cultivo de camarón

Experiencias y desafíos en el uso de invernaderos.

Tomado de Mundo Acuícola, Vol 9, No.1, marzo 2003

Jorge Calderón V., Ph.D, y Stanislaus Sonnenholzner, Ph.D.
Fundación CENAIM – ESPOL. Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas "Edgar Arellano M."

Los estudios realizados por el CENAIM, durante el año 2001, demostraron que con temperaturas del agua de 33°C el virus de la Mancha Blanca no provoca la muerte del *Penaeus vannamei.*

Una de las alternativas propuestas para alcanzar estas temperaturas es el empleo de invernaderos. Su utilización implica el empleo de sistemas de cultivos intensivos. Los invernaderos tradicionalmente empleados en agricultura no son directamente aplicables a los cultivos acuícolas. Las características de la atmósfera dentro del invernadero y la temperatura y humedad altas nos enfrentan a nuevos retos tecnológicos para hacer posible su manejo a escala comercial.

En este artículo discutiremos los resultados de nuestra experiencia en el uso de invernaderos y los retos tecnológicos que se deben vencer para lograr llevar a la madurez este método de producción.

Antecedentes

El CENAIM, desde diciembre del año 2001, viene realizando pruebas de campo para probar el beneficio de cultivar el *Penaeus vannamei* con temperaturas del agua relativamente altas (>31.5°C). El incremento de la temperatura se logra utilizando invernaderos.

Estas pruebas se han desarrollado en la estación experimental PESGLASA empleando estanques de aproximadamente 0. 05 y 0.25 Ha *(figura 1).*

El esquema de cultivo tiene dos fases, procurando aprovechar la capacidad de carga del estanque desde el inicio del cultivo. La primera fase, denominada de precría, ha durado entre 25 y 75 días. La densidad de siembra fluctuó entre 16 ind/m² hasta 275 ind/m². Los animales de los invernaderos de precría son cosechados y transferidos a estanques con y sin cubierta plástica, para la segunda fase, denominada de engorde. La fase II ha durado entre 42 y 81 días, con un rango en la densidad de siembra entre 25 y 81 ind/m².

FIGURA 1: INVERNADERO DE 0.25 HA CONSTRUIDO POR EL CENAIM EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL PESGLASA.

Rendimientos de producción

A la fecha se han realizado 27 cultivos de camarón bajo invernaderos combinados entre cultivos de precría (19), engorde en invernadero con transferencia (7) y engorde directo sin transferencia (1). En la *Tabla 1* se resumen las condiciones de cultivo y resultados obtenidos para los varios sistemas de producción **(a)** precría invernadero, **(b)** precría invernadero-engorde estanque abierto, **(c)** precría invernadero-engorde invernadero y **(d)** ciclo completo en invernadero.

Los rendimientos del cultivo en invernaderos registrados durante la fase de precría presentan una dependencia directa con la densidad de siembra *(figura 2)*. El mayor rendimiento registrado durante la fase de precría fue de 5,255Kg/Ha *(Tabla 1a)* con una densidad de siembra de 275 camarones por metro cuadrado y un peso final de 3.3g en 75 días. La supervivencias registradas a la transferencia por el contrario no presentan relación con la densidad de siembra *(figura 3)*.

Los rendimientos en la fase engorde bajo invernadero también muestran una dependencia directa con la densidad de siembra *(figura 4)*.

El máximo rendimiento obtenido fue de 5,149Kg/Ha *(Tabla 1b)*. Los rendimientos en estanques abiertos luego de permanecer bajo invernadero en una fase de precría por 45 a 50 días y pesos a transferencia entre 2.5 a 3.5g, resultaron ser buenos en el cultivo realizado entre marzo y fines de abril del 2002, y significativamente menores en el cultivo realizado entre septiembre a diciembre del 2002 *(Tabla 1c)*. Para el primer caso el rendimiento promedio fue de 1,450Kg/Ha, mientras que en el segundo cultivo el rendimiento promedio fue de 282Kg/Ha.

FIGURA 2: **RELACION RENDIMIENTO - DENSIDAD DE SIEMBRA EN PRECRIA BAJO INVERNADEROS**

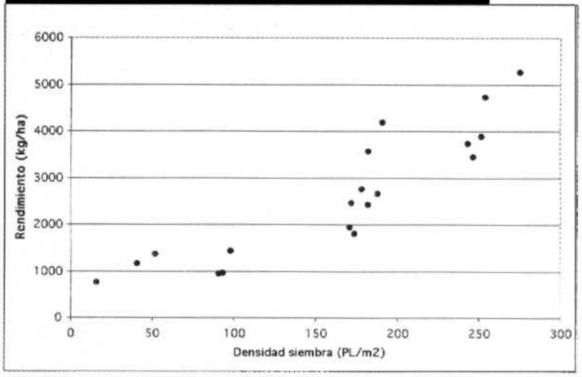


FIGURA 3: **RELACION SUPERVIVENCIA - DENSIDAD DE SIEMBRA EN PRECRIA BAJO INVERNADEROS**

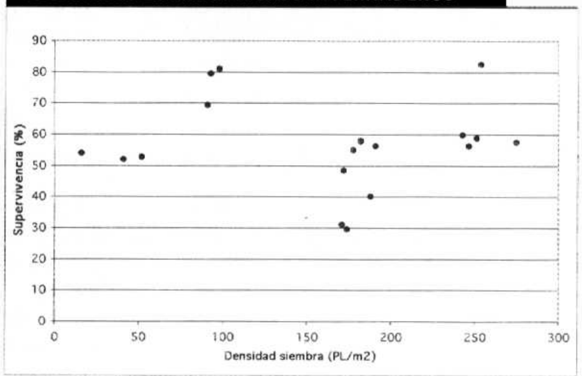
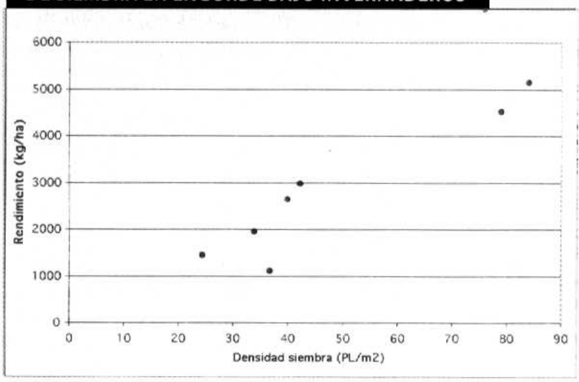


FIGURA 4: **RELACION RENDIMIENTO - DENSIDAD DE SIEMBRA EN ENGORDE BAJO INVERNADEROS**



Invernaderos

En los últimos meses se ha incrementado la construcción de invernaderos para cultivar camarón. Las diferencias más notables en los diseños están basadas en los materiales de construcción, los cuales varían en tipo y calidad. Estamos aún lejos de tener un diseño estándar que garantice una operación adecuada del sistema con una amortización razonable de la inversión.

Dentro de la gama de invernaderos, los más económicos de construir son los que tienen estructuras de caña guadúa *(figura 5)*.

Sin embargo, la durabilidad de los mismos y los costos de mantenimiento está por ser determinada en los próximos meses.

En el extremo más alto de inversiones se encuentran los invernaderos cuyas estructuras son de hormigón armado o metálicas. Estos invernaderos presentan la ventaja de permitir templar y mantener los plásticos con mayor facilidad que las otras opciones. A pesar de que la inversión es más alta, se estima que la amortización se realizará en un período mayor.

Tabla 1 (a). Resumen de las condiciones de cultivo y resultados de producción a la transferencia de la fase precría bajo invernaderos. Los camarones cosechados fueron transferidos a invernaderos [Tabla 1 (b)] o estanques abiertos [Tabla 1 (c)] para la fase engorde.

ESTANQUE	HA	SIEMBRA	COSECHA	DIAS	DENSIDAD (CAM/m²)	PESO (G)	COSECHA (KG)	RENDIMIENTO (KG/HA)
I-3	0.05	14-Dec-01	16-Jan-02	33	98	1.8	77.1	1,433
I-6	0.05	14-Dec-01	8-Jan-02	25	91	1.5	55.1	949
I-9	0.05	14-Dec-01	8-Jan-02	25	93	1.3	54.7	964
I-3	0.05	29-Jan-02	15-Mar-02	45	188	3.5	143.1	2,660
I-6	0.05	29-Jan-02	15-Mar-02	45	172	3.0	146.9	2,450
I-7	0.05	29-Jan-02	26-Mar-02	56	174	3.9	104.1	1,791
I-9	0.05	29-Jan-02	26-Mar-02	56	171	4.1	114.7	1,938
I-10	0.05	29-Jan-02	26-Mar-02	56	178	3.1	156.5	2,761
I-7	0.05	28-May-02	24-Jul-02	57	52	5.0	78.9	1,359
I-9	0.05	28-May-02	24-Jul-02	57	41	5.4	68.5	1,157
I-10	0.05	28-May-02	24-Jul-02	57	16	8.4	42.4	748
G-2	0.30	31-Jul-02	20-Sep-02	51	191	3.9	1,253.2	4,177
G-3	0.25	31-Jul-02	12-Sep-02	43	182	2.3	636.0	241
G-4	0.23	31-Jul-02	17-Sep-02	48	182	3.4	821.7	3,557
I-7	0.05	1-Aug-02	20-Sep-02	50	247	2.5	200.4	3,449
I-9	0.05	1-Aug-02	20-Sep-02	50	243	2.6	220.6	3,727
I-10	0.05	1-Aug-02	20-Sep-02	50	252	2.6	220.3	3,885
G-2	0.30	24-Sep-02	28-Nov-02	65	254	2.2	1,416	4,715
G-2	0.30	5-Dec-02	18-Feb-03	75	275	3.3	1,578	5,255

(b) Resumen de condiciones de cultivo y resultados de producción de la fase engorde en invernaderos. La precría fue realizada bajo invernadero.

ESTANQUE	HA	SIEMBRA	COSECHA	DIAS	DENSIDAD (CAM/m²)	PESO (G)	COSECHA (KG)	RENDIMIENTO (KG/HA)
I-3	0.05	26-Mar-02	10-May-02	45	42	10.9	160.2	2,978
I-6	0.05	26-Mar-02	10-May-02	45	40	10.5	155.2	2,639
I-7	0.05	26-Mar-02	10-May-02	45	25	8.5	84.4	1,453
I-9	0.05	26-Mar-02	10-May-02	45	37	12.8	65.9	1,113
I-10	0.05	26-Mar-02	10-May-02	45	34	9.1	110.4	1,947
G-3	0.25	28-Nov-02	5-Feb-03	69	84	7.3	1,287.0	5,149
G-4	0.23	28-Nov-02	5-Feb-03	69	79	10.3	1,039.0	4,517

c) Resumen de condiciones de cultivo y resultados de producción de la fase engorde en estanques de tierra abiertos. La precría fue realizada bajo invernadero.

ESTANQUE	HA	SIEMBRA	COSECHA	DIAS	DENSIDAD (CAM/m²)	PESO (G)	COSECHA (KG)	RENDIMIENTO (KG/HA)
E-1	0.05	15-Mar-02	29-Apr-02	45	17	11.9	74.6	1,341
E-2	0.05	15-Mar-02	3-May-02	49	17	12.0	93.4	1,719
E-4	0.05	15-Mar-02	29-Apr-02	45	17	12.4	94.7	1,676
E-5	0.05	15-Mar-02	29-Apr-02	45	19	10.3	90.5	803
E-8	0.05	15-Mar-02	29-Apr-02	45	18	10.7	87.7	1,716
E-11	0.05	15-Mar-02	29-Apr-02	45	17	11.4	55.7	986
E-12	0.05	15-Mar-02	3-May-02	49	18	14.3	49.1	904
E-13	0.05	15-Mar-02	29-Apr-02	45	17	11.6	71.0	1,314
E-14	0.05	15-Mar-02	29-Apr-02	45	16	11.9	91.1	1,612
E-33	0.05	24-Jul-02	5-Sep-02	42	9	12.1	48.0	873
E-1	0.05	20-Sep-02	10-Dec-02	81	57	13.3	16.4	295
E-4	0.05	20-Sep-02	10-Dec-02	81	51	11.4	2.6	47
E-5	0.05	20-Sep-02	10-Dec-02	81	52	13.0	5.8	104
E-8	0.05	20-Sep-02	10-Dec-02	81	56	11.6	13.8	248
E-11	0.05	20-Sep-02	10-Dec-02	81	56	12.1	31.0	558
E-12	0.05	20-Sep-02	10-Dec-02	81	57	13.0	5.0	90
E-13	0.05	20-Sep-02	10-Dec-02	81	53	11.8	23.1	416
E-14	0.05	20-Sep-02	10-Dec-02	81	55	13.9	17.8	320
E-15	0.05	20-Sep-02	10-Dec-02	81	54	11.4	25.4	457

d) Resumen de condiciones de cultivo y resultados de producción de la ciclo completo bajo invernadero.

ESTANQUE	HA	SIEMBRA	COSECHA	DIAS	DENSIDAD (CAM/m^2)	PESO (G)	COSECHA (KG)	RENDIMIENTO (KG/HA)
I-3	0.05	28-May-02	2-Oct-02	127	55.5	12.5	157.3	2,934

FIGURA 5: INVERNADERO CON ESTRUCTURAS DE CAÑA GUADUA.

En el rango intermedio se encuentran los invernaderos que usan una mecla de materiales que permite reducir los costos iniciales sin sacrificar mayormente el tiempo de vida de la estructura. Uno de estos diseños es el desarrollado por CENAIM, que combina elementos de hierro, cabos de polipropileno, PVC y hormigón armado *(figura 6)*.

Es indudable que durante los próximos meses veremos aparecer nuevos diseños buscando abaratar las inversiones e incorporando elementos que permitan manejar de una manera más eficiente las cantidades de calor contenidas en el agua. Aunque el crecimiento de la aplicación de esta metodología en Ecuador depende en gran medida de la existencia de un diseño estándar que pueda ser adaptado a las características de cada zona y camaronera, es claro que aún falta mucho para que la industria pueda contar con un modelo aceptable. Entre los retos que se debe enfrentar se pueden enumerar:

1. El control de la temperatura del agua.
2. El control de las pérdidas de calor.
3. Entender el efecto de la radiación que penetra en el invernadero en la dinámica del estanque.
4. El costo de construir estanques de 1 a 2 Ha. de espejo de agua.

La *figura 7* muestra el registro de temperatura del agua en tres invernaderos de aproximadamente 0.25Ha entre agosto de 2002 y febrero del 2003. Los registros inferiores a 30°C corresponden a los días posteriores a la cosecha del estanque.

Durante la época seca, en la zona de Churute, nos tomó aproximadamente 10 días subir la temperatura del agua desde 27°C hasta 31°C, debido a la cobertura de nubes imperante en esos días. Esto repercute en los programas de producción, por el retraso en la siembra del estanque, con consecuencias en la rentabilidad de la operación. Es necesario probar diferentes tipos de plásticos que maximicen la captación de radiación difusa y al mismo tiempo minimicen las pérdidas de calor en la noche. Los plásticos que actualmente estamos usando han sido diseñados para los cultivos de plantas y no para medios como el camaronero. Otro aspecto importante es el exceso de calor retenido por el agua durante la época lluviosa. Fácilmente se excede los 34°C durante los meses de diciembre a junio. Si las temperaturas se mantienen consistentemente sobre los 35°C puede tener efectos negativos en la salud del camarón. Sistemas de ventilación de los invernaderos, que fun-

FIGURA 6: ESTRUCTURAS DE PVC, HIERRO, HORMIGON ARMADO Y PLASTICOS.

FIGURA 7: TEMPERATURA DEL AGUA EN TRES INVERNADEROS (0.23 HA, 0.26 HA Y 0.33 HA) ENTRE AGOSTO DEL 2002 Y FEBRERO DEL 2003.

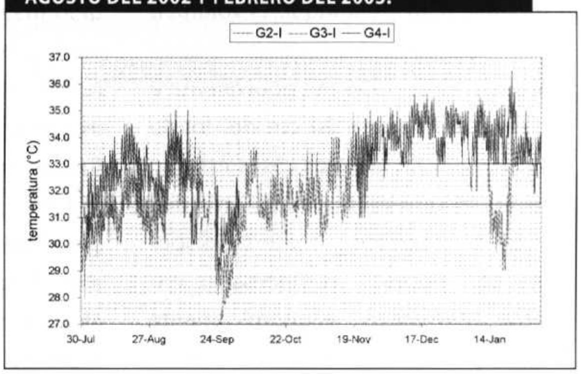
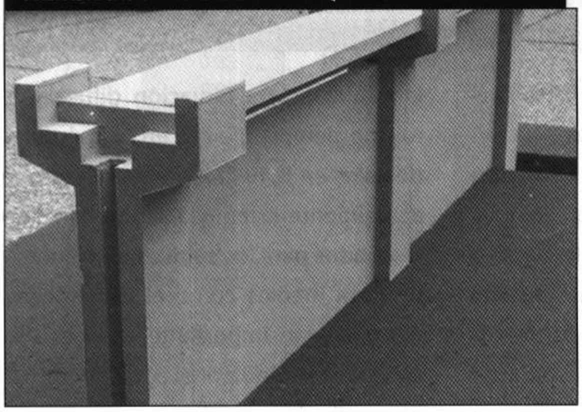


FIGURA 8: **MAQUETA DE MURO DE HORMIGON ARMADO PREFABRICADO PARA DIVIDIR ESTANQUES CON INVERNADEROS**



cionen en forma automática y a bajo costo, será una característica deseable a incorporar en los nuevos diseños.

La construcción de nuevos estanques para usarse con invernaderos o la división de piscinas existentes para alojar estos sistemas también conlleva algunas consideraciones que deberán ser adaptadas a los sistemas constructivos. Construir muros divisorios involucra un "sacrificio" de área productiva existente y el poder contar con material suficiente (suelo) para la construcción de los muros.

Como ilustración, un estanque de 1Ha con muros divisorios de 200m de longitud, 1 m de ancho en la corona y 1:1.5 de talud, requiere una superficie de 2,200m^2, es decir, el 22% del área disponible para el estanque. El volumen de tierra requerido para construir estos muros de es de 1950 m^3, equivalente a extraer una capa de 20 cm del fondo del estanque. En algunos casos esto no será un inconveniente, pero en otros donde la superficie y material disponible son escasos es necesario encontrar alternativas, económicamente viables, para realizar estas divisiones. En el CENAIM estamos explorando la posibilidad de utilizar elementos prefabricados de hormigón armado para este propósito *(Figura 8)*. Estos muros incorporarían elementos estructurales de los invernaderos para facilitar la construcción y abaratar los costos.

Aireación

La aireación en los invernaderos fue proporcionado por aireadores de paleta o de inyección por venturi en capacidades de motor equivalentes a 32 - 40 HP por hectárea. Este caballaje se encuentra dentro de los rangos considerados para cultivos intensivos con biomasas de 6 a 10TM por hectárea, asumiendo equipos de aireación con SAE (Standard Aeration Efficiency) de 1.5 a 2.2Kg O_2/kW-h. Los niveles de oxígeno registrados en la serie de tiempo así lo confirman, pues en muy pocas ocasiones las concentraciones de oxígeno disuelto excedieron hacia abajo el valor de 2.0mg/L (30% de la concentración de saturación a 33°C y 15‰) durante la madrugada. Los motores eléctricos de aireación por inyección con venturi no han presentado mayores problemas de operación con excepción del mantenimiento rutinario de rodamientos. Sin embargo, es importante anotar que los motores fueron tratados con un aditamento térmico para operar a temperaturas superiores a 40°C (la temperatura del aire bajo los invernaderos puede alcanzar valores de 50° a 60°C). Estos motores se encuentran protegidos normalmente para operar a una temperatura no mayor a 40°C. Estas consideraciones de protección térmica no aplican para motores mecánicos posicionados obviamente fuera del invernadero y que impulsan los sistemas de aireación por paletas. Los sistemas de aireación de paleta tampoco han presentado mayores problemas de operación, con excepción de la rotura frecuente de los ejes que accionan las paletas. El ángulo de inclinación del eje principal que une el eje del motor con el eje de paletas opera dentro del ángulo recomendado por el fabricante (<20°), por lo cual desconocemos la causa de este problema (diseño, resistencia del material del eje). Uno de los principales inconvenientes del uso de aireadores de paleta accionados por motores embancados en el muro se presenta durante las transferencias o cosechas al bajar el nivel de las piscinas, pues es necesario apagar las paletas para evitar exceder el ángulo de inclinación del eje principal permisible y así proteger el equipo de un mal funcionamiento y rotura de partes. Bajo estas

FIGURA 9: **AIREADOR DE PALETA IMPULSADO POR UN MOTOR DIESEL DE 8HP.**

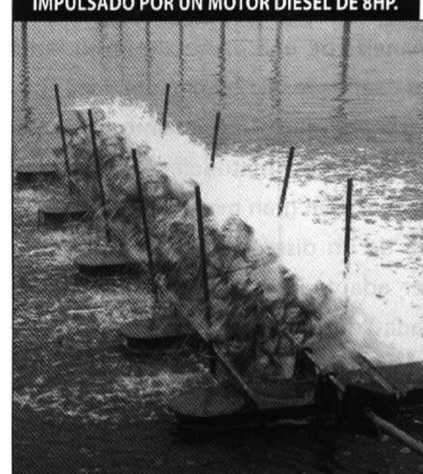
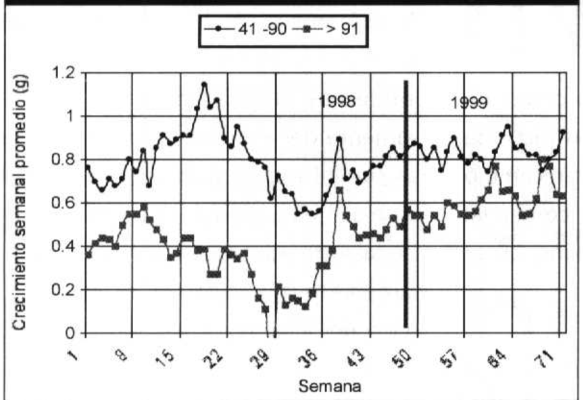


FIGURA 10: MEDIA CORRIDA MENSUAL DEL CRECIMIENTO SEMANAL DE LAS CUATRO ULTIMAS SEMANAS EN ESTANQUES CON PERIODOS DE CULTIVO ENTRE 41-90 DIAS Y MAS DE 91 DIAS.



circunstancias el oxígeno puede decaer rápidamente (dependiendo de la biomasa y tiempo de vaciado) a niveles críticos para la salud del camarón, lo cual es especialmente importante para operaciones de transferencia. El riesgo también puede presentarse para sistemas de aireación con motores eléctricos adjuntos (inyección por venturi o paletas), aunque en menor grado, ya que pueden continuar operando con menor nivel de columna de agua (20-30cm sobre el fondo). Sin embargo, pueden incrementar la turbidez por acción de las turbinas o paletas por su proximidad con el fondo en el caso de estanques de tierra.

Los equipos de paletas impulsados por motores diésel presentan una limitación adicional, deben estar ubicados a distancias relativamente cortas desde el asentamiento del motor en el muro, lo que implica una desventaja para el manejo de la circulación del agua en el estanque *(Figura 9)*. El hecho de manejar durante la cosecha una biomasa grande de camarón en un volumen relativamente pequeño de agua nos obliga a pensar en un sistema de aireación que pueda suministrar el oxígeno necesario cuando la columna de agua es menor de 30 cm.

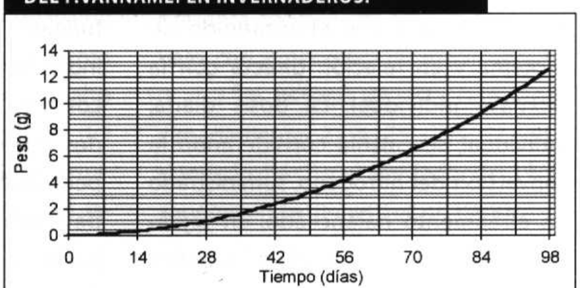
Por otro lado, en algunas instalaciones con invernaderos se están empleando equipos de aireación con motores que suman una potencia de hasta 60 HP. Sistemas con un SAE por encima de 3Kg O_2/kW-h contribuirán a disminuir los requerimientos de la potencia instalada por hectárea. El consumo de energía durante el ciclo de producción será otro de los aspectos importantes a considerar en los protocolos de producción comercial. Sistemas que permitan accionar los aireadores automáticamente cuando la concentración de oxígeno caiga a niveles considerados críticos, permitirá encender los sistemas de aireación solamente cuando se requiere adicionar oxígeno en el agua.

Nutrición / Alimentación

Los argumentos en este tema de nutrición no son exclusivos a los sistemas de producción con invernaderos, sino más bien son generales a los sistemas intensivos.

El rubro alimento balanceado, en los sistemas intensivos, puede significar más del 40% de los costos de producción, por lo que su manejo demanda especial cuidado. La alimentación de los sistemas con invernaderos si exige atención particular, dado que las condiciones de calor y humedad en el invernadero impone serias restricciones al método manual tradicional de distribuir el alimento.

FIGURA 11: CURVA DE CRECIMIENTO TEORICA DEL P.VANNAMEI EN INVERNADEROS.



Crecimiento

De acuerdo con los datos obtenidos por un grupo privado (en invernaderos) en todas las pruebas realizadas entre el 2001 y el 2002, el crecimiento semanal promedio nunca fue inferior a 1g/ semana. Sin embargo, los datos no soportan tal afirmación, sólo en dos oportunidades el crecimiento semanal fue superior a 1g. Los datos del CENAIM en los invernaderos de PESGLASA, por otro lado, muestran un crecimiento promedio semanal no mayor a 0.8g.

Un análisis de todas las piscinas con manejo semi-intensivo, de un grupo camaronero con aproximadamente 1,000 ha, muestra que la tasa de crecimiento promedio de las cuatro últimas semanas previas a la cosecha (ciclos de 41 a 90 días) aumenta desde mediados de febrero alcanzando su máximo (> 1 g/sem) en abril *(Figura 10)*. Esto nos induce a pensar que bajo condiciones de altas temperaturas las tasas de crecimiento de los últimos 30 días (70–100 días en nuestro caso) pueden ser superiores a 1g / semana. Considerando que la literatura científica reporta crecimientos de hasta 2g / semana, basaremos esta discusión en la premisa de que el camarón alcanzaría 12g en 14 semanas de cultivo.

Curva de crecimiento

La curva de crecimiento se genera a partir de los datos obtenidos en los experimentos realizados en los invernaderos de la Estación Experimental PESGLASA y es ajustada para que el promedio de crecimiento semanal de las últimas cuatro semanas sea 1g/sem *(figura 11).*

Tasa de consumo de alimento

En 1997 R. Montoya y M. Velasco hicieron un ensayo por duplicado y determinaron los siguientes rangos para el consumo de alimento por hora del *P. vannamei. (Datos tomados del modelo para la disertación doctoral de Ruby Montoya.)*

<0.1 g => 2.5%
<0.3 g => 0.8%
<1.2 g => 0.6%
<3.0 g => 0.4%
<11 g => 0.2%
>11 g => 0.1%

La siguiente función ajusta bastante bien los resultados anteriores *(figura 12).*

Dosis diaria de alimento

Basados en el contenido proteico, la ración diaria de alimento aumenta en relación inversa con el contenido de proteína y en relación directa con la biomasa individual. La dosis diaria, individual, se calcula considerando la conversión del nitrógeno, suministrado en el alimento balanceado, en tejido de camarón. En la literatura científica encontramos: "la conversión media del nitrógeno en el alimento a tejido de camarón fue aproximadamente 37% en estanques de camarón". (Teicher-Coddington, *et al.,* 1998).

"23% del nitrógeno añadido como alimento fue recuperado como biomasa de camarón en estanques sin recambio de agua, usando una dieta comercial con 40% de proteína. (Hopkins, J.S, *et al.,* 1995).

"Trabajando con diferentes estrategias de manejo de la alimentación y diferentes dietas comerciales encontramos que el 57% del nitrógeno suministrado fue recuperado en el tejido del camarón". (Hopkins, J.S., *et al.,* 1995).

En otro estudio se determinó que el contenido de materia seca en el tejido del camarón es 25% y el contenido de nitrógeno el 11.2%. (Boyd, C.E., Teichert -Coddington, D., 1995).

Tomando como 16% el contenido de nitrógeno en la proteína suministrada en el alimento construimos las curvas que representan el requerimiento de alimento balanceado (para cada nivel de proteína en la dieta) en función de la biomasa individual *(figura 13).*

Los argumentos presentados anteriormente sirven para ilustrar la variedad de opiniones con respecto al nivel proteico requerido por los animales en sistemas intensivos/ invernaderos, las tasas de alimentación diaria y la frecuencia de alimentación. A diferencia de los sistemas de producción semi-intensivos, los cultivos intensivos dependen "casi" exclusivamente del alimento balanceado que se suministra, en particular cuando la biomasa ha superado los 1,000Kg/Ha. La tasa de alimentación estará directamente relacionada con el nivel proteico del alimento seleccionado. Otros aspectos que influyen en el aprovechamiento del alimento, es el tipo y calidad de los insumos así como de los procesos de fabricación del alimento balanceado. Cuando tomamos en consideración la capacidad de consumo de alimento por hora, otros criterios deben

FIGURA 12: **TASA MAXIMA TEORICA DE CONSUMO DE ALIMENTO EN FUNCION DE LA BIOMASA CORPORAL.**

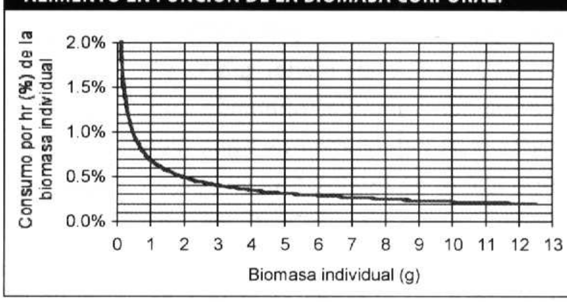


FIGURA 13: **REQUERIMIENTO DE ALIMENTO BALANCEADO PARA DIETAS DE 28%, 35% Y 55% DE PROTEINA, EN FUNCION DE LA BIOMASA INDIVIDUAL.**