

THE EFFECT OF FOUR SUBSTRATES ON GROWTH AND SURVIVAL OF *Penaeus vannamei* AT TWO SALINITIES

EFECTO DE CUATRO SUSTRATOS EN EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE *Penaeus vannamei* EN DOS SALINIDADES

William A. Bray
Addison L. Lawrence

Shrimp Mariculture Project
Texas Agricultural Experiment Station
Texas A&M University System
4301 Waldron Road
Corpus Christi, Texas, USA, 78418

Recibido en octubre de 1992; aceptado en febrero de 1993

ABSTRACT

The marine shrimp, *Penaeus vannamei* Boone, was cultured on four substrates at two salinities for 56 days. Test substrates included three soils (fine sand, coarse sand and clay) and an impermeable substrate (bare fiberglass tank bottoms). Test salinities were 45 ppt and 27 ppt. Juveniles of 0.94 g mean weight were stocked at 15/m² in 1.2 m diameter, outdoor tanks. Results indicated that *P. vannamei* has no soil substrate requirement for the 1 to 15 g size category. Significantly higher final weights were observed with impermeable substrate than with any soil substrate at both salinities tested (15.1 g at 27 ppt, 13.2 g at 45 ppt). Shrimp cultured on sand substrates had higher final weights than shrimp cultured on clay, although the difference was not statistically significant in the higher salinity group. Average weight gain ranged from 1.55 to 1.77 g/week in the 27 ppt treatments and from 1.33 to 1.54 g/week in the 45 ppt treatments.

RESUMEN

El camarón blanco del Pacífico, *Penaeus vannamei* Boone, se cultivó con cuatro sustratos a dos salinidades durante 56 días. Los sustratos del ensayo incluyeron tres suelos (arena fina, arena gruesa y arcilla) y un sustrato impermeable (únicamente el fondo de tanques de fibra de vidrio). Las salinidades del ensayo fueron 45 y 27 ppM. Se sembraron juveniles de 0.94 g de peso promedio a una densidad de 15/m², en tanques de 1.2 m de diámetro, al aire libre. Los resultados indican que *P. vannamei* de 1 a 15 g no requiere sustrato de suelo. Se observó un peso promedio de cosecha significativamente mayor con el sustrato impermeable que con los sustratos de suelo, en las dos salinidades probadas (15.1 g en 27 ppM y 13.2 g en 45 ppM). Los camarones cultivados con sustratos de arena pesaron más que los del grupo cultivado con arcilla, aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa en la salinidad mayor. El incremento de peso fue de 1.55 a 1.77 g por semana en los tratamientos de 27 ppM y de 1.33 a 1.54 g por semana en los de 45 ppM.

INTRODUCTION

Penaeus species are largely benthic or epibenthic from the early postlarva stage through the remainder of their life cycles (Wickins, 1976). Thus they have an intimate association with the substratum, which provides forage and which serves as cover from

INTRODUCCION

Las especies *Penaeus* son mayormente bénticas o epibénticas, desde la etapa postlarval temprana hasta el fin de su ciclo vital (Wickins, 1976). Por ello, están íntimamente asociadas con el sustrato, que les provee de alimento y sirve de protección frente a los

predators. Burrowing, especially during daylight hours, is common in the genus *Penaeus japonicus*, *P. semisulcatus* and *P. duorarum*, from three different subgenera, are considered to be strong nocturnal burrowers. In contrast, *P. vannamei*, *P. setiferus* and *P. schmitti*, all members of the *Litopenaeus* subgenus, are believed to do less burrowing and may remain active and on top of the substrate during night or day (Boddeke, 1983). Nonetheless, *P. vannamei* of 100-150 mm total length have been observed to exhibit a clear rhythm of burrowing during the day and emerging at night (Moctezuma and Blake, 1981).

In the culture of *P. vannamei* or other *Penaeus* species, there are several ways which substrate may influence growth and survival:

- 1) Behaviorally, through a requirement or preference for a particular type or particle size of substrate, possibly related to a burrowing need or other circadian rhythm.
- 2) Nutritionally, through forage enhancement by optimization of growth conditions for plant or animal sources of macro and micro nutrients.
- 3) Toxic effect, through ingestion of or exposure to rare elements or dissolved substances which are detrimental to shrimp growth or survival.

Several studies report substrate preferences for species other than *P. vannamei*, although none of these studies included an impermeable substrate treatment for comparison. Williams (1958) found both *P. setiferus* and *P. aztecus* associated with soft, muddy substrates. Moller and Jones (1975) found that *P. semisulcatus* and *P. monodon* selected sand of 0.9 to 0.12 mm particle size for their substrate. Rulifson (1981) found that both *P. setiferus* and *P. aztecus* prefer sandy mud or muddy substrate. Ruello (1973) found that *Metapenaeus macleayi* preferred sand of 125 to 500 μm particle size, and Aziz and Greenwood (1982) found that *Metapenaeus bennettiae* preferred 250 μm or smaller sand. In one study which did compare soil substrates with bare tanks, *P. aztecus* and *P. duorarum* were both observed to have better growth and survival when a soil substrate was present (Subrahmanyam and Oppenheimer, 1970). In terms of substrate preference, no

depredadores. El enterramiento, especialmente durante las horas luminosas del día, es común en el género. Se consideran fuertes enterradores nocturnos *Penaeus japonicus*, *P. semisulcatus* y *P. duorarum*, de tres diferentes subgéneros. En contraste, se cree que *P. vannamei*, *P. setiferus* y *P. schmitti*, todos miembros del subgénero *Litopenaeus*, practican menos la excavación y pueden permanecer activos y sobre el sustrato durante el día o la noche (Boddeke, 1983). Sin embargo, se ha observado *P. vannamei* de 100 a 150 mm de longitud total que muestra un ritmo claro de enterramiento durante el día y salida durante la noche (Moctezuma y Blake, 1981).

En el cultivo de *P. vannamei* u otras especies de *Penaeus*, el sustrato puede influir de muchas maneras en el crecimiento y supervivencia de los organismos:

- 1) Sobre el comportamiento, a través del requerimiento o preferencia de un tipo o tamaño particular de sustrato, posiblemente relacionado con una necesidad de excavar u otro ritmo circadiano.
- 2) Sobre la nutrición, a través del incremento de alimento optimizando las condiciones de crecimiento de plantas y animales que son fuentes de macro y micronutrientes.
- 3) Produciendo un efecto tóxico, a través de la ingestión de o exposición a elementos raros o sustancias disueltas que son perjudiciales para el crecimiento y supervivencia del camarón.

Varios estudios informan de las preferencias en cuanto a sustratos de especies distintas de *P. vannamei*, pero ninguno de ellos incluye la comparación con un tratamiento de sustrato impermeable. Williams (1958) encontró que *P. setiferus* y *P. aztecus* se asocian con sustratos lodosos, suaves. Moller y Jones (1975) determinaron que *P. semisulcatus* y *P. monodon* escogieron arena con partículas de 0.9 a 0.12 mm como sustrato. Rulifson (1981) encontró que *P. setiferus* y *P. aztecus* prefirieron lodo arenoso o sustrato lodoso. Ruello (1973) encontró que *Metapenaeus macleayi* escogió arena con partículas de 125 a 500 μm . Aziz y Greenwood (1982) encontraron que *Metapenaeus bennettiae* prefirió arena de 250 μm o más pequeña. En un estudio que comparó el uso de sustratos de

studies have been reported for *P. vannamei*, but Edwards (1976) has reported differential growth of *P. vannamei* held on different substrates in cages in a Mexican lagoon. He presented circumstantial evidence that growth differences observed were diet-related.

The objective of the present study is to compare growth and survival of *P. vannamei* cultured on three soil substrates (fine sand, coarse sand and clay) with growth and survival on impermeable substrate (bare fiberglass tank bottoms) at two salinities, 27 ppt and 45 ppt.

MATERIALS AND METHODS

Penaeus vannamei postlarvae were acquired from the Oceanic Institute, Honolulu, Hawaii. The postlarvae were cultured for approximately one month at the Port Aransas laboratory of the Texas A&M University Shrimp Mariculture Project, Texas Agricultural Experiment Station, during which period 56% survival was observed. Juveniles were then transferred to the nearby Corpus Christi facility of the project for experimental use. To reduce size variability in the population, the smallest and largest animals were removed, so that the mean of animals stocked was 0.94 g (± 0.266 SD, C.V. 28.3) compared with the original population mean of 1.05 g (± 0.386 SD, C.V. 36.8).

The juveniles were stocked into three substrate treatments (no soil, fine coastal sand and clay) at high salinity (ambient 45 ppt), and four substrate treatments (no soil, fine coastal sand, clay and coarse sand) at moderate salinity (salinity diluted by approximately 18 ppt). Each treatment consisted of six replicate tanks (42 tanks total) stocked with 18 shrimp per tank ($15/m^2$). Growth and survival were compared after 56 days. Tanks were off-white colored fiberglass, 1.22 m diameter, and 1.52 m in height. Water depth was maintained at 1.0 m.

The fine coastal sand was removed from a pond located on a pilot shrimp farm adjacent to the TAMU Shrimp Mariculture Project in Corpus Christi, Texas. The clay used in the clay treatments came from a clay pit on the same property, approximately 3 km from the pond site. The coarser river sand was acquired from South Texas Materials, Corpus Christi, Texas, USA, and is commer-

tierra con el del simple fondo de tanques, se observó que *P. aztecus* y *P. duorarum* tuvieron mejor crecimiento y supervivencia con un sustrato de tierra presente (Subrahmanyam y Oppenheimer, 1970). En cuanto a preferencia de sustrato, no se conocen estudios sobre *P. vannamei*, pero Edwards (1976) determinó el crecimiento diferencial de *P. vannamei* mantenido en jaulas con diferentes sustratos en una laguna mexicana, y presentó evidencia sustancial de que las diferencias observadas en el crecimiento estaban relacionadas con la dieta.

El objetivo del presente estudio es comparar el crecimiento y supervivencia de *P. vannamei* cultivado sobre tres sustratos de suelo (arena fina, arena gruesa y arcilla) con el crecimiento y supervivencia logrados sobre un sustrato impermeable (simplemente el fondo de tanques de fibra de vidrio), con dos salinidades, 27 y 45 ppm.

MATERIALES Y METODOS

Las postlarvas de *Penaeus vannamei* se adquirieron en el *Oceanic Institute*, de Honolulu (Hawaii). Se cultivaron durante un mes aproximadamente en el laboratorio de Port Aransas del *Texas A&M University Shrimp Mariculture Project*, en la *Texas Agricultural Experiment Station*, y durante este periodo se observó un 56% de supervivencia. Después, los juveniles fueron trasladados a las cercanas instalaciones del proyecto en Corpus Christi para uso experimental. Con el fin de reducir la variedad de tamaños en la población, los animales más pequeños y más grandes fueron retirados, de forma que el tamaño promedio de los organismos conservados fue 0.94 g (± 0.266 DE, 28.3 C.V.) comparado con el promedio de la población original de 1.05 g (± 0.386 DE, 36.8 C.V.).

Los juveniles se mantuvieron en tres tratamientos de sustratos (ausencia de sustrato del suelo, arena fina costera y arcilla) con alta salinidad (ambiente, 45 ppm) y cuatro tratamientos de sustratos (ausencia de sustrato del suelo, arena fina costera, arcilla, y arena gruesa) con salinidad moderada (salinidad diluida, aproximadamente 18 ppm). Para cada tratamiento se utilizaron seis tanques (42 tanques en total) con 18 camarones por tanque ($15/m^2$). Se compararon crecimiento y supervivencia después de 56 días. Los tanques

cially marketed as "washed river sand" or "bricklayers' sand". A 0.16 m layer of sand or clay was placed on tank bottoms in respective soil substrate treatments.

The two experimental salinities were: 1) high salinity, consisting of ambient salinity seawater from the Laguna Madre, a largely land-locked estuary between the southern Texas coast and Padre Island, Texas; and 2) seawater from the same source, but diluted by approximately 20 ppt at individual culture tanks with fresh water from a municipal water supply. Carbon filters were used to remove chlorine from the municipal water source. Additionally, zeolite filters were installed on the freshwater pipeline for ammonia removal during weeks 4-7 (Culligan's Water Conditioning, Corpus Christi, Texas, USA).

Hydrological parameters monitored included morning and afternoon temperature and dissolved oxygen (YSI Oxygen Meter, Model 58, YSI Instrument Company, Yellow Springs, Ohio, USA), and salinity (salinity refractometer, Model 10419, American Optical Corp., Keene, New Hampshire, USA). Secchi disk readings were taken each afternoon, and pH was determined weekly with an Orion Research Model 231 pH Meter (Orion Research Inc., Boston, MA, USA). $\text{NH}_4\text{-N}$ was measured twice weekly in the freshwater line during weeks 4-7 using procedures adapted from Spotte (1979) and Solorzano (1969). Phytoplankton were enumerated weekly in three tanks per treatment using a Reichert Bright-Line Hemacytometer (Reichert Scientific Instruments, Buffalo, NY, USA).

Water exchange was accomplished by 20% daily addition of new seawater from either the Laguna Madre or the combination Laguna Madre-freshwater source, depending on treatment. Each tank's inlet valves were supplied with flow restrictors so incoming flow could be regulated and quantified. Aeration and gentle water circulation were provided by two airlift pumps in each tank placed 180° from one another. Air was supplied to airlifts by a regenerative-style blower. Each six tanks were connected to an end-of-row standpipe which regulated water height. Central drains in each tank were covered by plastic screen to prevent animal escape. The use of airlifts on opposite sides of each tank and the introduction of new water parallel to the tank perimeter encouraged circular movement which

fueron de fibra de vidrio de color crema, con 1.22 m de diámetro y 1.52 m de altura. La profundidad del agua se mantuvo a 1.0 m.

La arena costera fina se tomó de un estanque situado en una granja piloto de camarones adyacente al *TAMU Shrimp Mariculture Project*, en Corpus Christi, Texas. La arcilla usada en los tratamientos provino de una cantera de arcilla de la misma propiedad, aproximadamente a tres kilómetros de la ubicación del estanque. Se adquirió arena más gruesa de río (de South Texas Materials, de Corpus Christi, Texas, EUA), comercializada como "arena lavada de río" (*washed river sand*) o "arena de albañil" (*bricklayers'sand*). Se colocó una capa de 0.16 m de arena o arcilla en el fondo de los tanques, según los respectivos tratamientos.

Las dos salinidades experimentales fueron: 1) alta, consistente en agua marina de salinidad ambiente de Laguna Madre, estuario casi completamente cerrado por tierra, entre la costa del sur de Texas e Isla Padre (Texas), y 2) agua marina de la misma fuente pero diluida 20 ppm aproximadamente en tanques individuales, con agua dulce corriente proporcionada por el municipio. Se utilizaron filtros de carbón para eliminar el cloro del agua corriente municipal. Adicionalmente, de la cuarta a la séptima semana, se usaron filtros de zeolita en los tubos de aprovisionamiento de agua dulce, para evitar la entrada de amoníaco (Culligan's Water Conditioning, Corpus Christi, Texas, EUA).

Los parámetros hidrológicos registrados incluyeron temperatura matutina y vespertina, así como oxígeno disuelto (YSI Oxygen Meter, modelo 58, de YSI Instrument Company, Yellow Springs, Ohio, EUA) y salinidad (refractómetro de salinidad, modelo 10419, de American Optical Corp., Keene, New Hampshire, EUA). Se efectuaron lecturas de disco Secchi todas las tardes, y se determinó el pH semanalmente con un medidor de pH Orion, modelo 231 (Orion Research Inc., Boston, MA, EUA). De la semana cuarta a la séptima, se midió $\text{NH}_4\text{-N}$, dos veces por semana, en la tubería que proveía el agua dulce, utilizando los procedimientos adaptados de Spotte (1979) y Solorzano (1969). Se enumeró semanalmente el fitoplancton, en tres tanques para cada tratamiento, usando un hematocitómetro Reichert Bright Line (Reichert Scientific Instruments, Buffalo, Nueva York, EUA).

helped move detritus to the central drain. Tank bottoms were not siphoned during the study.

Soil analysis for texture, organic matter, and elemental composition was conducted by the Soil Testing Laboratory, Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University System, College Station, Texas, USA.

Shrimp were fed identically for 56 days. A 45% protein commercial feed, Rangen Fry 3 (Rangen, Inc., Buhl, Idaho, USA) was fed twice daily, initially at 5.5% of biomass. Feed level was then adjusted twice weekly, based on assumed weight gain of 1 g per week.

Animals were not sampled for weight while the experiment was in progress. A PVC pipe with a glass-covered end was used as an underwater viewing scope twice weekly to determine whether mortality was occurring. At termination, group weights were taken by tank. Statistical tests were performed on final mean weights, instantaneous growth rate ($\text{Log} [\text{final weight}/\text{initial weight}]/\text{number of days}$), and percent survival. Instantaneous growth rate (IGR) may be a slightly more sensitive measure of growth than final weight, as weight is usually assumed to be exponential, at least over time (Everhart and Youngs, 1981). Analysis of variance was used to determine whether treatment differences existed, followed by Student-Newman-Keuls' (SNK) multiple range tests to distinguish among groups. All data were analyzed using Statistical Analysis Systems software (SAS Institute Inc., 1985).

RESULTS

Final weights of *Penaeus vannamei* cultured in bare-bottom tanks were significantly higher than in any soil substrate treatment tested, at two salinities. Figures 1 and 2 show mean final weights and statistical significance groupings of the substrate treatments at 27 and 45 ppt. The same pattern of significance levels and means ranks was demonstrated for IGR as well.

Statistical comparisons were performed only within salinity groupings because of an accidental lowering of salinity in all high salinity treatments midway through the study. At that time, a freshwater valve was accidentally opened into the saltwater line, causing the salinity in all 45 ppt treatments to drop to

El cambio de agua se logró añadiendo diariamente 20% más de nueva agua marina, tanto del agua de Laguna Madre como de la combinación de aguas de Laguna Madre y dulce, según el tratamiento. Cada válvula de entrada de tanque fue provista con un control de flujo, de manera que éste podía ser regulado y medido. Se proporcionó aeración y circulación suave de agua con dos bombas de aire en cada tanque, colocadas a 180° una respecto a la otra. Se suministró aire a las bombas con un soplador de estilo regenerativo. Al final de la fila de cada grupo de seis tanques, se conectó un conducto vertical que reguló la altura del agua. El desagüe central de cada tanque se cubrió con una rejilla de plástico, para prevenir que los animales escaparan. El uso de bombas de aire a los lados de cada tanque y la introducción de agua nueva paralela al perímetro del tanque estimuló un movimiento circular que ayudó a transportar el detrito hacia el desagüe central. Durante el estudio, no se trasegó con sifón el fondo de los tanques.

Los análisis de textura, materia orgánica y composición elemental del suelo fueron realizados por el Laboratorio de Pruebas de Suelo, del *Texas Agricultural Extension Service*, del *Texas A&M University System*, en College Station, Texas (EUA).

Se alimentó a los camarones exactamente igual durante 56 días. Se suministró dos veces al día un alimento comercial con 45% de proteína, *Rangen Fry 3* (Rangen, Inc., Buhl, Idaho, EUA), inicialmente al 5.5% de la biomasa. El nivel de alimento se ajustó dos veces por semana con base en el aumento de peso asumido de 1 g semanal.

En el transcurso del experimento no se tomaron muestras de los animales para pesarlos. Dos veces por semana, se usó un tubo PVC con un extremo cubierto de vidrio para ver bajo el agua, con el fin de determinar si había animales muertos. Al terminar, se tomaron los pesos de grupo por tanque. Se efectuaron pruebas estadísticas de pesos promedio finales, tasa instantánea de crecimiento ($\text{Log} [\text{peso final}/\text{peso inicial}] / \text{número de días}$) y porcentaje de supervivencia. La tasa instantánea de crecimiento puede ser una medida ligeramente más exacta del crecimiento que el peso final, ya que el peso se considera usualmente exponencial, al menos con respecto al tiempo (Everhart y Youngs, 1981). Se utilizó análisis de varianza para determinar si

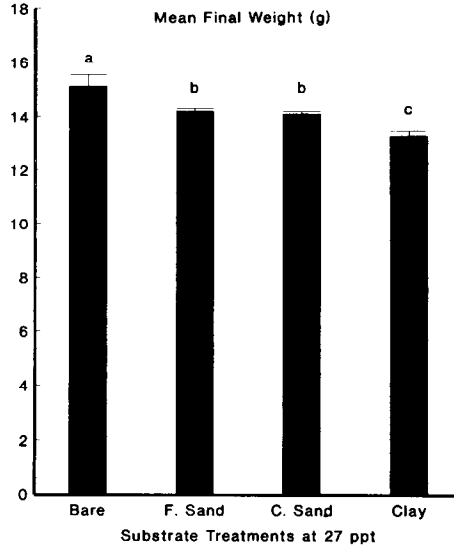


Figure 1. Mean final weights (+SE) of *Penaeus vannamei* cultured for 56 days in outdoor tanks with: 1) no soil substrate, 2) fine sand, 3) coarse sand, and 4) clay, at 27 ppt salinity. Bars with common superscripts are not significantly different at $\alpha = 0.05$, SNK analysis.

Figura 1. Pesos finales promedio (+EE) de *Penaeus vannamei* cultivados 56 días en tanques al aire libre con: 1) fondo simple, 2) arena fina, 3) arena gruesa, y 4) arcilla, en 27 ppM de salinidad. Las barras con superíndices comunes no son significativamente diferentes de $\alpha = 0.05$, en análisis SNK.

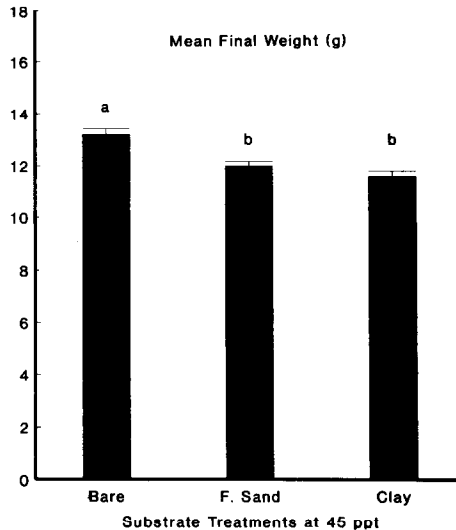


Figure 2. Mean final weights (+SE) of *Penaeus vannamei* cultured for 56 days in outdoor tanks with: 1) no soil substrate, 2) fine sand, and 3) clay, at 45 ppt salinity. Bars with common superscripts are not significantly different at $\alpha = 0.05$, SNK analysis.

Figura 2. Pesos finales promedio (+EE) de *Penaeus vannamei* cultivados 56 días en tanques al aire libre con: 1) fondo simple, 2) arena fina, y 3) arcilla, en 45 ppM de salinidad. Las barras con superíndices comunes no son significativamente diferentes de $\alpha = 0.05$, en análisis SNK.

16 ppt over a six-hour period. This resulted in temporary stress and several mortalities.

Mean final weights of shrimp in low salinity treatments ranged from 13.3 to 15.1 g, which were higher than means in respective high salinity treatments, 11.6 to 13.2 g (table 1; Figs. 1, 2). One-way analysis of variance (ANOVA) for mean final weight and mean IGR showed probabilities of 0.006 and 0.004 for differences among treatment means, respectively, in low salinity treatments, and 0.0001 and 0.0001 for the high salinity treatments. In the low salinity treatments, SNK groupings for final weight were (table 1):

bare > fine sand = coarse sand > clay.

In the high salinity treatments, rankings were:

bare > fine sand = clay.

Thus, the substrate results were almost identical between the two salinities, with the only difference that the fine sand treatment did not separate statistically from clay in the high salinity group, although the means ranks were the same.

Table 1 also shows instantaneous growth rates among treatments, as well as estimation of growth per week during the study. Growth was generally excellent in all treatments, ranging from 1.55 to 1.77 g per week in moderate salinity treatments and from 1.33 to 1.54 g per week in the high salinity treatments. The treatments paired by salinity indicate approximately 16 to 21% higher growth in the moderate salinity treatments (27 ppt) than in the high salinity treatments (45 ppt), if the one-day abrupt change in the high salinity treatments did not bias results.

Feed conversion ratios (FCR = feed fed:biomass gained) were very low as shown in table 2. Feeding levels were kept low intentionally to avoid excess organics associated with overfeeding, which could cause water quality or benthos deterioration and confuse experimental variables. It is clear from the FCR's achieved, 0.95 to 1.29, that overfeeding did not occur. Furthermore, the low FCR's indicate substantial dietary contribution from natural productivity in all treatments, and particularly in the low salinity treatments.

había diferencias entre tratamientos, seguido de pruebas SNK (Student-Newman-Keuls) de intervalos múltiples para distinguir entre los grupos. Todos los datos se analizaron con programas de Statistical Analysis Systems (SAS Institute Inc., 1985).

RESULTADOS

Los pesos finales de *Penaeus vannamei* cultivado sobre el simple fondo de los tanques fueron notablemente más altos que los de aquéllos cultivados con cualquiera de los tratamientos de sustrato de suelo, para ambas salinidades. Las Figs. 1 y 2 muestran los pesos finales promedio y los agrupamientos de significación estadística de los tratamientos de 27 y 45 ppM de salinidad. Se demostró el mismo patrón de niveles de significación y categorías medias para la tasa instantánea de crecimiento.

Se hicieron comparaciones estadísticas sólo dentro de grupos de igual salinidad, debido a que a medio experimento ocurrió un descenso accidental en todos los tratamientos de salinidad alta. Una válvula de agua dulce se abrió por accidente en la línea de agua salada, y ocasionó un decremento a 16 ppM de salinidad en los tratamientos de 45 ppM, por un periodo de más de seis horas. Esto causó temporalmente tensión y mortalidad.

Los pesos finales promedio del camarón en los tratamientos de baja salinidad fueron de 13.3 a 15.1 g, los cuales resultaron mayores que los promedios logrados con los respectivos tratamientos de alta salinidad, 11.6 a 13.2 g (tabla 1; Figs. 1, 2). Los análisis de varianza de una sola vía (ANOVA) para peso final promedio y tasa instantánea de crecimiento mostraron, respectivamente, probabilidades de 0.006 y 0.004 para las diferencias entre los promedios de los tratamientos con salinidad baja, y de 0.0001 y 0.0001 para los de salinidad alta. En los tratamientos de salinidad baja, los agrupamientos SNK para peso final fueron (tabla 1):

fondo simple > arena fina = arena gruesa > arcilla.

En el tratamiento de salinidad alta las categorías fueron:

fondo simple > arena fina = arcilla.

Table 1. Mean final weight, instantaneous growth rate, percent weight gain and growth per seven days (\pm SD) for seven substrate/salinity treatments of *Penaeus vannamei* juveniles. Animals were stocked in 1.22 m diameter fiberglass tanks, six replicates, 15/m² for 56 days. Means with common superscripts within salinity group are not significantly different at P = 0.05.

Tabla 1. Peso final promedio, tasa instantánea de crecimiento, porcentaje de peso incrementado y crecimiento de siete días (\pm DE) correspondientes a siete tratamientos de sustrato/salinidad para juveniles de *Penaeus vannamei*. Los animales se mantuvieron 56 días, en seis tanques iguales de fibra de vidrio de 1.22 m de diámetro, 15/m². Los promedios con superíndices comunes dentro del mismo grupo de salinidad no son significativamente diferentes de P = 0.05.

Treatment	Final weight (g)	Instantaneous growth rate	Weight gain (%)	Growth per 7 days
27 ppt/Bare	15.1 ^a \pm 1.1	.0869 ^a \pm .0022	1517 \pm 116	1.77 g
27 ppt/Fine sand	14.2 ^b \pm 0.2	.0851 ^b \pm .0005	1421 \pm 25	1.66 g
27 ppt/Coarse sand	14.1 ^b \pm 0.2	.0848 ^b \pm .0005	1410 \pm 26	1.65 g
27 ppt/Clay	13.3 ^c \pm 0.5	.0829 ^c \pm .0011	1321 \pm 51	1.55 g
45 ppt/Bare	13.2 ^a \pm 0.5	.0827 ^a \pm .0001	1313 \pm 58	1.54 g
45 ppt/Fine sand	12.0 ^b \pm 0.4	.0796 ^b \pm .0011	1177 \pm 45	1.38 g
45 ppt/Clay	11.6 ^b \pm 0.5	.0785 ^b \pm .0014	1136 \pm 56	1.33 g

Table 2. Feed conversion ratios (FCR = feed fed:biomass gain) for seven treatments of *Penaeus vannamei* juveniles stocked in 1.22 m diameter tanks at 15/m² for 56 days.

Tabla 2. Razones de conversión de alimento (alimento proporcionado: incremento de biomasa) correspondientes a siete tratamientos para juveniles de *Penaeus vannamei* cultivados 56 días, en tanques de 1.22 m de diámetro, 15/m².

Treatment	Feed conversion ratio (FCR)
Bare/27 ppt	0.95
Fine sand/27 ppt	0.99
Coarse sand/27 ppt	1.04
Clay/27 ppt	1.04
Bare/45 ppt	1.16
Fine sand/45 ppt	1.27
Clay/45 ppt	1.29

Mean survival among treatments is shown in table 3. Survival was 98 to 99% in low salinity treatments (not significantly different among treatments, $P > 0.8626$). Among the high salinity treatments, a statistical separation was observed between the bare and fine sand treatments ($P > 0.02$), with bare survival significantly higher than fine sand (table 3). This 15% survival difference may have been due to the accidental salinity stress, i.e., if the fine sand was a less favorable treatment than bare, the one-time salinity stress might have a more pronounced effect on a soil substrate treatment than on the bare treatment. Mean percent survival was also lower in the clay treatment (85.3%), although the difference was not statistically significant.

The lower salinity treatments had higher phytoplankton counts for the first three weeks, but in weeks 4-7 phytoplankton counts were similar (Fig. 3). This difference was apparently due to unintentional fertilization of the low salinity treatments with ammonia which was present in the municipal water supply. When it was realized that ammonia was present in the fresh water being used for salinity dilution, zeolite filters were installed in addition to the carbon filters already in use for chlorine removal prior to the experimental tanks. These filters were installed after sample three was taken, and a change in total phytoplankton densities is obvious (Fig. 3). The amount of $\text{NH}_4\text{-N}$ being added was estimated as follows: to achieve 25 ppt seawater from ambient 45 ppt seawater, 44.5% or 94.6 l (25 gallons) of fresh water per tank was required. Ammonia values in the freshwater source (before-filter measurements) during the final four weeks of the study were 1.30, 0.95, 1.45, 2.75, 2.17, 2.26 and 3.24 mg/l total $\text{NH}_4\text{-N}$, mean 2.01 mg/l. Using this mean as an estimate of the earlier daily addition, $2.01 \text{ mg/l} \times 94.6 \text{ l per day} = 190.1 \text{ mg } \text{NH}_4\text{-N added per tank per day}$.

Hydrological parameters are summarized in table 4. As there were no significant differences within salinity treatments, parameters are summarized by salinity group. The intended salinity differential between treatments was 20 ppt; the actual differential was 18.2 ppt. Morning and afternoon dissolved oxygen values were higher in the low salinity treatments (6.5 and 6.6 ppm, and 5.7 and 5.7 ppm, respectively) as would be expected

Por tanto, los resultados de sustrato fueron casi idénticos entre las dos salinidades, con la única diferencia de que el tratamiento con arena fina no se separó estadísticamente del de arcilla en el grupo de alta salinidad, aunque las categorías promedio fueron las mismas.

La tabla 1 muestra las tasas instantáneas de crecimiento entre tratamientos, así como la estimación de crecimiento por semana durante el estudio. El crecimiento fue en general excelente en todos los tratamientos; osciló entre 1.55 y 1.77 g por semana en el de salinidad moderada, y entre 1.33 y 1.54 g por semana en el de alta salinidad. La comparación de las parejas de tratamientos de diferente salinidad indica aproximadamente de 16 a 21% mayor crecimiento con el tratamiento de salinidad moderada (27 ppM) que con el de alta salinidad (45 ppM), si el abrupto cambio de un día en el tratamiento de alta salinidad no sesgó los resultados.

Las razones de conversión de alimento (alimento proporcionado: incremento de biomasa) fueron muy bajas, como se muestra en la tabla 2. Los niveles de alimentación se mantuvieron intencionalmente bajos, para evitar excesos de materia orgánica asociados con la sobrealimentación, que pueden ocasionar deterioro de la calidad del agua o del bentos y confusión en las variables experimentales. De acuerdo con las razones de conversión de alimento logradas, de 0.95 a 1.29, es evidente que no hubo sobrealimentación. Además, estas razones bajas indican que la productividad natural contribuyó sustancialmente a la dieta en todos los tratamientos, particularmente en los de baja salinidad.

La supervivencia media entre tratamientos se presenta en la tabla 3. Esta fue de 98 a 99% en los de salinidad baja (sin diferencias significativas entre tratamientos, $P > 0.8626$). En los tratamientos de salinidad alta, se observó una separación estadística entre el de fondo únicamente y el de arena fina ($P > 0.02$), con supervivencia significativamente mayor para el de fondo simple que para el de arena fina (tabla 3). Esta diferencia de 15% en supervivencia puede deberse a la tensión por la baja accidental de salinidad. Es decir, si la arena fina fue un tratamiento no tan bueno como el de fondo simple, la tensión provocada por el cambio de salinidad pudo tener un efecto más pronunciado en el trata-

Table 3. Mean percent survival (\pm SD) for seven substrate/salinity treatments of *Penaeus vannamei*. Means with common superscripts within salinity group are not significantly different at $\alpha = 0.05$, SNK analysis.

Tabla 3. Porcentajes de supervivencia promedio (\pm DE) correspondientes a siete tratamientos de sustrato/salinidad para *Penaeus vannamei*. Los promedios con superíndices comunes dentro del mismo grupo de salinidad no son significativamente diferentes de $\alpha = 0.05$, en el análisis SNK.

Treatment	N	Percent survival (\pm SD)
Bare/27 ppt	6	98.1 \pm 3.0 ^a
Fine sand/27 ppt	6	99.0 \pm 2.4 ^a
Coarse sand/27 ppt	6	98.0 \pm 3.0 ^a
Clay/27 ppt	6	99.0 \pm 2.4 ^a
Bare/45 ppt	6	94.1 \pm 5.3 ^a
Fine sand/45 ppt	6	81.4 \pm 7.8 ^b
Clay/45 ppt	6	85.3 \pm 8.1 ^{ab}

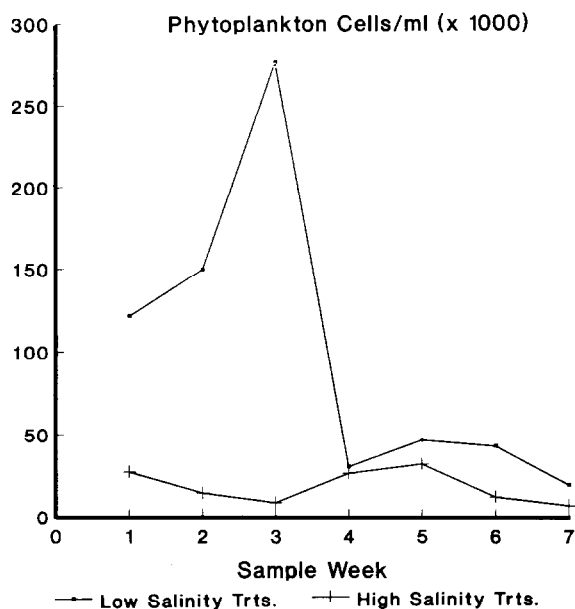


Figure 3. Mean number of phytoplankton per milliliter for paired substrate treatments at two salinities during the 56-day *Penaeus vannamei* culture experiment. Samples were taken weekly from three of the six replicates per treatment. Three treatments are represented per salinity.

Figura 3. Número promedio de fitoplancton por mililitro para parejas de tratamientos de salinidades diferentes, en el experimento de cultivo de *Penaeus vannamei*, durante 56 días. Se tomaron muestras semanalmente de tres de las seis réplicas por tratamiento. Se presentan tres tratamientos por salinidad.

because of the higher solubility of oxygen in lower salinity water. Low salinity tanks had lower average Secchi disk visibility (i.e., higher turbidity) than high salinity treatments, which is in line with phytoplankton abundance differences shown in Fig. 3.

Soil substrates are characterized at initiation of the study in terms of percent sand, clay, silt, organic matter, and by standard classification type. Results of analyses are shown in table 5. The soil referred to as "clay" in this study was found to contain 27.0% clay, versus 4.6% and 1.0% in the two "sand" types. Organic matter was very low in all three soils, ranging from 0.4 to 0.7%. The three soils were moderately alkaline, with pH ranging from 8.5 to 9.0 (table 6). These results indicate that the soils tested were acceptable for culturing shrimp. Additionally, soil pH values were similar to seawater and are considered optimum. Elemental analyses of these substrates also suggest no clues as to performance differences for penaeid shrimp growth (tables 6, 7).

miento con sustrato de suelo que en el fondo simple.

El porcentaje medio de supervivencia fue también inferior con el tratamiento de arcilla (85.3%), aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa.

El tratamiento de salinidad más baja tuvo cuentas mayores de fitoplancton durante las tres primeras semanas, pero de la cuarta a la séptima los conteos fueron similares (Fig. 3). Esta diferencia se debió aparentemente a la fertilización involuntaria de los tratamientos de baja salinidad con amoníaco presente en el agua dulce corriente. Cuando se notó la presencia del amoníaco en el agua dulce usada para diluir la salinidad, se instalaron filtros de zeolita, además de los filtros de carbón ya en uso para evitar el cloro en los tanques experimentales. Dichos filtros se instalaron después de tomar la muestra tres, y es evidente un cambio en las densidades de fitoplancton total (Fig. 3). La cantidad de $\text{NH}_4\text{-N}$ añadida se estimó de la manera siguiente: para lograr agua con 25 ppM de

Table 4. Mean salinity, morning and afternoon temperature and dissolved oxygen, Secchi disk, and pH levels in the 56-day outdoor tank study, by salinity group.

Tabla 4. Salinidad promedio, temperatura y oxígeno disuelto matutinos y vespertinos, disco Secchi y niveles de pH, por grupo de salinidad, en el estudio de 56 días.

Parameter	Mean	SD
High salinity treatments		
Salinity (ppt)	45.1	±4.6
Morning temperature (C)	26.3	±0.9
Afternoon temperature (C)	29.1	±1.2
Morning dissolved O ₂ (ppm)	5.7	±0.4
Afternoon dissolved O ₂ (ppm)	5.7	±0.3
Secchi disk (cm)	93.8	±11.6
pH	8.2	±0.1
Low salinity treatments		
Salinity (ppt)	26.9	±1.5
Morning temperature (C)	26.2	±0.9
Afternoon temperature (C)	29.0	±1.1
Morning dissolved O ₂ (ppm)	6.5	±0.3
Afternoon dissolved O ₂ (ppm)	6.6	±0.3
Secchi disk (cm)	73.5	±22.4
pH	8.3	±0.1

DISCUSSION

Since *P. vannamei* of this size category have been observed to burrow during daytime hours (Moctezuma and Blake, 1981), the results presented here are counterintuitive: it is a surprise for weight gain on an impermeable substrate (an unnatural environment) to be equivalent to, or even higher than, growth on a soil substrate (a natural environment), at both salinities tested. Nonetheless, the conclusion from these data is that an impermeable substrate is a good culture environment for *P. vannamei*. Plastic membranes or concrete substrate can be expected to be good culture system choices for intensive *P. vannamei* production. In contrast, some species such as *P. monodon* and *P. japonicus* have been reported to perform better on earthen substrates than on impermeable ones (Liao and Chao, 1983; Liao, 1969, respectively).

salinidad a partir del agua de medio marino de 45 ppm, se requirió 44.5% o 94.6 l (25 galones) de agua dulce por tanque, por día. Los valores de amoníaco en la fuente de agua dulce (anteriores a las medidas con filtro) durante las últimas cuatro semanas del estudio fueron 1.30, 0.95, 1.45, 2.75, 2.17, 2.26 y 3.24 mg/l en total de $\text{NH}_4\text{-N}$, en promedio 2.01 mg/l. Usando este promedio como una estimación de la adición diaria anterior, 2.01 mg/l x 94.6 l por día = 190.1 mg de $\text{NH}_4\text{-N}$ añadido por tanque diariamente.

Los parámetros hidrológicos están resumidos en la tabla 4. Como no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de igual salinidad, los parámetros se sintetizaron por grupo de salinidad. El diferencial de salinidad esperado era 20 ppm; el diferencial real fue 18.2 ppm. Los valores de oxígeno disuelto matutinos y vespertinos fueron superiores en los tratamientos de salinidad baja (6.5 y 6.6 ppm, y 5.7 y 5.7 ppm, respectiva-

Table 5. Percent sand, clay, silt, organic matter, and texture class for soil substrates used in the 56-day outdoor tank study with *Penaeus vannamei* stocked at 15/m². Particle sizes are: clay, < 2 μm ; silt, 2 to 50 μm ; sand, 50-2,000 μm .

Tabla 5. Porcentajes de arena, arcilla, limo, materia orgánica y clase de textura de los sustratos usados en el estudio sobre *Penaeus vannamei* cultivado 56 días, en tanques al aire libre, 15/m². Los tamaños de partícula son: arcilla, < 2 μm ; limo, 2 a 50 μm ; y arena, 50 a 2 000 μm .

Substrate	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	Organic matter (%)	Texture class
Fine sand	91.3	4.6	4.1	0.7	Sand
Coarse sand	97.3	1.0	1.7	0.4	Sand
Clay	65.3	27.0	7.7	0.7	Sandy loam-clay

Table 6. Soil pH values and selected elemental composition (in ppm) of three soil substrates used in the 56-day outdoor tank study with *Penaeus vannamei* stocked at 15/m².

Tabla 6. Valores de pH y composición elemental seleccionada (en ppm) de los tres sustratos de suelo usados en el estudio de *Penaeus vannamei* cultivado, 56 días, en tanques al aire libre, 15/m².

Substrate	pH	N	P	K	Ca	Mg
Fine sand	8.5	1	26	200	1676	537
Coarse sand	9.0	1	28	37	15580	104
Clay	8.7	25	4	486	14898	2190

Any question of toxicity of the soil substrates *per se* does not seem probable because it is unlikely that all substrates tested, derived from different locations, would display the same characteristic. A further question which can be posed is whether the soil substrates performed less well because of minute amounts of hydrogen sulfide produced in anaerobic subsoil. This also does not seem likely, for several reasons: 1) the soil substrates were low in organics and all were dry at initiation, 2) the water column was maintained in continually oxygenated state by airlift pumps, 3) a relatively light biomass was placed on the system, and 4) feed levels were intentionally kept low to avoid fouling of tank bottoms. Nonetheless, hydrogen sulfide is produced naturally in anaerobic environments and is toxic to marine shrimp (Theede *et al.*, 1969; Boyd, 1989), so the possibility that it played a role in this study cannot be excluded without further examination.

It is interesting that the low level of inadvertent nitrogen-only fertilization which was introduced in the freshwater supply initially, approximately 0.178 mg/l total $\text{NH}_4\text{-N}$ per day, would have such an apparently pronounced effect on phytoplankton abundance. Considering a total volume of approximately 1,068 l (282 gallons), the $\text{NH}_4\text{-N}$ daily addition amounted to about 0.178 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$ for the total tank volume. Villalon (1991) recommended a concentration of 1.3 ppm nitrogen and 0.15 ppm phosphorus to stimulate phytoplankton in semi-intensive ponds. However, this rate might be used only once weekly, or less frequently. When averaged over a one-week period, the N per liter concentration is similar to the low level addition accidentally used in the first part of this study. The observed phytoplankton den-

mente), como era de esperarse por la alta solubilidad del oxígeno en agua de baja salinidad. Los tanques con salinidad baja tuvieron menor visibilidad promedio con el disco Secchi (*i.e.*, mayor turbiedad) que los tratamientos de salinidad alta, lo que está de acuerdo con las diferencias de abundancia del fitoplancton mostradas en la Fig. 3.

Al inicio de la investigación, se caracterizaron los sustratos del suelo por porcentajes de arena, arcilla, limo, materia orgánica y tipo de clasificación estándar. Los resultados de los análisis se dan en la tabla 5. El suelo denominado "arcilla" en este estudio contuvo 27.0% de arcilla contra 4.6 y 1.0% en los dos tipos de "arena". La materia orgánica fue muy baja en los tres suelos, fructuó entre 0.4 y 0.7%. Los tres suelos fueron moderadamente alcalinos, con pH entre 8.5 y 9.0 (tabla 6). Estos resultados indican que los suelos probados fueron aceptables para el cultivo de camarón. Adicionalmente, los valores de pH del suelo fueron similares a los del agua de mar y se consideraron óptimos. Los análisis elementales de estos sustratos no sugieren indicadores respecto a diferencias de desempeño para el crecimiento de camarones peneidos (tablas 6, 7).

DISCUSION

Dado que *P. vannamei* de esta categoría de tamaño se entierra durante las horas del día (Moctezuma y Blake, 1981), los resultados presentados aquí son distintos de los que se esperaban: es sorprendente que el incremento de peso con un sustrato impermeable (ambiente artificial) sea equivalente a, o incluso mayor que el logrado con un sustrato de tierra (ambiente natural), en ambas salinidades probadas. La conclusión partiendo de estos

Table 7. Selected elemental composition (in ppm) of three substrates used in the 56-day outdoor tank study with *Penaeus vannamei* stocked at 15/m².

Tabla 7. Composición elemental seleccionada (en ppm) de los tres sustratos usados en el estudio de *Penaeus vannamei*, 15/m², cultivado en tanques al aire libre, durante 56 días.

Substrate	Zn	Fe	Mn	Cu	Na	S
Fine sand	0.16	45.4	0.65	0.12	3386	361
Coarse sand	0.16	4.8	0.78	0.04	20	5
Clay	0.09	24.9	0.94	0.80	6922	481

sity difference is of interest in understanding fertilization regimes, but it should have no effect on conclusions concerning the influence of substrate on growth since treatments were compared only within salinity group and all treatments within a salinity group were treated identically.

Differences in natural forage availability could be expected to play a role in treatment differences over the 56-day period of the experiment. Shrimp are omnivorous and opportunistically utilize a broad variety of plant and animal nutrient sources, such as phytoplankton, zooplankton, epiphytes, bacteria, and infauna such as small crustaceans, bivalves and polychaetes (Moriarty, 1977; Marte, 1980; Boddeke, 1983; El Hag, 1984; Gleason and Wellington, 1988; Stoner and Zimmerman, 1988; Leber and Pruder, 1988). Therefore, it is entirely possible that treatment differences observed (other than those related to salinity) are related to differences in natural productivity in/on substrates. The fact that clay performed more poorly than other substrates could also be related to natural productivity, for a different reason. This treatment had higher water column turbidity due to suspended clay fines. The blocking of light could be expected to lower photosynthesis and alter the food chain in the culture vessels.

The following conclusions can be summarized from this study:

- 1) An impermeable substrate (bare fiberglass tank bottoms) produced significantly higher growth than earthen substrates for outdoor culture of *P. vannamei*.
- 2) Sand substrates produced significantly higher growth than clay substrate at 27 ppt, and higher (but not significantly higher) growth than clay at 45 ppt.
- 3) Growth was 15.5 to 20.9% higher at moderate salinity (27 ppt) than at high salinity (45 ppt). Although direct experimental comparison was not made in this study, recent experiments at Texas A&M have confirmed similar growth differential related to salinity.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was funded in part under Grant No. H-8158 from the Texas Agricul-

datos es que un sustrato impermeable es buen medio para cultivar *P. vannamei*. Las membranas plásticas o un sustrato de concreto pueden considerarse buenas elecciones como sistemas de cultivo para producción intensiva de *P. vannamei*. En contraste, hay informes sobre el mejor desempeño de algunas especies, como *P. monodon* y *P. japonicus*, en sustratos terrosos que en impermeables (Liao y Chao, 1983; Liao, 1969, respectivamente).

Cualquier cuestión de toxicidad de sustratos del suelo *per se* es poco probable, porque al parecer todos los sustratos probados, provenientes de diferentes lugares, mostraron las mismas características. Otra pregunta que podría hacerse es si los sustratos de suelo no se desempeñaron tan bien por causa de las minúsculas cantidades de sulfuro de hidrógeno producidas en subsuelo anaeróbico. Esto tampoco parece probable, por varias razones: 1) los sustratos del suelo fueron todos bajos en materia orgánica y todos estaban secos al principio, 2) la columna de agua se mantuvo en estado oxigenado continuamente, con las bombas de aire, 3) se colocó una biomasa relativamente ligera en el sistema, y 4) los niveles de alimentación se mantuvieron intencionadamente bajos, para evitar ensuciar el fondo de los tanques. Sin embargo, el sulfuro de hidrógeno se produce naturalmente en ambientes anaeróbicos y es tóxico para el camarón marino (Theede *et al.*, 1969; Boyd, 1989), por tanto, la posibilidad de que haya intervenido en este estudio no puede excluirse hasta que sea más estudiada.

Es interesante que el bajo nivel de fertilización con nitrógeno solo, introducido por accidente en el aprovisionamiento de agua dulce, aproximadamente 0.178 mg/l de $\text{NH}_4\text{-N}$ total por día, haya tenido un efecto tan pronunciado y evidente en la abundancia de fitoplancton. Considerando un volumen total de aproximadamente 1 068 l (282 galones), la adición diaria de $\text{NH}_4\text{-N}$ llegó a ser aproximadamente 0.178 mg/l para el volumen total del tanque. Villalon (1991) recomendó concentraciones de 1.3 ppm de nitrógeno y 0.15 ppm de fósforo para estimular el fitoplancton en estanques semintensivos. De cualquier manera, esta proporción debería usarse sólo semanalmente o con menor frecuencia. Si se promedia por semana, la concentración de nitrógeno por litro es similar a la adición de bajo nivel accidentalmente usada en la primera parte de este estudio. La diferencia de densidad de

tural Experiment Station, Texas A&M University System, and Grant No. 88-38808-3319 from the U.S. Department of Agriculture, Cooperative State Research Service.

REFERENCES

- Aziz, K.A. and Greenwood, J.G. (1982). Response of juvenile *Metapenaeus bennettiae* Racek & Dall, 1965 (Decapoda, Penaeidae) to sediments of differing particle size. *Crustaceana*, 43(2): 121-126.
- Boddeke, R. (1983). Survival strategies of penaeid shrimps and their significance for shrimp culture. In: G. Rogers, R. Day and A. Lim (eds.), **Proceedings of the First International Conference on Warmwater Aquaculture- Crustacea**. Brigham Young University, Laie, Hawaii, 9-11 February, pp. 514-523.
- Boyd, C.E. (1989). **Water quality management and aeration in shrimp farming**. Fisheries and Allied Aquacultures Departmental Series No. 2. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama, 83 pp.
- Edwards, R.R.C. (1976). Field experiments on growth and mortality of *Penaeus vannamei* in a Mexican coastal lagoon complex. *J. Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 5: 107-121.
- El Hag, E.A. (1984). Food and food selection of the penaeid prawn *Penaeus monodon* (Fabricius). *Hydrobiologia*, 110: 213-217.
- Everhart, W. and Youngs, W.D. (1981). **Principles of Fishery Science**. Cornell University Press, Ithaca, New York, USA, 349 pp.
- Gleason, D.F. and Wellington, G.M. (1988). Food resources of postlarval brown shrimp (*Penaeus aztecus*) in a Texas salt marsh. *Mar. Biol.*, 97: 329-337.
- Leber, K.M. and Pruder, G.D. (1988). Using experimental microcosms in shrimp research: the growth-enhancing effect of shrimp pond water. *J. World Aquacult. Soc.*, 19: 197-203.
- Liao, I.C. (1969). Study on the feeding of "kuruma" prawn, *Penaeus japonicus* Bate. **Collected Reprints of the Tungking Mar. Lab.**, 1969-1971, 1. 17-24
- fitoplancton observada es interesante para comprender los regímenes de fertilización, pero no debe afectar las conclusiones respecto a la influencia del sustrato en el crecimiento, puesto que los tratamientos se compararon únicamente dentro de un grupo de salinidad y todos los de un mismo grupo se trataron de idéntica manera.
- Podría esperarse que las diferencias en disponibilidad de alimento natural tuvieran un papel importante en las diferencias de los tratamientos durante los 56 días del experimento. Los camarones son omnívoros y utilizan con oportunismo una amplia variedad de fuentes nutrientes animales y vegetales, fitoplancton, zooplancton, epifitas, bacterias e infauna como pequeños crustáceos, bivalvos y poliquetos (Moriarty, 1977; Marte, 1980; Boddeke, 1983; El Hag, 1984; Gleason y Wellington, 1988; Stoner y Zimmerman, 1988; Leber y Pruder, 1988). Por tanto, es enteramente posible que las diferencias observadas entre los tratamientos (aquéllas no relacionadas con la salinidad) tengan que ver con diferencias en la productividad natural en o sobre los sustratos. El hecho de que la arcilla se haya desempeñado con resultados no tan buenos como los otros sustratos puede también relacionarse con la productividad natural, por una razón diferente. Este tratamiento tiene mayor turbiedad en la columna de agua, a causa de las arcillas finas suspendidas. Al dificultarse el paso de la luz, es de esperarse que disminuya la fotosíntesis y se altere la cadena alimenticia en los recipientes de cultivo.
- De esta investigación se pueden presentar, en síntesis, las siguientes conclusiones:
- 1) Un sustrato impermeable (el simple fondo de tanques de fibra de vidrio) produjo un crecimiento significativamente mayor que los tratamientos con sustratos de tierra, para cultivo en exteriores de *P. vannamei*.
 - 2) Los sustratos de arena produjeron crecimiento significativamente mayor que el sustrato de arcilla con 27 ppM de salinidad, y mayor crecimiento (pero no significativamente mayor) que el de arcilla con 45 ppM de salinidad.
 - 3) El crecimiento fue de 15.5 a 20.9% mayor con salinidad moderada (27 ppM) que con salinidad alta (45 ppM). Aunque en este estudio no se hizo comparación experimental

- Liao, I.C. and Chao, N.H. (1983). Development of prawn culture and its related studies in Taiwan. In: G. Rogers, R. Day and A. Lim (eds.), **Proceedings of the First International Conference on Warmwater Aquaculture-Crustacea**, Brigham Young University, Laie, Hawaii, 9-11 February, pp. 127-142.
- Marte, C.L. (1980). The food and feeding habit of *Penaeus monodon* Fabricius collected from Makato River, Aklan, Philippines (Decapoda: Natantia). **Crustaceana**, 38: 225-236.
- Moctezuma, M.A. and Blake, B.F. (1981). Burrowing activity in *Penaeus vannamei* Boone from the Caimanero-Huizache Lagoon system on the Pacific coast of Mexico. **Bull. Mar. Sci.**, 31(2): 312-317.
- Moller, T.H. and Jones, D.A. (1975). Locomotory rhythms and burrowing habits of *Penaeus semisulcatus* (de Haan) and *P. monodon* (Fabricius) (Crustacea: Penaeidae). **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.**, 18: 61-77.
- Moriarty, D.J.W. (1977). Quantification of carbon, nitrogen, and bacterial biomass in the food of some penaeid prawns. **Aust. J. Mar. Freshwater Res.**, 28: 113-118.
- Ruello, N.V. (1973). Burrowing, feeding and spatial distribution of the school prawn *Metapenaeus macleayi* (Haswell) in the Hunter River region, Australia. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.**, 13: 189-206.
- Rulifson, R.A. (1981). Substrate preferences of juvenile penaeid shrimp in estuarine habitats. **Contrib. Mar. Sci.**, 24: 35-52.
- SAS Institute Inc. (1985). **SAS Procedures guide for personal computers**, Version 6 Edition. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Solorzano, L. (1969). Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochlorite method. **Limnol. Oceanogr.**, 14: 799-801.
- Spotte, S. (1979). **Fish and invertebrate culture**. John Wiley and Sons, New York, USA, 179 pp.
- directa, experimentos recientes en Texas A&M han confirmado un diferencial de crecimiento parecido en relación con la salinidad.
- ### AGRADECIMIENTOS
- Esta investigación fue parcialmente financiada con las asignaciones No. H-8158 de la *Texas Agricultural Experiment Station*, de *Texas A&M University System*, y No. 88-38808-3319 del *Cooperative State Research Service* del Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América.
- Traducido al español por Olivia Gómez Mora.
-
- Stoner, A.W. and Zimmerman, (1988). Food pathways associated with penaeid shrimps in a mangrove-fringed estuary. **Fish. Bull.**, 86(3): 543-551.
- Subrahmanyam, C.B. and Oppenheimer, C.H. (1970). Food preference and growth of grooved penaeid shrimp. In: H.W. Youngken, Jr. (ed.), **Food-Drugs from the Sea Proceedings 1969**. Marine Technology Society, Washington, D.C., USA, pp. 65-75.
- Theede, H., Ponat, A., Hiroki, K. and Schlieper, C. (1969). Studies on the resistance of marine bottom invertebrates to oxygen-deficiency and hydrogen sulphide. **Mar. Biol.**, 2(4): 325-337.
- Villalon, J.R. (1991). **Practical manual for semi-intensive commercial production of marine shrimp**. TAMU-SG-91-501, Texas A&M University Sea Grant College Program, College Station, Texas, USA.
- Wickins, J.F. (1976). Prawn biology and culture. **Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.**, 14: 435-507.
- Williams, A.B. (1958). Substrates as a factor in shrimp distribution. **Limnol. Oceanogr.**, 3(3): 283-290.