

8. Determinación a escala piloto de la máxima densidad en la producción de camarón *Penaeus vannamei* que permita que las descargas de sólidos suspendidos se mantengan dentro del margen aceptable a nivel Nacional.

F. Díaz, C. Escobar, M. Flores y N. Amaya, Departamento de Ingeniería y Ciencias Ambientales-UCA

Resumen

En el presente estudio se ha realizado una réplica a escala piloto del proceso de cultivo que se lleva a cabo en la Bahía de Jiquilisco, realizado por la Asociación Cooperativa "El Torno", y el objetivo es determinar mediante el manejo de diferentes densidades, cuál de éstas presenta el mejor desarrollo, alcanzando el mejor peso y talla y que en la obtención de dichas características las áreas naturales no se vean afectadas por las descargas de los efluentes residuales provenientes de la cosecha. Se realizó el montaje experimental utilizando tres densidades de siembra diferentes (12, 18 y 24 camarones por metro cuadrado) para establecer, según las condiciones a las que se llevó a cabo el experimento, cuál de las densidades es la que cumple con el objetivo. Durante el desarrollo del cultivo se monitorearon diariamente variables como temperatura, pH, salinidad, turbidez y oxígeno disuelto pues son variables que intervienen en el crecimiento adecuado de los camarones, también se tomaron muestras de agua para ser analizadas y determinar amonio, nitrógeno orgánico, fósforo, sólidos suspendidos y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) durante el cultivo y para la descarga final del efluente, así observar si afectaron negativamente en el crecimiento del camarón y evaluar si no sobrepasan los límites permisibles definidos en normativas para aguas de descarga vigentes en el país como lo es la Norma nacional de CONACYT y también la norma sugerida por la Alianza para la Acuicultura Global GAA. Los resultados obtenidos mostraron que todas las densidades de siembra cumplieron con las normativas especificadas, exceptuando la de 24 camarones por metro cuadrado que no cumplió la norma GAA objetivo. Luego fue necesario considerar que estanque tuvo el mayor rendimiento en su cosecha, siendo los estanques 1 y 2 los que demostraron mejores resultados, correspondiendo a densidades de 12 y 18 individuos por metro cuadrado.

Palabras claves

Densidad de siembra, descarga de efluentes, *Penaeus vannamei*, sólidos suspendidos.

I. INTRODUCCIÓN

El camarón marino *Penaeus vannamei* es una especie nativa de Centro y Sur América y del Este del Pacífico, Específicamente en áreas donde la temperatura del agua es mayor a 20 °C, con crecimiento óptimo entre

26 y 32 °C [1], [2]. Este camarón es muy utilizado para la acuicultura ya que su crecimiento es rápido y logra adaptarse fácilmente a un hábitat de agua dulce o agua salada [1]. Su alimento natural está constituido principalmente de elementos de productividad primaria como es el fitoplancton, cuyos organismos son microscópicos y heterótrofos que se

Determinación a escala piloto de la máxima densidad en la producción de camarón *Penaeus vannamei* que permita que las descargas de sólidos suspendidos se mantengan dentro del margen aceptable a nivel Nacional.

encuentran suspendidos en la columna de agua y comúnmente tienen coloración verde. Estos organismos pueden crecer en el fondo siempre y cuando haya luz necesaria para el proceso fotosintético; [4],[5].

Se ha determinado el efecto importante de las densidades de siembra sobre el crecimiento del camarón, que indica que a menor número de post-larvas cultivadas por metro cuadrado mayor será el peso y longitud de camarón alcanzado a un determinado tiempo de cultivo [6], es decir, la densidad es inversamente proporcional al crecimiento [7]. La densidad de siembra va ligada al rendimiento de producción esperado, ya que a mayor densidad de siembra se obtiene una mayor producción, por tanto se tiene una relación directa entre densidad y rendimiento, como se tiene de igual manera si se estimara su biomasa. Se tendrá mayor biomasa a mayor densidad de siembra [6].

A. Condiciones físicas y químicas.

Las condiciones fisicoquímicas para el cultivo de camarón son cruciales en el crecimiento y desarrollo del mismo, debido a que estos organismos al entrar en condiciones de estrés, desarrollan diversos problemas como mala adsorción de nutrientes de los alimentos; esto a su vez genera enfermedades en los estanques o mortalidad de los camarones. Por esta razón se tiende a considerar un buen mantenimiento en los estanques para evitar este tipo de problemas y poder aumentar el rendimiento al finalizar el ciclo de cultivo. Los factores ambientales que afectan al camarón son la calidad del agua y suelo, en la Tabla I se muestran las condiciones óptimas para un buen crecimiento [5].

Tabla I. Condiciones y rangos para el buen crecimiento de *penaeus vannamei*

Condiciones para crecimiento	Rango óptimo para el crecimiento
Temperatura	23-30 (°C) [1]
Oxígeno disuelto	5-15 mL/L [8]
Salinidad	15 - 35 ppt [4]
pH	6-9 [5]
Turbidez	30 - 45 cm [8]

Determinación a escala piloto de la máxima densidad en la producción de camarón *Penaeus vannamei* que permita que las descargas de sólidos suspendidos se mantengan dentro del margen aceptable a nivel Nacional.

B. Incidencia del cultivo de camarón sobre el medio ambiente

Durante la siembra y cosecha del cultivo del camarón *Penaeus vannamei*, en los estanques se acumulan desechos que se generan durante el crecimiento y alimentación del camarón. Entre éstos desechos se encuentran los desechos tóxicos de nitrógeno como el amonio, urea, ácido úrico y aminoácidos, excretados por el camarón y otros organismos vivos; a éstos desechos se le añaden los restos de organismos muertos, exceso de alimento, heces y nitrógeno gaseoso [9]. Los desechos generados mediante el cultivo del camarón están ligados con la densidad de siembra y con la cantidad de alimentación, ya que al incrementarse esta densidad ha de incrementarse también la alimentación, por ende se incrementa la materia orgánica en el sistema [10].

- 1) *Descargas de efluentes*: Los efluentes que se descargan en los recambios de agua y la descarga final después de la cosecha, conlleva todos los desechos generados por el camarón, a estos se le añaden los desechos que se acumulan como parte del proceso de cultivo, es decir los sólidos suspendidos totales (no solubles) como la materia orgánica que puede llegar a generar contaminación. Para medir el grado de contaminación que existe en el agua de descarga, se utiliza comúnmente la prueba de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) que determina los requerimientos para la degradación bioquímica de la materia orgánica y de ésta manera evaluar los efectos de las descargas en los efluentes sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores [12].
- 2) *Normativas vigentes para la descarga de efluentes*: Para conocer la calidad de agua de las descargas provenientes de la producción de camarón es necesaria una normativa de referencia, sin embargo para calidad de agua en acuicultura no se tiene ningún reglamento técnico a nivel nacional. Por lo cual para el estudio en cuestión, se ha considerado la Norma Salvadoreña Obligatoria sobre Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor de CONACYT (2009), tomando los criterios establecidos para las descargas generadas en la

producción agropecuaria. Además se tomó también como referencia la norma sugerida por la Alianza para la Acuicultura Global (GAA) que es específica para descargas en la producción acuícola.

- 3) *Impacto medio ambiental de la canaricultura en la bahía de Jiquilisco*: El cultivo del camarón marino (*Litopenaeus vannamei*) en El Salvador, se concentra principalmente en la zona del margen oriental del bajo Lempa y de la bahía de Jiquilisco, estimándose en 1995 que de 580 – 780 Ha se dedicaban permanente o temporalmente al cultivo de esta especie. Los ocho sectores productores de camarón marino (El Zompopero, El Mapachín, Salinas del Potrero, Sisihuayo, La Canoa, Isla El Espíritu Santo, Puerto Parada-Puerto El Flor, Isla Arco de El Espino) en el margen oriental del Bajo Lempa y en la bahía de Jiquilisco [13]. Para la producción de camarón blanco en El Salvador se practican tres sistemas de cultivo: extensivo, semi-intensivo e intensivo; el más usual es el extensivo con densidades no controladas y con rendimientos menores que 430 kg/Ha [14].

Se ha realizado un estudio previo que presenta resultados de las aguas de descargas del cultivo del camarón marino *Penaeus vannamei* en El Salvador, específicamente en la Bahía de Jiquilisco. Dicho estudio se realizó en el año 2009, denominado Evaluación del impacto de las aguas residuales provenientes de la producción de camarón sobre las características fisicoquímicas del agua de la bahía de Jiquilisco, proyecto realizado por la Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" en conjunto con FIAES (Fondo de la Iniciativa para las Américas), donde se encontró con la problemática que el pH sobrepasa levemente los niveles reportados por las normas nacional y la de GAA (Global Aquaculture Alliance) en uno de los estanques de los 4 evaluados; mientras que otro de los estanques sobrepasa los niveles de sólidos suspendidos[15].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los procedimientos que se llevaron a cabo para el cultivo de camarón marino de la especie *Penaeus vannamei* se resumen en procesos que

van desde la preparación de los estanques, siguiendo por el monitoreo de parámetros físicos y químicos y prácticas de manejo durante el desarrollo de la experimentación y finalmente los análisis de calidad de agua realizados.

A. Materiales y Equipo

- Post-larvas de camarón *Penaeus vannamei*
- 3 Bidones de 1 m³ aproximadamente
- Caseta de lámina transparente (protección de agua lluvia para los estanques)
- Suelo proveniente de la Bahía de Jiquilisco
- Agua estuarina de la Bahía de Jiquilisco
- Cal agrícola
- Cloruro de sodio
- Urea
- Red de pesca con soportes metálicos
- Disco Secchi
- pH-metro OAKTON
- Oxímetro YSI INCORPORATED
- Salinómetro OAKTON
- Compresor CHAMPION
- Balanza semi-analítica ANDEK6-10
- Regla
- Camaronina PURINA (proteína 35)

B. Metodología

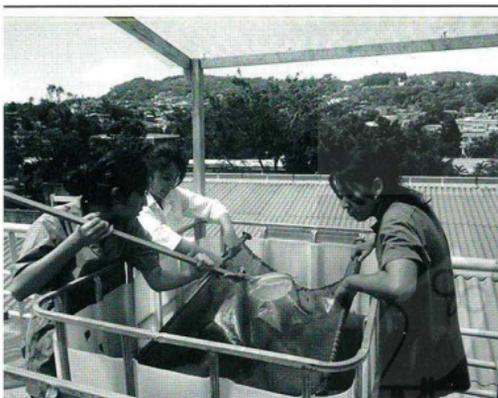
- 1) *Diseño y montaje de estanques*: Se diseñaron y montaron los estanques camaroneros utilizando los bidones ya lavados y esterilizados para evitar cualquier contaminación al momento de la siembra de las post-larvas de camarón. Se construyó además una caseta que protegiera los estanques parcialmente de la lluvia para evitar que rebalsaran, que no hubiera un descenso de temperatura en la columna de agua

Determinación a escala piloto de la máxima densidad en la producción de camarón *Penaeus vannamei* que permita que las descargas de sólidos suspendidos se mantengan dentro del margen aceptable a nivel Nacional.



de los mismos y evitar la dilución del agua causando así que la salinidad disminuyera. La disposición de los estanques se muestra en la Fig. 1:

Fig. 1. Montaje de los estanques camaroneros



Se utilizaron tres densidades diferentes, 12, 18 y 24 camarones por metro cuadrado, correspondientes a los estanques 1, 2 y 3 respectivamente. Se decidió utilizar estas densidades de siembra ya que se pretende mejorar las condiciones de productividad del cultivo, por lo que el criterio para definir las fue utilizar la densidad que se maneja en la Cooperativa "El Torno" (10 camarones por metro cuadrado) y en base a ella aumentarla para maximizar la producción. Además se requiere reportar una máxima densidad que admita que las descargas de sólidos suspendidos no sobrepasen los límites permisibles por las leyes salvadoreñas vigentes; es por ello que se decidió aumentar esta densidad de siembra y entre cada estanque tener una diferencia de seis camarones.

Una vez construida la planta piloto, se prosiguió a crear las condiciones necesarias para el cultivo de camarón marino *Penaeus vannamei*.

2) Acondicionamiento de estanques: Para adecuar los estanques camaroneros a las condiciones de los que están ubicados en la Bahía de Jiquilisco se utilizó suelo traído de los terrenos alejados a esos mismos estanques, agregando la cantidad correspondiente para cubrir 4 cm de altura en cada estanque. Uno de los principales parámetros que determinan el estado del fondo del estanque es su pH, si éste presentara condiciones ácidas deberá aplicarse cal agrícola para corregir dicha acidez; ya que su estado tiene relación directa en el estado de la columna de agua por la interacción de fases existente entre ambos, por ende ayudará a mejorar la alcalinidad del agua [16] [4]. El pH del suelo traído fue de un valor de 4, por tanto, se agregó cal para disminuir su acidez mediante el método utilizado por Boyd [5] en su manual *Prácticas de manejo para reducir el impacto ambiental del cultivo de camarón*.

El agua es otro factor muy importante para el acondicionamiento de los estanques donde se cultivarán los camarones, éste factor debe requerir del control de varios parámetros tales como el pH, salinidad y turbidez. Para el llenado de los estanques se utilizó agua estuarina, traída de los manglares alejados a la Bahía de Jiquilisco y agua potable. Esta última llevó un proceso previo para eliminar el cloro presente y para tener la salinidad requerida; para la eliminación del cloro se dejó reposar el agua potable durante 24 horas al sol para que el cloro en forma de gas se escapara libremente. Luego se aumentó la salinidad agregando cloruro de sodio en cantidad necesaria para llegar a una salinidad de 25 ppt que es la ideal para el cultivo de camarón *Penaeus vannamei* [1] [5]. Una vez llevada el agua a las condiciones ideales, se colocó en los estanques hasta completar una altura de 80 cm, de los cuales 10 cm de alto fueron agua estuarina, que fue necesaria para que hubiese fitoplancton y favoreciera la oxigenación del agua durante el día y para que los camarones tuvieran una fuente de alimento natural. El agua de los estanques se fertilizó con urea con una dosificación de 0.18 g por

Determinación a escala piloto de la máxima densidad en la producción de camarón *Penaeus vannamei* que permita que las descargas de sólidos suspendidos se mantengan dentro del margen aceptable a nivel Nacional.

metro cuadrado, se le adicionó esa cantidad a cada estanque previo a la siembra de las post-larvas y cada vez que la medición de la turbidez indicara que ésta era deficiente.

- 3) Aclimatación y siembra de post-larvas: Las larvas se obtuvieron del laboratorio nacional llamado Estación de Maricultura Los Cóbanos ubicada en Sonsonate. Las post-larvas de camarón *Penaeus vannamei* tenían una edad de PL 12 (Post-larva con 12 días). El proceso de aclimatación consistió en igualar o ajustar gradualmente los valores de parámetros como la temperatura y salinidad de las post-larvas a la de los estanques en que serán sembradas.
- 4) Determinación de parámetros fisicoquímicos: Los parámetros fisicoquímicos requeridos en la calidad del agua para el cultivo y crecimiento del camarón fueron monitoreados y algunos de ellos controlados como el oxígeno disuelto y la salinidad.

Para llevar un buen control de los parámetros, en cada estanque se tomaron mediciones todos los días en tres horas diferentes (6 a.m., 2 p.m. y 6 p.m.) a manera de tener información de las condiciones del experimento. Las mediciones de los parámetros se realizaron utilizando el mismo método durante las nueve semanas de cultivo, a partir del siguiente día después de la siembra de las post-larvas. Los parámetros considerados en la calidad del agua para el cultivo de camarón fueron: oxígeno disuelto, salinidad, pH, temperatura y turbidez; donde se utilizaron los equipos oxímetro, salinómetro, pH-metro (que mide también la temperatura) y disco Secchi respectivamente.

La medición de cada una de las variables fue tomada por la misma persona a las diferentes horas, y la medición de la turbidez del agua fue tomada una vez al día a las dos de la tarde, fue realizada siempre en el mismo lugar (en la esquina de cada estanque) para poder tener un parámetro comparativo de todos los días.

Se proporcionó aireación por medio de un compresor a los estanques en horas de la noche y madrugada, durante todo el periodo de cultivo, con el fin de evitar caídas de oxígeno disuelto en el transcurso de la madrugada; ya que la fotosíntesis se detiene durante la noche pero la respiración continúa, incrementando el dióxido de carbono y consecuentemente el oxígeno disuelto en el agua se reduce. A cada estanque se le colocó una manguera perforada, para tener una aireación suave y no turbulenta, evitando el estrés en los camarones.

Se realizaron análisis cada quince días para determinar los niveles de DBO, amonio, fósforo, nitrógeno y sólidos suspendidos totales en el agua de los estanques; ya que estos factores también interfieren en el crecimiento de los camarones; los métodos utilizados para la determinación de estas variables se muestran en la Tabla II. La primera muestra se realizó cuatro días después de la siembra, a partir de este día se tomaron cada quince días con un total de cinco análisis de calidad del agua durante todo el cultivo. Para obtener las muestras del agua de los estanques se tomó un recipiente con volumen de un galón, que fue sumergido hasta la mitad del bidón para evitar tomar restos de suelo.

Tabla II. Análisis fisicoquímicos realizados a los estanques de camarón cada 15 días durante dos meses de cultivo

Análisis	Métodos
DBO	APHA - 5210 B
Amonio (NH ₃)	APHA - 4500-NH ₃ C. Método volumétrico
Fosforo total	APHA - 4500 - P E. Método del ácido ascórbico
Nitrógeno Orgánico	4500 - Norg. Método Macro Kjeldahl
Sólidos suspendidos totales	APHA - 2540 D

Determinación a escala piloto de la máxima densidad en la producción de camarón *Penaeus vannamei* que permita que las descargas de sólidos suspendidos se mantengan dentro del margen aceptable a nivel Nacional.

- 5) Alimentación en los estanques y muestreo de los camarones: La alimentación fue distribuida en dos raciones como lo sugiere [8] con un 50 % al inicio del día (6:00 a.m.) y el 50 % restante en la noche (6:00 p.m.), la ración proporcionada se determinó mediante la tabla de alimentación utilizada por la cooperativa "El Torno", ajustando la ración semanalmente de acuerdo a la tasa de crecimiento del camarón utilizando las ecuaciones 1 y 2:

Biomasa total=(Peso promedio)*(Organismos vivos) (1)

Ración de alimentación=(Biomasa total)*(% de concentrado a la temperatura del estanque) (2)

Para el muestreo de los camarones se utilizó una red tipo colador, donde se atraparon para ser pesados en una balanza semi analítica, y al mismo tiempo se midió la longitud total del camarón y la longitud de cola utilizando una regla.

- 6) Recolección de los datos: Los datos de medición de parámetros fisicoquímicos medidos diariamente y los datos de muestreo de peso y talla se recopilaron en fichas, donde se registraba la fecha, densidad de camarones por metro cuadrado de agua, número de estanque y hora del muestreo.

- 7) Procesamiento de dato: Para evaluar los resultados y determinar la mejor experiencia conforme a los objetivos definidos referidos a densidad, producción y calidad de agua de descarga, se determinaron los siguientes indicadores:

Eficiencia de la cosecha: La eficiencia de la cosecha se evaluó determinando los valores de velocidad de crecimiento semanal, factor de conversión alimenticia (FCA), rendimiento, porcentaje de sobrevivencia y mortalidad, utilizando las siguientes fórmulas:

Determinación de la velocidad de crecimiento semanal:

$$dL/dT = \frac{C_r - C_i}{t} \quad (1)$$

Donde,

dL/dT: Velocidad de crecimiento por semana

C_f: Peso o longitud final

C_i: Peso o longitud inicial

t: Tiempo en semanas

Determinación de sobrevivencia:

$$\% \text{Sobrevivencia} = \frac{N_t}{N_0} * 100 \quad (2)$$

Donde,

N_t: Número de individuos al final de la cosecha

N₀: Número de individuos sembrados

Determinación de mortalidad:

$$N_t = N_0 * e^{-Zt} \quad (3)$$

Donde,

N₀: Número inicial de organismos cuando t = 0 (al inicio del experimento).

N_t: Número de organismos que quedan al final del tiempo t.

Z_t: Tasa instantánea de mortalidad total.

Determinación de la biomasa

$$B_t = W_t * N_t \quad (4)$$

Determinación a escala piloto de la máxima densidad en la producción de camarón *Penaeus vannamei* que permita que las descargas de sólidos suspendidos se mantengan dentro del margen aceptable a nivel Nacional.

Donde,

Bt: Cantidad de biomasa expresada en gramos

Wt: Peso de los organismos vivos al tiempo "t"

Nt: Número de organismos vivos al tiempo "t"

Tasa de alimentación:

$$\text{Tasa de alimentación} = \frac{\text{Cantidad de alimento por semana (g)}}{\text{Bt (g)}} \quad (5)$$

Factor de Conversión Alimenticia:

$$\text{FCA} = \frac{Q}{W_t} \quad (6)$$

Donde,

Q: Cantidad de alimento total suministrado el tiempo de cosecha, expresado en g

Wt: Peso de los organismos vivos al tiempo "t"

Rendimiento:

$$\text{Rendimiento} = \frac{W_t}{A} \quad (7)$$

Donde:

Wt: Peso de los organismos vivos al tiempo "t"

A: Área de cultivo, expresado en m²

Ganancia de peso por semana:

$$\text{Ganancia de peso} = W_{t_{i+1}} - W_{t_i} \quad (8)$$

Donde,

Wt_{i+1} = Es el peso del camarón en el muestreo "i+1"

Wt_i = Es el peso del camarón en el muestreo "i"

i = Número de muestreo

- Evaluación de la calidad del agua respecto a las descargas: Se realizó el muestreo de calidad del agua de descarga analizando DBO, concentración de nitrógeno orgánico, fósforo total, amonio, y sólidos suspendidos totales; los resultados son comparados con la Norma Salvadoreña de CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) y GAA (Global Aquaculture Alliance) para comprobar su cumplimiento.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los camarones fueron cosechados a los 62 días después de su siembra, en la Tabla III se presenta un resumen de los resultados y características que determinan la eficiencia de cada uno de los estanques pilotos:

Tabla III. Resultados de rendimiento y eficiencia de los estanques

Parámetros	Estanque 1	Estanque 2	Estanque 3
Días de cultivo	63	63	63
Densidad de siembra (PL/m ²)	12	18	24
Densidad final (cam./m ²)	9	16	17
Ganancia de peso por semana (g/semana)	0.22	0.21	0.12
Tasa de alimentación	0.056	0.064	0.062
Rendimiento (g/m ²)	18.1	30.4	18.6
Sobrevivencia (%)	76	89	71
Tasa de mortalidad	0.29	0.12	0.34
FCA	0.21	0.18	0.30
Velocidad de crecimiento (cm/semana)	0.76	0.75	0.62
Peso promedio al final de la cosecha (g)	2.01	1.90	1.10

Según esta tabla, se observa que los estanques 1 y 2 presentan valores, de ganancia en peso por semana, muy cercanos (0.22 g/semana y 0.21 g/semana respectivamente); mientras que el Estanque 3 tiene un valor

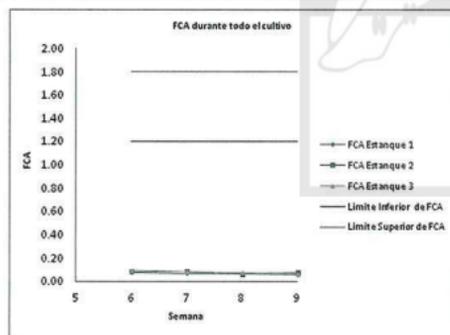
Determinación a escala piloto de la máxima densidad en la producción de camarón *Penaeus vannamei* que permita que las descargas de sólidos suspendidos se mantengan dentro del margen aceptable a nivel Nacional.

de 0.12 g/semana, tasas de crecimiento que no son adecuadas, ya que estas deben estar entre 0.85 a 1.20 g [8]. El mejor rendimiento lo tiene el Estanque 2 con 30.4 g/m², seguido de los estanques 1 y 3 que presentan prácticamente el mismo rendimiento.

La conversión alimenticia es un indicador de la eficiencia obtenida en las cosechas, el valor sugerido en la literatura oscila entre 1.2 a 1.8; sin embargo los resultados obtenidos están muy por debajo de este intervalo, indicando una subalimentación, esto se explica a que los camarones consumieron mayor cantidad de alimento natural; lo cual se constató en los muestreos de talla y peso, al observar que el intestino de los camarones presentaba una coloración café oscuro.

En la Fig. 2, se presenta el comportamiento del FCA de las últimas 4 semanas de cultivo, constatándose que sus valores nunca estuvieron dentro de los límites indicados en literatura sino que se estuvo muy por debajo de ellos; por tanto el camarón se vio forzado a alimentarse con las disposiciones que había en el medio y no con el alimento artificial, lo que pudo contribuir al bajo crecimiento observado.

Fig. 2. Comportamiento del Factor de Conversión Alimenticias durante el cultivo

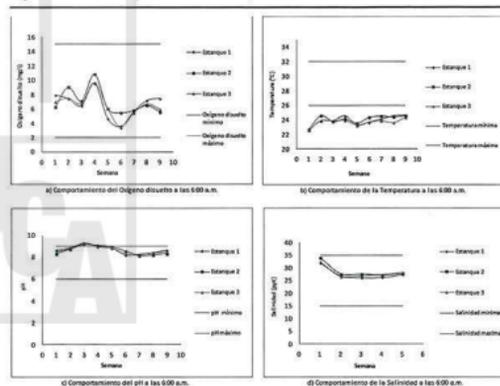


A. Resultados y análisis de monitoreo de parámetros

Durante el tiempo de cultivo se determinó la temperatura, pH, oxígeno disuelto, salinidad y turbidez dentro de los estanques; además de realizar una caracterización fisicoquímica del agua realizando muestreos de ésta cada quince días de nitrógeno orgánico, amonio, fósforo, sólidos suspendidos totales y DBO; porque todas estas variables intervienen directamente en el crecimiento de los camarones.

1) **Caracterización fisicoquímica de parámetros:** Los valores obtenidos del monitoreo de los parámetros (temperatura, OD, pH, salinidad y turbidez) son representados mediante gráficas para demostrar su comportamiento a lo largo de la cosecha y constatar si se encontraron dentro del rango óptimo requerido para el crecimiento del camarón.

Fig. 3. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos a las 6:00 a.m.



Las Fig. 3, 4 y 5, presentadas a continuación, muestran el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos medidos a las 6:00 a.m., 2:00 p.m. y

Determinación a escala piloto de la máxima densidad en la producción de camarón *Penaeus vannamei* que permita que las descargas de sólidos suspendidos se mantengan dentro del margen aceptable a nivel Nacional.

6:00 p.m., en cada figura y la Figura 6 muestra el comportamiento de la turbidez que fue medida únicamente a las 2 de la tarde. En la Fig. 3 se muestra que, para el OD medido a las 6:00 a.m. (Fig. 3a) se presentan variaciones atribuidas al florecimiento de algas por las fertilizaciones realizadas, para este parámetro se lograron valores aceptables que se encuentran dentro de los límites permitidos, esto debido al suministro de aireación durante las horas nocturnas; los descensos observados en las semanas 5 y 6 fueron ocasionados por problemas con el equipo de aireación. Por el contrario la temperatura siempre se mantuvo por debajo de los valores recomendados para el crecimiento de la especie cultivada; se presume que este parámetro ha sido muy influyente y determinante para los resultados de crecimiento del camarón obtenidos. En cuanto al pH (Fig. 3c) el aumento en las primeras semanas fue debido al encalado que se realizó durante la preparación del fondo de los estanque ya que la cal fue diluyéndose en el agua poco a poco, finalmente la gráfica de salinidad (Fig. 3d) muestra que este parámetro siempre se mantuvo dentro del margen requerido, dado que fue una variable controlada en el experimento.

Los resultados obtenidos para las mediciones de las 2:00 p.m. mostrados en la Fig. 4, permiten verificar que: el OD aumenta en horas de la tarde por efecto de la fotosíntesis, la temperatura aumenta y alcanza el rango deseado aunque muy próximo al valor mínimo, el pH y la salinidad se mantienen iguales que los valores registrados a las 6 de la mañana. A esta hora del día, prácticamente todos los parámetros se mantuvieron en los rangos deseados.

Los datos recolectados en el último monitoreo se representan en la Fig. 5, su comportamiento fue muy similar al de las mediciones en horas de la mañana y tarde. Se observa que los datos de temperatura siguen manteniéndose cerca del límite inferior en valores todavía considerados bajos para el crecimiento de *Penaeus vannamei* aunque estén dentro de los límites permisibles para ello; mientras que los valores de pH siguen sin mostrar una variación considerable durante el transcurso del día al igual que la salinidad. También es importante señalar, que en la gráfica del OD (Fig. 5a), para las semanas 5, 6 y q coincide con el comportamiento que tuvo la turbidez (Fig. 5b) en las mismas semanas; puesto que los descensos de oxígeno están relacionados inversamente con la turbidez.

Fig. 4. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos a las 2:00 p.m.

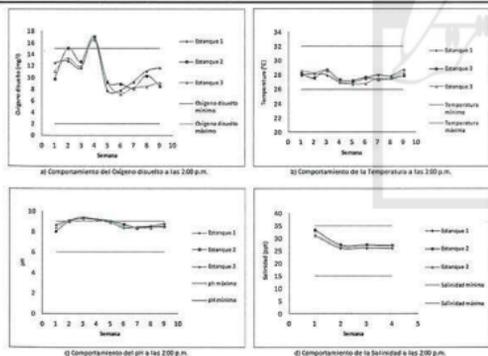
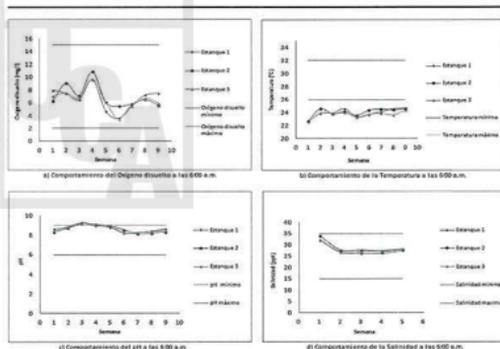
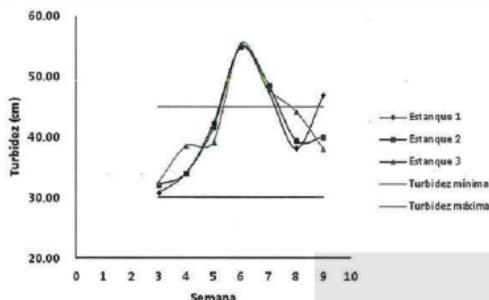


Figura 5. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos a las 6:00 p.m.



Determinación a escala piloto de la máxima densidad en la producción de camarón *Penaeus vannamei* que permita que las descargas de sólidos suspendidos se mantengan dentro del margen aceptable a nivel Nacional.

Fig. 6. Comportamiento de la turbidez medida como altura del disco Secchi



2) Análisis de calidad de agua durante el cultivo de camarón

Los análisis se realizaron cada 15 días comenzando por la primera semana de cultivo, siendo en total cinco muestreos, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla IV, donde se observa que la concentración de fósforo total contenida en el agua de los estanques, disminuyó por la dilución que tuvo lugar al aumentar el nivel de agua en las primeras tres semanas, la concentración de fósforo total deseable para el crecimiento debe ser de 0.005 a 0.2 mg/l, por lo que durante todo el ciclo de cultivo este parámetro se mantuvo dentro del margen establecido. En cuanto a la concentración de sólidos suspendidos a lo largo del cultivo del camarón se mantuvo entre 15 y 85 mg/l, en el Estanque 1 se observa mayor contenido de Sólidos suspendidos que se deduce provienen de material inorgánico particulado, dado que la DBO es similar para los 3 estanques; lo que sustenta que no es material orgánico en suspensión el que está presente. Durante el ciclo de crecimiento los sólidos suspendidos se encontraron dentro de los niveles sugeridos, que van desde 50 – 150 mg/l [17].

Otro de los parámetros importantes a evaluar en la condición de la calidad del agua es la Demanda Bioquímica de Oxígeno, del cual se observa en la tabla de datos (Tabla 4) un aumento en la semana 5 por la falta de aireación en los estanques; ya que la aireación mecánica suministrada favorece el proceso de degradación de materia orgánica, reflejándose en la disminución de la DBO. En ningún momento la DBO excedió los 20 mg/l, valor crítico para el agotamiento del oxígeno disuelto indispensable para el desarrollo del camarón. Para el amonio se observa un aumento del contenido de sus niveles durante el proceso, el cual se debe a las fertilizaciones realizadas con urea, la degradación del alimento no consumido y a las excretas generadas por los camarones. Los niveles encontrados sobrepasan los límites establecidos para las condiciones de crecimiento, que no deben ser mayores a 0.1 mg/l, se sabe que las altas concentraciones de amonio favorecen el estrés en los camarones.

Para el monitoreo de los parámetros anteriormente descritos, el amonio es el único que presenta valores que no permiten las condiciones óptimas en el estanque.

B. Resultados y análisis de muestreo de peso y talla del camarón

Los muestreos del peso y talla del camarón se realizaron desde la quinta semana de cultivo, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla V, donde L_t corresponde a la longitud total del camarón, mientras que L_c corresponde a la longitud de la cola. Realizar ambas mediciones se hizo con el objeto de comparar si dichas longitudes pueden mostrar resultados equivalentes.

La evolución de la talla de los camarones en los estanques de cultivo montados, puede representarse mediante una curva de velocidad de crecimiento, donde se define el incremento en la longitud total que alcanzó en cada semana como se muestra en la Fig. 7. Observándose una disminución en su comportamiento ya que a medida se desarrolla el ciclo de vida del camarón se reduce su tasa de crecimiento.

Determinación a escala piloto de la máxima densidad en la producción de camarón *Penaeus vannamei* que permita que las descargas de sólidos suspendidos se mantengan dentro del margen aceptable a nivel Nacional.

Tabla IV.. Resultados de análisis de agua

Estanque	Muestreo	Fósforo total (mg/l)	SST(mg/l)	DBO (mg/l)	Amonio (mg/l)
1	1	0.052 ± 0.002	85.400 ± 1.41	13.230 ± 0.13	0.717 ± 0.038
	2	<0.003	25.200 ± 1.13	9.350 ± 0.78	0.823 ± 0.04
	3	<0.002	22.667 ± 0.94	13.125 ± 0.61	0.557 ± 0.04
	4	0.017 ± 0.00	33.000 ± 1.41	1.940 ± 0.10	0.531 ± 0.00
	5	0.009 ± 0.00	45.000 ± 1.41	2.900 ± 0.00	0.770 ± 0.04
2	1	0.032 ± 0.001	48.000 ± 1.41	12.710 ± 0.33	0.531 ± 0.000
	2	<0.003	34.000 ± 2.83	9.460 ± 0.51	0.717 ± 0.04
	3	<0.002	20.667 ± 0.94	11.156 ± 0.54	0.796 ± 0.00
	4	0.021 ± 0.00	50.500 ± 0.71	6.620 ± 0.33	0.823 ± 0.04
	5	0.010 ± 0.00	28.500 ± 0.71	3.750 ± 0.11	1.195 ± 0.04
3	1	0.036 ± 0.003	32.500 ± 0.71	12.500 ± 0.18	0.504 ± 0.038
	2	<0.003	39.600 ± 0.57	9.970 ± 0.95	0.557 ± 0.04
	3	<0.002	32.500 ± 0.71	15.620 ± 0.41	0.876 ± 0.04
	4	0.010 ± 0.00	33.500 ± 0.71	4.820 ± 0.07	0.717 ± 0.04
	5	0.024 ± 0.00	42.500 ± 2.12	5.450 ± 0.32	1.088 ± 0.04

Tabla V. Resultados de muestreo

Muestreo	Estanque 1				Estanque 2			Estanque 3		
	Peso (g)	L ₁ (cm)	L ₂ (cm)	Peso (g)	L ₁ (cm)	L ₂ (cm)	Peso (g)	L ₁ (cm)	L ₂ (cm)	
1	0.54	4.54	SM*	0.41	3.73	SM*	0.54	4.54	SM	
2	0.83	4.95	3.50	0.46	4.25	2.85	0.83	4.95	3.50	
3	1.13	5.67	3.76	0.97	5.27	3.30	1.13	5.67	3.76	
4	1.49	6.27	3.91	1.37	5.86	3.66	1.49	6.27	3.91	
5	2.01	6.87	4.34	1.90	6.74	4.23	2.01	6.87	4.34	

Tabla VI. Resultados de calidad del agua de las recargas de los estanque en la cosecha del cultivo de camarón *Penaeus Vannamei*

Parámetro de medición	Estanque 1 (12 cam./m ²)	Estanque 2 (18 cam./m ²)	Estanque 3 (24 cam./m ²)	Norma CONACYT	Norma GAA inicial	Norma GAA objetivo
N _{org Tot} (mg/l)	2.84 ± 0.06	2.80 ± 0.00	4.59 ± 0.06	50	≤ 5.0	≤ 3.0
Fósforo total (mg/l)	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.02 ± 0.00	15	≤ 0.5	≤ 0.3
SST (mg/l)	45.00 ± 1.41	28.50 ± 0.71	42.50 ± 2.12	150	≤ 100	≤ 50
DBO (mg/l)	2.90 ± 0.00	3.75 ± 0.11	7.45 ± 0.32	300	≤ 50	≤ 30
Amonio (mg/l)	0.77 ± 0.04	1.19 ± 0.04	1.09 ± 0.04	NR*	NR*	NR*
pH	8.70	8.50	8.62	5.5 - 9.0	6.0 - 9.5	6.0 - 9.0

Determinación a escala piloto de la máxima densidad en la producción de camarón *Penaeus vannamei* que permita que las descargas de sólidos suspendidos se mantengan dentro del margen aceptable a nivel Nacional.

C. Resultados y análisis de calidad del agua de descarga

La Tabla VI contiene los resultados del último muestreo del agua al finalizar la cosecha, es decir el agua de vertidos de cada estanque y su comparación con las normas de descarga tomadas como referencia en este estudio.

Los valores reportados de las concentraciones de nitrógeno orgánico total, fósforo total, amonio, pH, sólidos suspendidos totales y DBO se compararon con los valores máximos permitidos por la Norma Salvadoreña de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor (CONACYT, 2009); como se mencionó anteriormente dicha norma no presenta valores para la actividad acuícola por lo que se tomaron los valores relacionados con las actividades agropecuarias. Se compararon también con la norma sugerida por GAA, donde ésta sugiere valores iniciales para ser cumplidos por las granjas camaroneras y valores finales que representan la meta a ser alcanzada, cabe destacar que las normas salvadoreñas son menos rigurosas que estas normas internacionales.

Analizando los resultados de la Tabla VI, se discute que el nitrógeno orgánico total presente en los estanques 1 y 2 se encuentra dentro de los valores de concentraciones permisibles por ambas normas y pueden ser descargados al cuerpo receptor; no así para el Estanque 3, que sobrepasa levemente los 3.0 mg/L del objetivo final presentado por la norma sugerida por GAA presentándose una concentración de 4.59 mg/l, de manera que el aumento del nitrógeno presente en el Estanque 3 se debe al aumento en su tasa de alimentación (Ver Tabla 3), en comparación al resto de los estanques, debido a que la densidad de camarones presente es mayor. Para el fósforo total las concentraciones en las descargas para los tres estanques se mantienen dentro de los niveles máximos permisibles, pues no sobrepasan los 0.3 mg/l que dicta la Norma de Alianza para la Acuicultura Global, la más rigurosa, y deja muy por debajo los 15 mg/l de la Norma Salvadoreña; de modo que son aceptables para su descarga. Los sólidos suspendidos totales reportaron una concentración final que también cumple las normativas de referencia, es decir ningún estanque sobrepasa el valor máximo de 50 mg/l según

la Norma sugerida por GAA; el estanque que reportó menor cantidad de sólidos fue el Estanque 2 con 28.5 mg/l y el Estanque 1, presentó la mayor concentración llegando a un valor de 45 mg/l, muy cercana al valor objetivo de la Norma internacional; sin embargo se asume este valor a la presencia de partículas inorgánicas en suspensión, puesto que el valor de DBO es bajo. Además los valores de sólidos suspendidos son bajos, puesto que también los camarones estaban subalimentados, lo que permitió que no hubiera acumulación de restos de alimento.

La DBO contenida en los estanques, reportó valores finales de descarga muy bajos al comparar los niveles máximos indicados en las normas. De los tres estanques, la menor concentración de DBO se presentó en el Estanque 1, con una concentración de 2.9 mg/l. Por otra parte la concentración de amonio, presente en el agua de descargas de cada estanque, no se evalúa comparativamente puesto que tanto la Norma Salvadoreña como la Norma sugerida por GAA no reportan valores máximos para éste. El pH presenta niveles permisibles de descarga para los tres estanques, el estanque que presenta un pH mejor evaluado es el Estanque 2, donde se reporta un valor de 8.5, el Estanque 1 reporta un pH 8.7; al ser comparados con la Norma objetivo de 6.0 - 9.0 se evalúa que las aguas pueden ser descargadas bajo las condiciones presentadas.

De las densidades evaluadas conforme a los propósitos de este estudio y en función del criterio analizado en esta sección, las densidades de 12 y 18 camarones por metro cuadrado resultan ser opción viable.

IV. CONCLUSIONES

- El experimento realizado permitió establecer que la mejor densidad de siembra fue de 18 camarones por metro cuadrado (Estanque 2), ya que esta densidad cumple con la Norma del CONACYT vigente en El Salvador y también cumple con la Norma sugerida por Alianza para la Acuicultura Global que es más exigente para la descarga de efluentes a cuerpos receptores; también presentó el mejor rendimiento (30.4 g/m²), aunado a ello tiene el mejor porcentaje de sobrevivencia

Determinación a escala piloto de la máxima densidad en la producción de camarón *Penaues vannamei* que permita que las descargas de sólidos suspendidos se mantengan dentro del margen aceptable a nivel Nacional.

y el factor de conversión alimenticia más pequeño. Así mismo alcanzó un peso promedio final de 1.9 gramos muy cercano al mayor peso reportado en todo el experimento que fue de 2.01 g, correspondiente a la densidad de 12 camarones por metro cuadrado (Estanque 1). Además se obtiene que el Estanque 2 presentó el menor valor en sólidos suspendidos.

- Se determinó que la temperatura es uno de los parámetros que más afectó el crecimiento de los camarones, ya que durante el tiempo de cultivo no se alcanzó el intervalo que permite un crecimiento óptimo en la especie *Penaeus vannamei*. Por ejemplo los datos registrados a las 6:00 a.m. muestran que a esta hora ninguno de los estanques estuvo dentro del intervalo definitivo para el mejor crecimiento del camarón, en horas de la tarde y noche se incrementó en unos pocos grados Celsius, por tanto la velocidad de crecimiento nunca estuvo dentro del margen establecido para esta especie.
- El resultado del estudio podría presentar mejoras en las condiciones de cultivo actual de la cooperativa "El Torno", ya que ésta maneja densidades de 8 a 10 camarones por metro cuadrado; demostrando con esta experiencia a escala piloto que es posible manejar densidades más altas, en este caso de 18 camarones, manteniendo la calidad del agua de descarga, lo que generaría al mismo tiempo mayor ingreso.
- El cultivo de camarón a escala piloto presentó dificultades para manejar las mismas condiciones en campo, que es donde se quieren reproducir los resultados; sin embargo los resultados representan una base de partida, los cuales es pertinente validar.
- Los factores alimenticios calculados en el estudio, se encontraron muy por debajo del rango aceptable para un crecimiento óptimo, indicando que los camarones se encontraban subalimentados; por tanto estuvieron forzados al consumo de alimento natural.

V. REFERENCIAS

[1]. C. Hsien-Tsang y Aguillón, Manual sobre reproducción y cultivo del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*). CENDEPESCA. El Salvador, 2009.

- [2] M. Briggs, S. Funge-Smith, R. Subasinghe y M. Phillips, Introducción y movimientos de dos especies de camarones peneidos en Asia y el Pacífico. Roma, Italia, 2005.
- [3] S. García y L. Le Reste, Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones peneidos costeros. Roma, Italia, 1987.
- [4] L. Martínez Córdova, M. Martínez Porchas y S. Pedrín Avilés, Camaronicultura sustentable: manejo y evaluación. México: Trillas, 2009.
- [5] C. Boyd, G. Treece, C. Engle, D. Valderrama, D. Lightner, C. Pantoja, J. Fox, D. Sánchez, S. Otwell, L. Garrido, V. Garrido, R. Benner, Métodos para Mejorar la Camaronicultura en Centro América. Nicaragua: Talleres gráficos offset, 2001.
- [6] H. Manzo Delgado, Efecto de cuatro densidades de siembra sobre el crecimiento de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, cultivado en estanques rústicos, en Manzanillo, Colima. Manzanillo, México, 2000.
- [7] M. Rovira Quezada, "Mejora del Cultivo del Camarón Marino (*Penaeus Vannamei*) en la Bahía de Jiquilisco. El Salvador"; PhD Thesis, IQS, Universidad Ramón Llull; 2010
- [8] C. Boyd, C. Kwei Lin, C. Pantoja, D. Lightner, K. Johnson, G. Treece, Buenas prácticas de manejo para el cultivo del camarón. Estados Unidos de Norte América: Universidad de Hawaii-Hilo, 2005.
- [9] G. Jiménez, y G. Balcazar, Uso de filtros biológicos en larvicultura del *Litopenaeus vannamei*: Principios generales. Revista Portal Veterinaria. España, 2006.
- [10] G. Barnabé, Water-The medium for culture: Physical and chemical characteristics, the nitrogen cycle. Aquaculture vol I. Estados Unidos, 1990.
- [11] M. Martín, Jean-Louis, Veran, Yves, Guelorget, Oliver y Pham, Dominique, Shrimp rearing: stocking density, growth, impact on sediment, waste output and their relationships studies through the nitrogen budget in rearing ponds. Aquaculture. Montpellier, France, 1998.
- [12] F. Calderón Sáenz, Laboratorio de Química ambiental, Demanda Bioquímica de oxígeno Método tradicional DBO 5-días. Bogotá Colombia, (1997).

Determinación a escala piloto de la máxima densidad en la producción de camarón *Penaeus vannamei* que permita que las descargas de sólidos suspendidos se mantengan dentro del margen aceptable a nivel Nacional.

- [13] R. Hernández Rauda, W. A. López y M. Vásquez Jándres, El cultivo del camarón marino en la Bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador. El salvador, 2006.
- [14] FAO (2005). Visión general del sector acuicola nacional- El Salvador. Disponible en: http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_elsalvador/es
- [15] F. Chávez, M. Rovira, N. Amaya, "Evaluación del impacto de las aguas residuales provenientes de la producción de camarón sobre las características físico químicas del agua de la bahía de Jiquilisco" Universidad Centroamericana José Simeón Cañas UCA, 2009.
- [16] J. Cuéllar, C. Lara, V. Morales, A. Gracia, y O. García, Manual de buenas prácticas de manejo para el cultivo del camarón blanco *Penaues vannamei*. Panamá, 2010.
- [17] Cargill (2013). Programa Purina: Camarón. Disponible en: <http://www.nutrimientospurina.com/acuacultura/programa-purina/camaron>



Determinación a escala piloto de la máxima densidad en la producción de camarón *Penaues vannamei* que permita que las descargas de sólidos suspendidos se mantengan dentro del margen aceptable a nivel Nacional.