sistemas de cultivo en poco tiempo represente un factor limitante para el crecimiento de los juveniles, disponiendo únicamente de una cantidad de alimento suficiente sólo para mantenerse con vida.

- **Depredación**

En estas pruebas piloto fue posible dimensionar la presión que ejercen los depredadores sobre los juveniles de caracol, considerándose como la principal causa de mortalidad, coincidiendo con Appeldorn (1987), Sidall (1983), Dalton (1994), Marshall y Lipcius (1996), que señalan una gran variedad de organismos entre peces, crustáceos, moluscos, reptiles, etc. que se alimentan de caracol especialmente de sus primeras etapas de desarrollo. Con el empleo de jaulas y corrales para el confinamiento y protección de los juveniles se redujo en primer término el número de especies depredadoras, incidiendo en los sistemas de cultivo únicamente dos especies de cangrejos ermitaño *Pterochirus diógenes* y *Paguristes erythrops* y el pulpo *Octopus vulgaris*, ambas muy agresivas que con las modificaciones realizadas a los sistemas de cultivo se han logrado controlar casi en su totalidad.

- **Competencia.**

El hecho de suministrar alimento en estos sistemas sumergidos genera una relación de competencia con pequeños peces que logran introducirse a los sistemas de cultivo, los cuales compiten con ventaja con el caracol debido a la lentitud y hábitos bentónicos de éste, por lo que en el futuro al hacer las estimaciones sobre el índice de conversión y rendimiento del alimento, es importante tener en cuenta este factor.

- **Comportamiento.**

Al mantener al caracol en sistemas de confinamiento su comportamiento es como el descrito por Appeldoorn (1989), el de permanecer la mayor parte del tiempo

pegados a las paredes de la malla, desplazándose siempre cercanos a las mismas. Este comportamiento ocasionó que en los sistemas de cultivo rectangulares utilizados en estas pruebas preliminares, los organismos formaran acumulaciones en las esquinas y no se aprovechara de manera eficiente el espacio y alimento en la parte central.

- **Evaluación de los sistemas de cultivo.**

En lo que se refiere a los sistemas de cultivo, los primeros diseños utilizados mostraron muchas deficiencias como fue su poca estabilidad en el agua ya que la mayoría tuvieron que ser lastrados para evitar su movimiento. Por otro lado, aunque la mortalidad se redujo considerablemente, no se logró controlar al 100% la acción de los depredadores, así como el espacio y alimento no fueron aprovechados íntegramente debido al comportamiento de los caracoles. El contar con un sistema de confinamiento confiable representa una gran ventaja para desarrollar el maricultivo del caracol, a diferencia de lo que se presenta en las islas Turk y Caicos en donde depredadores como el cangrejo ermitaño logran escalar la cerca en donde se encuentra confinado el caracol permaneciendo actualmente como un problema potencial para el cultivo. (Dalton,1994).

7.3.2. Pruebas experimentales (efecto del hábitat, alimento y densidad de cultivo).

Una vez que fueron identificados de manera cualitativa los problemas potenciales que afectan en el mar a los juveniles en cultivo, fue necesario realizar pruebas que permitieran determinar de manera cuantitativa aquellos parámetros que son fundamentales para sentar las bases en la generación de una biotecnología para el cultivo del caracol.

- **Efecto del hábitat**

El plantear el cultivo de caracol en el mar utilizando sistemas de cultivo sumergidos nos permite elegir el ambiente más adecuado para instalar estos sistemas y no depender de áreas naturales susceptibles de ser cercadas por ejemplo caletas y ensenadas como ocurre en otras partes del Caribe (Creswell y Davis,1991; Davis,1994; Dalton,1994). Es importante seleccionar el hábitat que reúna las condiciones necesarias para un adecuado desarrollo de los juveniles; las investigaciones en este sentido nos permitieron determinar que los fondos arenosos con moderada presencia de *Thalassia* sp. son el hábitat más propicio para la instalación de los sistemas de cultivo, ya que combina dos características importantes, la arena que permite el enterramiento de los caracoles favoreciendo así la formación de la concha y los pastos marinos en cuyas superficies se fijan diferentes especies de diatomeas que constituyen el alimento natural del caracol, asimismo, la estructura de los pastos representan trampas de retención para el

alimento artificial.

- **Efecto del alimento**

Al mantener caracoles en sistemas de confinamiento en el mar, éstos consumen rápidamente el alimento natural disponible en el área cercada, por lo que hay que adicionar necesariamente alimento complementario a fin de no afectar su crecimiento. En algunos países del Caribe como Puerto Rico, Venezuela y las islas Turk y Caicos, este problema es resuelto cercando grandes áreas naturales de 3 a 4 km para asegurar una cantidad suficiente de alimento natural para los caracoles, sin sobre pasar la capacidad de carga de estas áreas naturales (Appeldoorn, 1989; Dalton, 1994; Davis, 1994).

Con el empleo de dietas artificiales se logró optimizar el uso de estas áreas naturales, al permitir adicionar alimento complementario a sistemas de cultivo que cubren superficies considerablemente menores a las antes mencionadas, aumentando así la eficiencia en el cultivo de esta especie. La importancia de adicionar alimento complementario, se pudo confirmar al obtener un crecimiento de los juveniles significativamente mayor que el de aquellos que tuvieron disponible únicamente alimento natural.

Es importante mencionar que estas dietas artificiales además de servir como alimento, sirven como fertilizante para el desarrollo de microalgas epifitas que son el alimento natural del caracol, por lo que las tasas de crecimiento obtenidas en estos sistemas de cultivo fueron mayores inclusive que la de los juveniles que fueron cultivados en estanques semicontrolados. Esto nos permiten pensar en las ventajas que se pueden obtener al poder manejar las semillas de caracol en el mar con mayores rendimientos que en sistemas de estanquería, lo cual significa un ahorro sustancial en gastos de energía e infraestructura haciendo más rentable el cultivo de esta especie.

- **Efecto de la densidad de cultivo.**

El efecto que la densidad de cultivo puede tener en el crecimiento de los organismos fue un aspecto importante a considerar para el diseño de la Unidad de Producción Piloto (UPP), ya que es necesario determinar la capacidad de carga del sistema de cultivo que permita lograr su máximo rendimiento. En este sentido, los experimentos que se llevaron a cabo en esta investigación estuvieron enfocados a determinar los límites de sobrecarga de los sistemas, más que a definir densidades óptimas de cultivo.

La tasa de crecimiento que se obtuvo en los tratamientos con altas densidades (75 org./m² para juveniles de 60 mm) fue superior a lo reportado por otros autores, incluso para tallas más pequeñas (Appeldoorn e Ilse, 1984; Davis y Dalton, 1991),

a pesar de que tales densidades se consideraron *a priori* como sobrecarga del cultivo en base a la experiencia previa y a las pruebas preliminares (Tabla 7).

La densidad de cultivo parece tener un mayor efecto en el crecimiento de los juveniles en estanques que sobre los cultivados en el mar, ya que al manejar cultivos con alta densidad en el mar se logra un crecimiento de casi el doble que cuando se manejan en estanques. Esto puede deberse a que los estanques son sistemas cerrados, que al tener una sobrecarga de organismos se reduce la disponibilidad de alimento. En contraste, en el ambiente marino el caracol puede tener acceso a su dieta natural, de modo que el alimento artificial que se suministra representa un complemento a su nutrición, teniendo así alimento de mejor calidad y en mayor cantidad, lo cual se refleja en un mayor rendimiento de los sistemas de cultivo.

Al disminuir la densidad de cultivo en sistemas marinos (25 org./m²) las tasas de crecimiento aumentaron en un 13%, siendo este incremento considerablemente mayor (aprox. 100%) cuando los sistemas de cultivo son colocados sobre ambientes como praderas de pastos marinos (Tabla 7). Esto demuestra la importancia de la presencia de pastos marinos en los sistemas de cultivo, por su acción de retener el alimento por más tiempo, además de que ofrecen mayor superficie de fijación para microalgas epifitas, las cuales son el alimento natural de caracol. Estas ventajas ambientales deben ser consideradas durante la selección del hábitat para instalar sistemas de cultivo, con la intención de obtener un máximo rendimiento en estos sistemas de cultivo.

Las densidades de cultivo manejadas en esta investigación nos permitieron observar que para sistemas marinos estamos aún dentro de un intervalo en el que el crecimiento de los juveniles es bastante aceptable, y que para determinar la capacidad de carga de los sistemas de cultivo es necesario experimentar con diferentes densidades superiores a este intervalo, tomando en cuenta factores de tipo ambiental y la calidad del alimento.

Por otro lado, es importante correlacionar la capacidad de carga del sistema con estimaciones de rendimiento del mismo en base a tiempo de cosecha, conversión alimenticia y rendimiento de pulpa, para poder determinar densidades de cultivo óptimas. Por este motivo, en la parte final de esta investigación se consideró un valor intermedio (40 org./m²) como densidad de cultivo para iniciar el periodo de prueba sobre el funcionamiento de la UPP para esta talla de organismos.

Tabla 7.- Longitud inicial promedio (mm) y crecimiento en longitud de la concha (mm/mes) en varios estudios para diferentes densidades (org./m²).

Densidad	Tratamiento	Long. Inicial (±DE)	Crecimiento (±DE)	Referencia
----------	-------------	---------------------	-------------------	------------

7	Estanque + microalgas + microencapsulados	50.0 ± 2.85	9.7 ± 1.75	Davis y Dalton, 1991
25	Estanque + Macroalga <i>Acanthophora spicifera</i>	23.0 ± 2.33	8.4 ± 3.18	Appeldoorn, 1984
25	Arena + Alimento artificial	60.4 ± 0.76	10.7 ± 0.81	Este estudio
25	<i>Thalassia</i> + Alimento artificial	63.05 ± 1.63	20.2 ± 0.94	Este estudio
75	Arena + Alimento artificial	58.5 ± 0.81	9.3 ± 1.40	Este estudio
75	Estanque + Alimento artificial	57.0 ± 1.85	5.5 ± 1.15	Este estudio
80	Estanque + <i>Acanthophora spicifera</i>	25.0 ± 3.15	4.1 ± 2.85	Appeldoorn, 1984

7.3.3. Diseño de una UPP.

Los ajustes y modificaciones que fueron necesarias realizar a las jaulas y corrales utilizados a lo largo de esta investigación dieron como resultado el diseño de un sistema de cultivo que permite el manejo y engorda del caracol juvenil en el mar, denominado Unidad de Producción Piloto (UPP)

Las características de este diseño están basadas en la problemática tanto de tipo biológico como ambientales identificados en esta investigación, y en la experiencia obtenida en el manejo de estos encierros durante los 3 años que duró este proyecto. Contempla aspectos como el comportamiento de los caracoles, las estrategias de los depredadores para introducirse a los sistemas. Por otro lado, el diseño considera los efectos de la corriente y el oleaje así como el aprovechamiento del espacio y el alimento.

• Descripción del sistema.

La, UPP es un sistema de cultivo sumergido, que considera una estructura de forma circular a fin de que los organismos puedan desplazarse libremente sin que lleguen a formar acumulaciones para aprovechar de manera eficiente el espacio y el alimento, esta estructura consta de divisiones concéntricas las cuales permiten distribuir a los organismos de manera más homogénea en toda la superficie de cultivo. Este diseño permite contrarrestar la acción de los depredadores ya que su estructura esta cubierta completamente de malla y sellados sus bordes perfectamente al fondo marino. La altura de estos sistemas de cultivo no excede los 50 cm para amortiguar los efectos de la corriente y el oleaje, reduciendo la pérdida de alimento por arrastre de la corriente al poderlo aplicar cercano al fondo. Esta altura facilita su observación y mantenimiento al poderlo recorrer nadando directamente sobre el.

• Construcción del sistema.

La construcción de una UPP descrita en este trabajo y la variedad de materiales que se pueden emplear, permite que cualquier persona pueda participar en esta actividad, ya que su construcción, armado y operación constituyen una tecnología simple de bajos requerimientos tecnológicos y económicos dirigida para que pueda ser adoptada por pescadores sin requerir de personal especializado.

7.3.4. Pruebas en prototipos de UPP.

Las pruebas de funcionamiento de estas UPP realizadas en prototipos a escala demostraron que estos sistemas de confinamiento, son adecuados para el cultivo y manejo de juveniles de *S. gigas*, ya que se logra una distribución homogénea de los organismos en la superficie de cultivo lo que permite aprovechar más adecuadamente el espacio y el alimento. Otro aspecto importante es que con estos sistemas de cultivo se logro contrarrestar casi en su totalidad la acción de los depredadores aumentando las expectativas de éxito en el cultivo ya que son la principal causa de mortalidad. Por otro lado, el diseño confiere a la estructura una mayor estabilidad al efecto de la corriente y facilita su manejo y mantenimiento.

7.3.5. UPP.

El iniciar un cultivo en una entidad en que la acuicultura es una actividad incipiente y la maricultura no existe, los factores de riesgo son muy grandes especialmente cuando la especie a cultivar es una especie silvestre. Además se tiene un sector pesquero con una cultura esencialmente extractiva de los recursos, lo cuál hace necesario involucrar a los grupos productivos en estas investigaciones y trabajar estrechamente con ellos. Esto permitirá crear conciencia y generar una visión diferente para adoptar nuevas estrategias de aprovechamiento y sustentabilidad de sus recursos, promoviendo la maricultura mediante una tecnología simple que no involucre grandes inversiones.

Actualmente esta UPP se encuentra instalada en la costa sur del estado en un período de prueba para evaluar su eficiencia y rentabilidad a una escala comercial en colaboración con la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera "Cozumel"

VIII. CONCLUSIONES:

- El empleo de dietas artificiales permitió mejorar el crecimiento del caracol juvenil en cultivos masivos, tanto en sistemas semicontrolados a la intemperie como en sistemas sumergidos en el mar. El enriquecimiento de estas formulaciones comerciales con productos vegetales como la espinaca, incrementan la tasa de crecimiento de los juveniles en cultivo.
- En el caso del cultivo de semillas de caracol en sistemas semicontrolados la sustitución de los alimentos utilizados en laboratorio para el primer estadio (microencapsulados y cultivos de microalgas fragmentadas) por dietas artificiales permite reducir considerablemente los costos de producción, haciendo más fácil el manejo de los sistemas. De esta manera, la producción de de semillas aptas para su cultivo en el mar puede ser económicamente viable.
- La dieta artificial para Tilapia puede servir para alimentar a los juveniles en cultivo en tanto no se cuente con una dieta elaborada específicamente para caracol.
- La arena fina es un sustrato adecuado para acondicionar los criaderos en donde se cultivarán las semillas de caracol, ya que el tamaño de partícula de este sedimento permite que los juveniles se entierren fácilmente favoreciendo el proceso de formación de su concha, mejorando así las tasas de crecimiento en los caracoles.
- Una vez que los juveniles han alcanzado la talla de 6 – 7 cm en sistemas de cultivo semicontrolados es necesario comercializarlos o destinarlos al maricultivo, ya que sus requerimientos de espacio e infraestructura aumentan haciendo incosteable su mantenimiento.
- El ambiente más apropiado para desarrollar el maricultivo del caracol juvenil, son áreas someras cuya profundidad no exceda los 3 metros, con poco oleaje por la estabilidad de los sedimentos; los fondos arenosos con moderada presencia de *Thalassia* sp. constituyen el hábitat más adecuado para la instalación de los sistemas de cultivo, ya que reúne las condiciones necesarias para el desarrollo de los juveniles, cuyas características son similares a las áreas naturales de crecimiento del caracol después de su

primer año de vida.

- El cultivo de juveniles en el mar requiere del suministro de alimento complementario, ya que el alimento natural es consumido rápidamente convirtiéndose en un factor limitante para su desarrollo. Las dietas artificiales utilizadas para este fin mostraron un efecto positivo en el desarrollo de los juveniles. El empleo de estas dietas para alimentación del caracol tuvo una mayor eficiencia en el medio natural que en estanques semicontrolados.
- La densidad manejada en los cultivos es determinante en el crecimiento de los juveniles, aunque en este trabajo las investigaciones no fueron dirigidas a determinar la densidad óptima de cultivo, se pudo observar que el sobrecargar los sistemas manejando densidades altas (75 org/m^2) afecta el desarrollo de los juveniles reduciendo su tasa de crecimiento hasta en un 20%.
- Durante las pruebas de cultivo que se realizaron por un período de 3 años no se presentó ningún tipo de enfermedad en los juveniles, siendo la principal causa de mortalidad la depredación.
- El caracol en cautiverio muestra un comportamiento de mantenerse pegado a las paredes de la malla, que cuando no se cuenta con un sistema de confinamiento adecuado, puede llegar a formar acumulaciones que generan estrés en los organismos y puede llegar a causar su muerte por inanición.
- Cuando el caracol es mantenido en confinamiento, es necesario agregar alimento complementario. La dieta artificial que se adiciona para complementar la alimentación de los juveniles, se ve disminuida por efecto de la competencia que ejercen pequeños peces que se introducen a los sistemas de cultivo y por arrastre de la corriente, por lo que esta merma se debe considerar al suministrar las raciones diarias de alimento.
- Se propone un sistema de cultivo sumergido en el mar (UPP) cuyo diseño permite el confinamiento, alimentación y manejo adecuado de juveniles mayores de 7 cm, hasta tallas comercialmente aceptables.
- Las pruebas realizadas con prototipos a escala 1: 20 de estas UPP permiten determinar que estos sistemas de cultivo son adecuados para el manejo de juveniles de *S. gigas*, ya que se logra el control de los depredadores, amortigua los efectos causados por el comportamiento en cautiverio de los caracoles y se optimiza el aprovechamiento de espacio y alimento.

- El maricultivo del caracol juvenil es factible al contar con un alimento artificial que es aprovechado por los organismos y con un sistema de cultivo seguro para los caracoles.
- A pesar de que en el estado de Quintana Roo la acuicultura es una actividad incipiente, la transferencia de esta tecnología ha sido recibida con interés y entusiasmo por parte de los usuarios del recurso, que están conscientes del deterioro en que se encuentra la pesquería del caracol y la necesidad de adoptar nuevas estrategias de manejo y aprovechamiento de los recursos.

IX. RECOMENDACIONES:

Es importante reforzar las investigaciones sobre biotecnología de alimentos a fin de elaborar una dieta que cubra los requerimientos nutricionales específicos del caracol en sus diferentes etapas de su desarrollo.

Otro factor que debe ser considerado al suministrar alimentos artificiales enriquecidos en cultivos marinos es el uso de ligantes, lo cual confiere mayor estabilidad al alimento haciéndolo más disponible para los organismos y evitar pérdida por arrastre de la corriente. Es necesario determinar rendimiento en cultivos marinos de producción masiva, índice de conversión y costos de producción del alimento, para evaluar la viabilidad técnica y económica del maricultivo de esta especie.

A pesar de que la arena fina mostró ser un medio adecuado para el desarrollo de los juveniles, su empleo se recomienda para cultivos a pequeña escala con fines demostrativos o de investigación. Para cultivos a escala comercial de caracol juvenil, en donde la eficiencia en el manejo de los sistemas de cultivo es fundamental, se recomienda el empleo de arena media como sustrato, ya que además de facilitar su mantenimiento y limpieza, se obtienen crecimientos aceptables en los juveniles.

En tanto no se cuente con una tecnología confiable para la producción masiva de semillas de caracol, se propone el aprovechamiento de la población juvenil previo un estudio poblacional que evalúe el impacto y factibilidad de una extracción de esta fracción de la población, bajo el siguiente esquema de manejo: extraer una fracción de la población juvenil de zonas de reclutamiento que es donde se registra la mayor tasa de mortalidad (Appeldoorn, 1985), y llevarlos a tallas comercialmente aceptables mediante técnicas de semicultivo; de esta manera se pueden plantear estrategias que contribuyan a la recuperación de las poblaciones naturales, como es el de detener la extracción comercial por un período de por lo menos 3 años para dar un descanso al stock reproductor, por otro lado, mediante programas de repoblamiento debidamente estructurados, devolver al ambiente

natural organismos con tallas cercanas a la madurez sexual provenientes de semicultivo cuyas posibilidades de sobrevivencia son mayores.

X. REFERENCIAS:

Appeldoorn, S. R. (1984). "The effect of size in mortality of small juvenile conchs (*Strombus gigas* Linné and *Strombus costatus* Gmelin)." Journal of Shellfish Research 4(1): 37-43.

Appeldoorn, S. R. and M. S. Ilse (1984). "Quantification of the density-growth relationship in hatchery-reared juvenile conchs (*Strombus gigas* Linné and *S. costatus* Gmelin)." Journal of Shellfish Research 4(1): 63-66.

Appeldoorn, S. R. (1985). "Growth, mortality and dispersion of juvenile, laboratory-reared conchs, *Strombus gigas* and *S. costatus*, released at an offshore site." Bulletin of marine science 37(3): 783-793.

Appeldoorn, S. R. (1989). "Growth of juvenile Queen Conch, *Strombus gigas* L., off La Parguera, Puerto Rico." 1-17.

Basurto M., P. Cadena., G. Escobedo. 2005. Evaluación de la población de *Strombus gigas* en los bancos de Cozumel y Chinchorro y recomendaciones para su aprovechamiento sustentable. Dictamen Técnico INP –SAGARPA p: 589 - 610 [en red: <http://www.inp.sagarpa.gob.mx/Dictámenes/2006/caracol/pdf>]

Brownell .M., Stevely. J. (1981). "The biology, fishery and management of the queen conch *Strombus gigas*. 43 (7).

Cruz Santabalbina, J. R. 1986. Diagnósis de la pesquería del caracol marino *Strombus gigas* linnaeus (1758) y alternativas para el resurgimiento de sus poblaciones en Quintana Roo México.

Collado- Vides, L., I. Ortegón- Aznar, A. Sentíes- Granados, L. Comba- Barrera y J. González. 1998. Macroalgae of Puerto Morelos Reef. System, Mexican Caribbean. *Hidrobiológica* 8(2): 133- 143.

Creswell, R.J. y M.Davis. 1991. Culture of the queen conch. *World aquaculture*. 2(1).

Creswell, L. 1984. Queen conch mariculture in the Caribbean region and its potential for Bermuda. En: Sleeter, T. (Ed.). Assessment of the potential for aquaculture in Bermuda, p. 133-143. Bermuda Biol. Sta., Spec. Publ. No. 27.

Dalton A. 1994. Mariculture of the Queen Conch (*Strombus gigas* L.): development

- of nursery and growout techniques. Queen Conch Biology, Fisheries and Mariculture. Fundación Científica Los Roques, Caracas. Venezuela: 253 – 260.
- Davis, M. y Hesse, C. 1983. 3th. world level conch mariculture in the Turk and Caicos Islands. Proc. Gulf Carib. Fish. Inst. 35:73-82.
- Davis, M., Mithchell, B.A. y Brown, J.L. 1984. Breeding behavior of the queen conch *Strombus gigas* Linné held in a natural enclosed habitat. J. Shellfish. Res.
- Davis, M., Hesse, C. y Hodgkins, G. 1987. Commercial hatchery produced queen conch, *Strombus gigas*, seed for the research and grow-out market. Proc. Gulf Carib. Fish. Inst. 38:326-335.
- Davis, M. y Dalton, A. 1991. New large-scale culturing techniques for *Strombus gigas* post larvae in the Turks and Caicos Islands. Proc. Gulf Carib. Fish. Inst. 40:257-266.
- Davis, M., Dalton, A. y Higgs, P. 1992. Recent development in conch mariculture in the Turks and Caicos Islans. Proc. Gulf Carib. Fish. Inst. 42:397-402.-
- Davis, M. (1992). "Predation of Hatchery-reared Juvenile Queen Conch, *Strombus gigas*, by Juvenile Spiny Lobsters, *Panulirus argus*." Proceedings of the 45th Gulf and Caribbean Fisheries Institute.
- Davis, M. 1994. Mariculture techniques for Queen conch (*Strombus gigas* L.): Egg mass to juvenile stage 231-252. En: Appeldoorn, R. S. y Rodriguez, B. (Eds). Queen Conch Biology, Fisheries and Mariculture. Fundación Científica Los Roques, Caracas. Venezuela.
- Davis, M. 1994. Mariculture techniques for queen conch (*Strombus gigas* L.): egg mass to juvenile stage. En Appeldoorn, R. S. y B. Rodríguez Q. (Eds.) Queen conch biology, fisheries and mariculture, p. 231-252. Fundación Científica Los Roques, Caracas, Venezuela.
- Davis, M. (1994). "Mariculture Techniques for Queen Conch (*Strombus gigas* L.): Eggmass to Juvenile Stage." Queen Conch Biology, Fisheries and Mariculture. Fundación Científica Los Roques, Caracas, Venezuela.: 231-250.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM.
- Lipcius, N. R., W. A. Stoner, et al. (1991). "Mass Migration of Juvenile Queen

- Conch, *Strombus gigas*, in the Bahamas." 1-4.
- McCarthy, J. K., A. R. Glazer, et al. "Influence of Grow-out Density and nursery System on Growth of juvenile Queen Conch, *Strombus gigas*." Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute.
- Marshall, S. L. and N. R. Lipcius (1996). "Abundance and Distribution Patterns of Epidenthic Predators Relative to Juvenile Queen Conch Patch Densities." 1-3.
- Marshall, S. L., N. R. Lipcius, et al. (1992). "Comparison of Mortality rates of Hatchery-Reared and Wild Juvenile Queen Conch in Natural Habitats." Proceedings of the 41st Gulf and Caribbean Fisheries Institute: 445-446.
- Marshall, S. L. and N. R. Lipcius (1992). "Density-Dependent Mortality of Juvenile Queen Conch and the Role of Predator Aggregation." Proceedings of the 41st Gulf and Caribbean Fisheries Institute: 150-151.
- Martínez, D. 1990. Utilización de un alimento balanceado en el cultivo masivo de juveniles de caracol *Strombus gigas*. VIII Congreso de Oceanografía. Mazatlán, Sin. México. p: 127 - 132
- Martínez, D. 1998. Distribución y abundancia de las poblaciones del caracol rosado *Strombus gigas* en la isla de Cozumel, Quintana Roo. Tesis de licenciatura UNAM. P: 1 – 54.
- Merino, M. y L. Otero, 1991. Atlas Ambiental Costero, Puerto Morelos, Quintana Roo. Centro de Investigaciones de Quintana Roo, Chetumal. 80 p.
- Ogawa, J. y Coral. J.L. 1986. Ensayo de la fijación de semilla del caracol reina *Strombus gigas* y su crecimiento inicial en un sistema de producción masivo. Proc. Gulf Carib. Fish. Inst. 38:362-369.
- Padilla C, Martínez D. Fanjul R. Cadena P. 2005. Optimización de técnicas para el cultivo del caracol rosado *Strombus gigas* hasta talla comercial. Informe de investigación CONACYT – SAGARPA. p: 1 - 32
- Ray, M., W. A. Stoner, et al. (1994). "Size-specific predation of juvenile conch *Strombus gigas*: implications for Stock Enhancement." Aquaculture **128**: 79-88.
- Siddall, S.E. 1983. Biological and economic outlook for hatchery production of juvenile queen conch. Proc. Gulf. Carib. Fish. Inst. 35:46-52.
- Stoner, W. A. and V. Sandt (1988). "Transplanting as a test procedure before large-scale outplanting of juvenile Queen Conch." Aquaculture. **12**: 227 – 234.

Stoner, W. A. and V. Sandt (1991). "experimental Analysis of habitat Quality for juvenile Queen Conch in Seagrass Meadows." Fishery Bulletin **89**: 693-700.

Stoner, W. A. and V. Sandt (1993). "Ontogenetic shift in habitat by early juvenile queen conch, *Strombus gigas*: Patterns and Potential Mechanisms." Fishery Bulletin **91**: 516-525.

Stoner, W. A., J. Lin, et al. (1995). "Relationships between seagrass bed characteristics and juvenile Queen Conch (*Strombus gigas* Linne) abundance in the Bahamas." Journal of Shellfish Research **14**(2): 315-323.

Wentworth, C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. J. Geol. 30: 337 – 392.