

# **RESPIRACIÓN DE FONDO EN ESTANQUES DE CULTIVO DE CAMARONES EN LA BARCÉS (SUCRE), CARIBE COLOMBIANO**

Measurements of bottom soil respiration in farming ponds for shrimp in La Barcés (Sucre), Colombian Caribbean

Alejandro Ramírez-Echeverri<sup>1</sup>, Yoram Avnimelech<sup>2</sup>, Sergio Martínez-Ibarra<sup>3</sup>  
Ricardo Álvarez-León<sup>4</sup>

## **RESUMEN**

El estudio fue realizado en la granja camaronera Cartagenera de Acuicultura, localizada en La Barcés (Sucre). Se realizaron mediciones del consumo de oxígeno por parte del suelo, la columna de agua así como la producción de oxígeno en la columna de agua, para tal fin se implementaron tres tratamientos de fertilización orgánica durante el ciclo de cultivo: (A) 200 kg/ha de soya, durante la preparación de fondo, y 11 kg/ha de soya semanales aplicados al estanque diariamente durante el ciclo de producción; (B) 200 kg/ha de soya, durante la preparación de fondo y 11 kg/ha de soya semanales durante el ciclo de producción, suplementariamente se realizó una fertilización inorgánica adicional la cual corresponde a la aplicación de 10 kg/ha de DAP y nitrato de amonio durante la preparación, seguidos de 2 kg/ha de DAP semanales durante las primeras tres semanas; (C) 50 kg/ha de soya, durante la preparación de fondo, y 23 kg/ha de soya semanalmente durante el ciclo de producción. Estos tratamientos fueron aplicados a estanques, sembrados con *Litopenaeus vannamei*. Para la determinación en la respiración del suelo se utilizaron cámaras de respiración, para la respiración en la columna de agua se utilizó la metodología de botellas claras y oscuras. La demanda de oxígeno corresponde a 0.0395, 0.15 y 0.064 gr O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> hr<sup>-1</sup>, para cada uno de los tratamientos A, B y C. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la respiración de fondo entre los tratamientos siendo el B, el que presenta un mayor índice de consumo. La respiración promedio en la columna de agua para cada tratamiento corresponde a 0.345, 0.364 y 0.368 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. La respiración en la columna de agua es superior a la del sedimento en los tratamientos A y C, ocurriendo lo contrario en el tratamiento B. La producción de oxígeno en la columna de agua para los tratamientos A, B y C, corresponde a 1.047, 0.814, y 1.028 g O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup>.

**Palabras-claves:** *Litopenaeus vannamei*, respiración y producción de oxígeno, suelos, columna de agua, Caribe, Colombia

## **ABSTRACT**

Measurements of bottom soil respiration, water column respiration, and oxygen production were made in three different ponds stocked with *Litopenaeus vannamei*, with three different treatments of organic fertilization, described below: (A) 200 kg/ha of soy, during the bottom preparation, and 11 kg/ha of soy weekly; (B) 200 kg/ha, during the bottom preparation, and 11 kg/ha of soy weekly during the crop cycle, an extra application of inorganic fertilizer were made based on 10 kg/ha of DAP and ammonium nitrate during the preparation, followed by 2 kg/ha of DAP weekly during the first three weeks; (C) 50 kg/ha of soy, during the bottom preparation, and 23 kg/ha of soy applied weekly during the crop cycle. Bottom soil respiration was determined by benthos chambers, and clear and dark bottles methodology for water column respiration and production. The soil oxygen demand corresponds to 0.0395, 0.15 y 0.064 gr O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> hr<sup>-1</sup>, for each treatment A, B, and C. The average respiration in the water column for treatments A, B, and C, are 0.345, 0.364 y 0.368 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Water column respiration was higher in treatments A, C, and lower in B. The values for oxygen production in the water column are 0.047, 0.814, y 1.028 g O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup>, for treatments A, B and C.

**Key words:** *Litopenaeus vannamei*, respiration and production of oxygen, soils, water column, Caribbean Sea, Colombia

<sup>1</sup> Manizales (Caldas) Colombia, alejoramirez00@hotmail.com;

<sup>2</sup> Technion Israel of Technology. Haifa (Israel), agyoram@tx.technion.ac.il;

<sup>3</sup> Cartagenera de Acuicultura. Cartagena (Bolívar) Colombia, smartinez@cartacua.com; <sup>4</sup> Fundación Maguaré. Manizales (Caldas) Colombia, alvarez\_leon@yahoo.com

## INTRODUCCIÓN

### Marco teórico

Colombia es un país privilegiado al poseer una gran diversidad biológica, condiciones ambientales ideales y abundantes recursos hídricos, para el cultivo de recursos hidrobiológicos. Cuenta con dos costas, una sobre el Mar Caribe y otra en el Océano Pacífico y presenta ecosistemas que representan un gran potencial acuícola.

La costa Caribe colombiana tiene una longitud de 1560 km, la cual recibe el aporte de numerosos ríos, quebradas y de lagunas costeras, aportan un flujo de abundantes nutrientes de origen continental. El cultivo de camarones marinos se desarrolla al norte y al sur de Cartagena de Indias en la Bahía de Barbacoas y en otras regiones tales como la Bahía de Cispatá (Córdoba), Galerazamba (Atlántico), y Punta Comisarios (Sucre). (INPA,1995).

La camaricultura trata básicamente de engordar el camarón a partir de la máxima cantidad de postlarvas en condiciones parecidas a las que encuentran en los estuarios antes de su migración al mar, evitando la fase migratoria desde el estuario hacia el mar y obligándolo a terminar su crecimiento hasta adulto bajo condiciones controladas en estanques (Wedler, 1998).

Los estanques son cuerpos de agua artificiales, los cuales se construyen a partir de movimientos de tierra en un área específica, que debe reunir condiciones ideales de topografía, suelos, agua, y área que justifiquen el proyecto. La superficie del fondo de los estanques originalmente debe ser preferiblemente de arcilla, arenas y limo, a la cual se le ha removido la vegetación.

Los suelos juegan un papel fundamental en estanques destinados a la acuicultura, pues liberan y guardan nutrientes, además de materia orgánica y proveen un medio de crecimiento para los organismos bénticos, plantas y bacterias asociadas. Estos organismos pueden proveer alimento para los camarones, reciclar los nutrientes disponibles y degradar la materia orgánica (Boyd, 1989).

A pesar de que los camarones nadan frecuentemente, pasan la mayoría del tiempo buscando alimento en el fondo del estanque, por esta razón la condición del fondo tiene un mayor efecto en el camarón. Mantener un fondo saludable es esencial en todos los sistemas de cultivo (Chanratchakool et al., 1998).

En este caso es utilizado el sistema de tipo semi - intensivo, el cual se efectúa básicamente con fines comerciales; las cosechas y las siembras se llevan a cabo periódicamente obedeciendo a

una programación de la producción. Se realiza un control permanente de calidad de agua y se practican abonamientos frecuentes con materiales orgánicos e inorgánicos. Bajo este sistema semi-intensivo se suministra alimento concentrado, con niveles de proteína previamente establecidos, en forma permanente y se programa la densidad de siembra (Rodríguez-Gómez et al., 1995).

La actividad metabólica en el sistema semi-intensivo es elevada y por lo tanto se producen desechos en grandes volúmenes; generalmente no hay otros tipos de heterótrofos, y unos pocos autótrofos que puedan utilizar los desechos. La energía y los nutrientes en los desechos deben ser removidos para evitar condiciones tóxicas en el ecosistema (Moore, 1986).

### Antecedentes

En el Caribe colombiano se conocen trabajos de tesis sobre fertilización en estanques con materia orgánica e inorgánica, pero se desconoce alguno que se encargue de medir la respiración del fondo en estanques de cultivo con fertilización orgánica, los trabajos mencionados corresponden a tipos de fertilización y sobre estudios de fondos.

A nivel mundial los estudios realizados en respiración de fondo para estanques de cultivo, preparación y composición de los mismos, se han realizado principalmente en los Estados Unidos. Burford & Longmore (2001) realizaron un estudio para determinar la producción de amonio en los sedimentos de estanques con camarones, para ello utilizaron cámaras bénticas *in-situ*, situadas en diferentes zonas del estanque; reportan valores de respiración del sedimento que se encuentran entre un rango de 30-350 mg O<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>/ h

Suplee & Cotner (1996), determinaron cambios en la demanda de oxígeno del suelo, tasas de sulfato-reducción en estanques de camarón; para ello utilizaron cámaras bénticas *in-situ*, y conteos de bacterias sulfato-reductoras mediante el análisis del número más probable. Registraron un incremento en la demanda de oxígeno por parte del sedimento, como también un incremento en la población de bacterias sulfato reductoras en un orden de magnitud y las tasas de sulfato-reducción se incrementaron en dos ordenes de magnitud, registrando los valores más altos hacia el final del ciclo de cultivo, y valores de respiración del sedimento entre 60-330 mg de O<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>/h<sup>-1</sup>.

Boyd & Pippopinyo (1993), estudiaron los factores que influyen en la respiración del suelo durante la fase de secado; utilizaron cámaras de respiración con el fin de medir la influencia de varios tratamientos en la respiración de suelos en estanques

de cultivo expuestos al aire, la humedad óptima para la respiración del suelo corresponde al 12-20 %, un mayor secado reduce la respiración del suelo, la cual es mayor en valores de pH entre 7.0 - 8.0, registrando que la utilización de carbonato e hidróxido de calcio es efectivo para la respiración de suelos con pH bajos, y la fertilización con nitrógeno muestra algún beneficio para la respiración del suelo.

Boyd & Teichert-Coddington (1993) realizaron estudios en la respiración del suelo durante periodos de cultivo y preparación de los mismos, en estanques de cultivo de peces altamente fertilizados. Encontraron que la respiración del suelo es menor a 1g de  $\text{CO}_2$  / $\text{m}^2$ /día durante el periodo de cultivo. Cuando los estanques son secados para la cosecha de los peces, los suelos son expuestos al aire y las tasas de respiración de los mismos registran niveles hasta de 10g de  $\text{CO}_2$  / $\text{m}^2$ /día.

Estudios de laboratorio muestran que el contenido óptimo de humedad para la respiración del suelo es cerca de la saturación, por lo tanto secarlo demasiado como saturarlo, reduce drásticamente la respiración.

Teichert-Coddington & Green (1993) realizaron una comparación de dos técnicas con el fin de determinar la respiración de la comunidad en estanques de tilapia con fertilización orgánica. Registraron la respiración de todo el estanque de cultivo (WPR) a partir de cambios en las concentraciones de oxígeno disuelto corregidos por difusión, la respiración en la columna de agua, la respiración béntica y la de los peces. Se encuentran diferencias significativas entre las dos técnicas; el método utilizado se basa en la determinación de la respiración de fondo (BR) por medio de métodos *in situ* a partir de tubos de PVC dispuestos en el fondo del estanque, desde la parte más somera hasta la más profunda, en 5 diferentes puntos; la respiración en la columna de agua (WCR) es estimada mediante la incubación de muestras en botellas oscurecidas; la respiración por parte de los peces (FR) se define mediante el uso de una regresión desarrollada a partir de la determinaciones en campo para las tasas de respiración a 30 °C de *Oreochromis niloticus*. Asumieron que la respiración total del estanque de cultivo (WPR) es igual a la sumatoria de FR+BR+WCR, concluyeron que existen grandes diferencias entre la respiración total del estanque y la sumatoria de los componentes, lo cual sugiere que la diferencia entre técnicas reside en subestimar los componentes de la comunidad.

Ellis (1992) realizó un estudio sobre los ciclos de oxígeno, carbono, y sulfuro en los sedimentos en estanques con camarones y adicionalmente utilizó

cámaras bénticas para la determinación del consumo de oxígeno por parte del sedimento, registrando valores superiores a 290 mg de  $\text{O}_2$  / $\text{m}^2$ / h.

Hassan & Fajamickam (1990), realizaron estudios en estanques con peces y camarones, determinando la respiración del sedimento a partir del calculo indirecto en la determinación de consumo de oxígeno, a partir de la realización de un presupuesto de oxígeno para todo el estanque y concluyen que la respiración del sedimento se encuentra entre 300 y 1000 mg de  $\text{O}_2$  / $\text{m}^2$  /h.

## MATERIAL Y METODOS

### Tratamientos y manejo de los estanques

**-Manejo previo al llenado.** Las estaciones de medición dentro de los estanques utilizados, conformaron el concepto de "unidad experimental" del ensayo o sea las entidades sobre las cuales se realizó el registro de la información.

A cada estanque previo a la siembra se le realizó un tratamiento denominado de verano en el cual se seca por varios días con la finalidad de reducir u oxidar la materia orgánica en el fondo de los estanques. El tratamiento de verano para cada uno de los estanques de cultivo previo a siembra. incluyó: (1) **A**, secado por 18 días y aplicación de  $\text{CaCO}_3$  1000 kg/ha y pasturina 100 kg/ha; arado y aplicación de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  56 kg/ha y soya 200 kg/ha; (2) **B**, secado por 26 días, sin aplicar  $\text{CaCO}_3$  y adición de pasturina 100 kg/ha; arado y aplicación de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  1000 kg/ha y soya 200 kg/ha; (3) **C**, secado por 26 días y aplicación de  $\text{CaCO}_3$  1000 kg/ha y pasturina 25 kg/ha; arado y aplicación de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  142 kg/ha y soya 50 kg/ha.

**-Manejo posterior al llenado y siembra.** Una vez finalizado el tratamiento de verano, se procedió al llenado de los mismos el cual tuvo una duración de cuatro días para todos los estanques, en los cuales se aplicaron las dosis de fertilización rutinaria tanto de fertilización inorgánica (10 kg/ha de DAP o fosfato diamónico, 10 kg/ha de nitrato de amonio), como orgánica (20 kg/ha de melaza); los días de llenado hasta la siembra fueron los siguientes: tratamiento A (9 días), tratamiento B (13 días) y C (8 días).

Cada estanque se sembró a una densidad de 22 individuos  $\text{m}^2$ , las larvas se sembraron en horas de la noche para los tres estanques y fueron provistas por tres diferentes laboratorios comerciales. La alimentación de las mismas se inició al día siguiente de la siembra, siendo la fechas de la siembra para cada uno de los estanques las siguientes: según el orden de los tratamientos, 12 de Febrero, 22 de Febrero y 13 de Febrero de 2002, respectivamente

para los tratamientos A, B y C. El área en hectáreas de cada uno de los estanques según el tratamiento asignado fue de 8.86, 9.54, y 7.01

Se diseñaron tres tratamientos, cada uno a un estanque, los cuales se iniciaron una vez los estanques fueron sembrados: (1) 200 kg/ha de soya, durante la preparación de fondo, y 11 kg/ha de soya semanales aplicados al estanque diariamente durante el ciclo de producción; (2) 200 kg/ha de soya, durante la preparación de fondo y 11 kg/ha de soya semanales durante el ciclo de producción, adicionalmente se realizó una fertilización inorgánica extra a la de preparación mencionada anteriormente, la cual correspondió a la aplicación de 10 kg/ha de DAP y nitrato de amonio durante la preparación, seguidos de 2 kg/ha de DAP semanales durante las primeras tres semanas; (3) 50 kg/ha de soya, durante la preparación de fondo, y 23 kg/ha de soya semanalmente durante el ciclo de producción.

**-Fuentes de información y variables de respuesta del ensayo.** Para cada fecha de muestreo o lectura periódica se registraron los datos correspondientes a la concentración de oxígeno, como también la temperatura dentro de las cámaras y el correspondiente a las botellas claras y oscuras, los cuales se registraron en mg/l. Las mediciones se realizaron durante los siguientes días durante el ciclo total: **A:** 3, 7, 18, 34, 37, 66, 92, 101, 119; **B:** 4, 7, 16, 20, 29, 34, 67, 92, 103; **C:** 5, 12, 22, 26, 41, 67, 84, 93, 120

Para la medición del oxígeno se utilizó un oxímetro polarográfico YSI 55 de Yellow Springs Instruments; adicionalmente se recopilaron los datos de variables tales como: conteos de plancton (expresados en número de individuos por mililitro), registros de concentraciones de oxígeno diarios en miligramos por litro y densidad de organismos bentónicos determinado en individuos por metro cuadrado.

**-Respiración en la columna de agua.** Las mediciones para determinar la respiración en la columna de agua se llevaron a cabo durante los mismos días en que se realizaron las mediciones de fondo, a lo largo del ciclo de cultivo para cada estanque; las mediciones se realizaron en el lapso de tiempo comprendido entre las 9 a.m. y 1 p.m. ; los valores de respiración se expresaron en mg/l y para tal fin se determinaron las concentraciones iniciales y finales de oxígeno dentro de las botellas claras y oscuras, teniendo en cuenta que el oxígeno inicial es igual en ambas.

La disminución en la concentración de oxígeno disuelto en la botella oscura representa la

cantidad del mismo consumido por la respiración de todos los organismos en la botella. El incremento del oxígeno disuelto en la botella clara, representa la cantidad producida por la fotosíntesis, la cual excede el consumo del elemento debido a procesos respiratorios.

El incremento en el oxígeno disuelto en la botella clara representa la producción neta de este por la comunidad, desestimando la fotosíntesis neta (verdadera) debido a que hay otros organismos además del fitoplancton consumiendo el oxígeno. Mediante las siguientes formulas es posible determinar la respiración en cada una de las botellas:

Fotosíntesis Neta:

O.D Botella Clara - O.D Botella Inicial

Fotosíntesis Bruta:

O.D Botella Clara - O.D Botella Oscura

Respiración:

O.D Botella Inicial- O.D Botella Oscura

**-Respiración de fondo.** Con la finalidad de estimar el cambio en la concentración del oxígeno disuelto atribuible a la respiración del suelo, se realizaron los cálculos correspondientes a partir de los valores de oxígeno inicial y final dentro de las cámaras y los valores correspondientes al consumo de oxígeno en las botellas claras y oscuras, lo cual permite hacer una corrección al componente respiración en la columna de agua atribuible al plancton, y separarlo del componente suelo y de esta forma determinar el consumo de oxígeno atribuible a este componente. Para estimar la cantidad de oxígeno consumido por parte del sedimento es necesario realizar los siguientes cálculos, y considerar las siguientes variables:

Oxígeno inicial dentro de la cámara (Oic), Oxígeno final dentro de la cámara (Oif), Tiempo inicial de incubación (Ti), Tiempo final de incubación (Tf) y Profundidad del sedimento (Ps). Por lo tanto el consumo de oxígeno dentro la cámara de incubación es igual a:  $Dosr = (Oic - Oif)$ . El tiempo de incubación corresponde a:  $Dtr = (Ti - Tf)$ .

Para determinar el consumo en unidad de tiempo dentro de la cámara de incubación:  $Cot = Dosr / Dtr$ . Para establecer la cantidad de oxígeno consumido dentro de la cámara por unidad de área, es necesario realizar la siguiente operación:  $Cc = Cot * Ps$

Por lo tanto el consumo dentro de las cámaras es asumido para la respiración en la columna de agua y la respiración del sedimento por lo tanto es

necesario restar la cantidad de oxígeno consumido en la columna de agua a partir de las botellas claras y oscuras y a este componente restarle la cantidad obtenida dentro de las cámaras para determinar la respiración por parte del sedimento.

La respiración en la columna de agua es igual a:  $R_{ca} = O_2 \text{ Inicial} - O_2 \text{ Final (Botella oscura)}$ . El tiempo de incubación dentro las botellas corresponde a: Tiempo inicial de incubación:  $T_{ib}$ , Tiempo final de incubación:  $T_{fb}$ , y  $D_{tb} = (T_{ib} - T_{fb})$ . Para determinar el consumo en unidad de tiempo dentro de las botellas:  $R_p = R_{ca} / D_{tb}$ .

Con la finalidad de estandarizar el consumo de oxígeno dentro de las cámaras a la misma unidad de área, el resultado obtenido de  $R_p$ , debe ser multiplicado por la variable  $P_s$ , para que queden en iguales unidades:  $R_{pca} = R_p * P_s$ .

El consumo de oxígeno atribuido a la respiración del sedimento es igual a la resta del consumo realizado por parte de la columna de agua y la respiración dentro de la cámara por lo tanto:  $R_s = C_c - R_{pca}$ .

**-Formas de realización de muestreos y sitios de muestreo en los estanques.** La metodología usada permitió establecer la respiración de fondo *in-situ* y se basó en medir el descenso en la concentración de oxígeno en una muestra de agua incubada en contacto con el fondo del estanque tal como ha sido registrado por Burford & Longmore (2001), Suplee & Cotner (1996), y Ellis (1992). El número de sitios por muestreo correspondiente a la respiración de fondo fue de 5 por estanque, en el cual cada sitio lleva una cámara de incubación (Figura 1).

Los sitios de muestreo para cada uno de los estanques corresponden a las diferentes partes regiones de los estanques de cultivo, por lo tanto a cada estación se le denominó de la siguiente manera: (1) Entrada, (2) Canal Derecho, (3) Mesa, (4) Canal Izquierdo, (5) Salida.

Para la medición de la respiración de fondo, se construyeron 15 cámaras, a partir de tanques de 45 litros de capacidad, a los cuales se les acopló un tubo de PVC, de 150 cm de altura, con la finalidad de introducir el electrodo del oxímetro y facilitar las mediciones correspondientes en cada uno de los estanques; cada cámara en la parte inferior lleva dos orificios laterales como puntos de anclaje al fondo, para lo cual se usaron 2 varillas de hierro por estanque, para un total de 30.

Las cámaras se ubicaron en cada uno de los puntos mencionados por estanque, con la finalidad de realizar las mediciones; para tal objeto fue necesario sumergirlas totalmente en el agua para luego anclarlas en cada uno de los puntos.

El tiempo de incubación por cámara correspondió a 4 horas, en las cuales se tomaron los valores oxígeno inicial y final al cabo del tiempo de incubación, donde se registraron las variables oxígeno en miligramos de oxígeno disuelto por litro, como también temperatura en grados centígrados.

Los cinco lugares de muestreo fueron marcados mediante el uso de varas, con la finalidad de realizar los muestreos en los mismos lugares durante el ciclo de cultivo.

Para la metodología correspondiente a las botellas claras y oscuras fue necesario la construcción de tres soportes metálicos con amarres paralelos movibles con la finalidad de ubicar las botellas a las profundidades deseadas, como también la consecución de 30 botellas vacías para realizar dicho experimento: 15 de las botellas mencionadas fueron pintadas de color negro (botellas oscuras) y las 15 restantes permanecieron translúcidas.

La realización de tal experimento tuvo como finalidad la determinación del cambio de oxígeno disuelto en muestras de agua incubadas por un tiempo determinado bajo el agua.

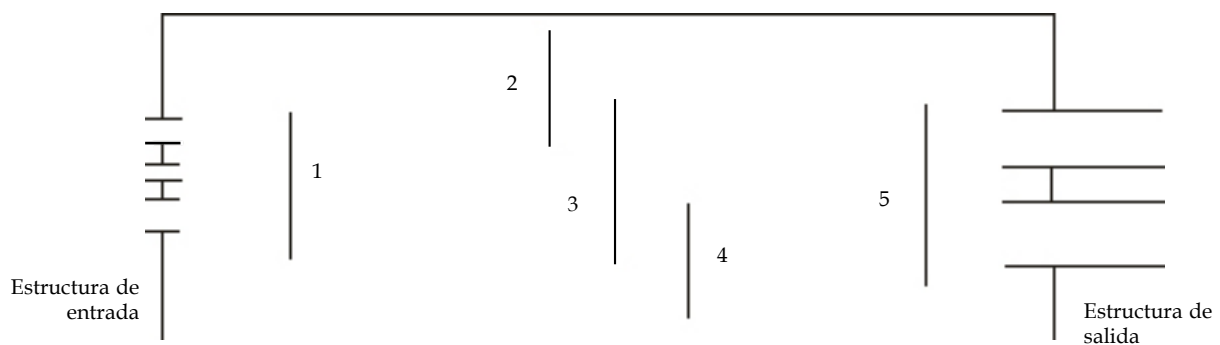


Figura 1 - Ubicación de las estaciones de muestreo dentro de cada estanque.

**-Manejo estadístico de la información.** Para el tratamiento estadístico de los datos se realizó un Análisis de Varianza (ANDV) mediante el software SAS (Statistical Analysis System).

La variable de respuesta analizada fue el nivel de respiración cuantificada en unidades miligramos por litro, la cual fue registrada a nivel de estanque para cada una de las 5 mediciones o registros tomados como repeticiones de la variable.

La unidad experimental considerada fue cada una de las estaciones dentro de los estanques o piscinas de experimentación en los cuales se registraron las diferentes mediciones; el Diseño Experimental aplicado es el Diseño Completamente Aleatorio (CAA), para lo cual se asumió que las unidades experimentales conservaban entre sí una relativa homogeneidad; se registró como variable dependiente la variable "respiración" para cada uno de los tratamientos del ensayo: A, B, C, para un total de 15 observaciones para el análisis estadístico inferencial, considerando las 5 repeticiones por tratamiento.

La prueba de significancia del experimento se determinó aplicando la técnica del "Análisis de Varianza" y la prueba de comparación múltiple entre los tratamientos se realizó mediante la prueba de Tukey utilizando un nivel de significancia de la prueba del 5%.

Mediante la prueba de Tukey se comprobó la respuesta diferencial de los tres tratamientos de aplicación de materia orgánica, comprobando el de mayor respuesta con relación a la variable "respiración" analizada.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Con la finalidad de graficar los resultados de cada uno de los componentes, respiración en la columna de agua, respiración de fondo, productividad primaria, y bentos, los resultados graficados se estandarizaron por muestra las cuales fueron tomadas los mismos días por tratamiento, cabe anotar que debido a la amplitud de los días en los cuales fueron tomadas dichas muestras, la tendencia de la gráfica varía para cada uno de los tratamientos.

**-Respiración del suelo.** La demanda promedio de oxígeno durante todo el ciclo de cultivo, para los tratamientos A, B y C corresponden respectivamente a 0.0395, 0.15 y 0.064 gr O<sub>2</sub> m<sup>2</sup> hr<sup>-1</sup>.

La demanda de oxígeno por parte del sedimento se encuentra dentro del rango registrado para estudios mediante cámaras de respiración *in*

*situ*, en estanques de cultivo con camarón marino, por: Ellis (1992), Suplee & Cotner (1996) y, Burford & Longmore (2001). Para otras especies y estudios los valores se encuentran dentro de lo registrado por Daniels & Boyd (1989), Hassan & Fajamanickam (1990) y Teichert-Coddington & Green (1993).

No se detectó respiración por parte del sedimento al inicio del estudio para los tratamientos A y C, a diferencia del tratamiento B, el cual si la presenta. Para los tres tratamientos se pueden observar variaciones en la respiración del sedimento durante el resto de los muestreos; los días en que se observan los mayores valores de respiración en el sedimento para los tratamientos A, B y C corresponden a las muestras 5, 4 y 6 (Figura 2).

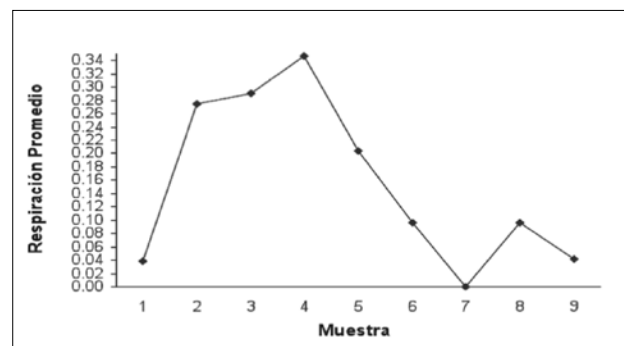


Figura 2 - Respiración promedio por muestra para las cinco estaciones; el promedio representa el consumo de oxígeno por parte del sedimento expresado en g/m<sup>2</sup>/h.

Los días que presentan una mayor respiración de fondo en los tratamientos B y C corresponden a aquellos donde se registró el rango más elevado de poliquetos, lo cual no ocurre para el tratamiento A, debido a que este presentó el mismo grado hasta los 69 días.

Los valores más altos de respiración durante estos días se deben al bentos, lo cual es afirmado por Romano-Benítez (1996), donde demuestra que la mayor cantidad de bentos por m<sup>2</sup> es alcanzada durante la tercera y cuarta semana de haber sido sembrados los estanques, en este caso la mayor cantidad de bentos por m<sup>2</sup> se encuentra entre la tercera y la quinta semana.

Lo cual se interpreta como un incremento por m<sup>2</sup> del bentos, sumado a la materia orgánica presente aumentan la demanda de oxígeno por parte del sedimento, la biomasa de los organismos zoobentónicos generalmente aumenta, con el incremento de los nutrientes (Nees, 1946; Hall *et al.*, 1970).

La materia orgánica adicionada durante la preparación, tiene como finalidad preparar el suelo

para que los organismos bentónicos se desarrollen rápidamente en el estanque, una vez estos son llenados, pues el bentos es de gran importancia para la alimentación del camarón (Romano-Benítez, 1996). La fertilización orgánica esta asociada al incremento en la población de macroinvertebrados béticos. (Tidwell *et al.*, 1995), lo cual es considerado como un efecto de la utilización de la misma.

El oxígeno respirado en el sedimento incluye la descomposición aeróbica de la materia orgánica por bacterias heterotróficas, autotróficas y la respiración de macroinvertebrados béticos (Boyd & Tucker, 1998).

La descomposición de la materia orgánica es realizada por microorganismos que la usan como alimento, factores como la temperatura, pH, y la naturaleza de la materia orgánica afectan la tasa de descomposición de ésta. (Boyd, 1995).

El rango en el ensayo se mantuvo entre los grados uno y dos (Tabla I), para los tres estanques durante el ciclo de cultivo; las disminuciones durante el transcurso del ciclo pueden ser el resultado de la depredación por parte del camarón, lo cual puede limitar la aparición del mismo. El zoobentos juega un papel muy importante en la alimentación del camarón de acuerdo a los trabajos de Moriarty *et al.* (1983), Lanari *et al.* (1989) y Reymond & Lagardere (1990). El camarón ejerce una fuerte presión de predación sobre los representantes bentónicos dominantes de la macrofauna y/o meiofauna regulando los cambios estructurales de la fauna (Romano-Benítez, 1996).

Tabla I - Rango de poliquetos /m2 presentes en los estanques.

Rango	Cantidad de poliquetos /m <sup>2</sup>
0	0
1	1-5
2	6-9
3	10-19
4	20-29
5	30 en adelante

#### -Registro de los valores de respiración.

Los puntos de muestreo donde se registraron los valores mas elevados con respecto a la respiración del sedimento corresponden al punto 5 para el tratamiento A, punto 3 del tratamiento B, y punto 2 del tratamiento C (Figura 1), lo cual corresponde en su orden a las zonas de la Salida, Mesa y Canal de Drenaje; esto demuestra que no existe una uniformidad en la respiración del sedimento en

cuanto a los sitios de muestreo y por lo tanto en cada estanque se presentan condiciones diferentes; estos resultados determinan que estos son los sitios donde ocurre una mayor actividad en cuanto a la respiración del sedimento.

Para el caso del tratamiento A el sitio que presenta una mayor respiración del sedimento corresponde a la zona de la salida, en la cual es donde se tienden a acumular todos los desechos provenientes del estanque, los cuales son conducidos por el canal de drenaje; tal punto también representa un mayor nivel de actividad para el caso del tratamiento C; finalmente para el tratamiento B la zona en presentar una mayor respiración en el sedimento corresponde a la parte central del estanque, lo cual es atribuible a la materia orgánica acumulada durante el ciclo de cultivo y los organismos macrobentónicos contenidos en ésta.

Tabla II - Respiración promedio para cada estación de muestreo, TTO, tratamientos, R. F. respiración del sedimento, expresados en g de O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/h.

Tratamiento	Estaciones	R. F.
A	1	0.0020
	2	0.045
	3	0.051
	4	0.038
	5	0.061
B	1	0.178
	2	0.145
	3	0.212
	4	0.130
	5	0.091
C	1	0.009
	2	0.098
	3	0.080
	4	0.087
	5	0.054

Con la finalidad de establecer si hay diferencias significativas en cuanto a los tratamientos y su influencia en la respiración del fondo se plantearon las siguientes hipótesis,

**H<sub>0</sub>:** Hay diferencias significativas en cuanto a la respiración de fondo entre tratamientos de ensayo.

**H<sub>a</sub>:** No existen diferencias significativas en cuanto a la respiración de fondo entre los tratamientos de ensayo.

Se comprueba que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos del ensayo mediante la prueba estadística de F "Fisher".

### - Prueba de comparación múltiple entre tratamientos

Tabla III - Tratamientos mediante el test de Tukey al nivel de significancia del 5%, donde los tratamientos con la misma letra se consideran con igual efecto.

Agrupación de Tukey	Media	Tratamiento
A	1.5120	B
B	0.7760	C
B	0.3952	A

Con la finalidad de establecer entre cuales tratamientos existen diferencias estadísticamente significativas se realizó el test de Tukey, el cual arrojó como resultado que el tratamiento B es el de mejor respuesta (promedio =1.5120) respecto a los otros tratamientos A y C del ensayo, o sea que se registra una diferencia estadísticamente significativa con respecto a los tratamientos mencionados; a su vez entre los tratamientos C y A no se registran diferencias significativas o sea que se considera que su respuesta es igual con respecto a la variable "respiración" analizada.

**-Respiración columna de agua.** La respiración promedio ponderada para los tres tratamientos A, B y C corresponde respectivamente a 0.345 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/h, 0.364 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/h y 0.368 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/h, los valores promedio encontrados para la respiración en la columna de agua fueron superiores a los registrados para estanques de camarones, 0.13 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/h (Fast *et al.*,1988), se registran adicionalmente valores de

0.29 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/h en estanques con carpas (Schroeder, 1975), y de 0.36 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/h en estanques con tilapias (Zur, 1981), 0.240 a 0.822 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/h (Teichert-Coodigtong & Green, 1993).

La respiración en la columna de agua se determinó en botellas de 470 ml, lo cual no simula un estanque abierto donde las células del plancton y el material orgánico particulado se encuentra en constante mezcla con nutrientes y gases, lo anterior puede influir en la determinación de la misma, subestimando la valoración. Para minimizar el error se realizaron incubaciones por duplicado para cada tratamiento, siendo probable que la respiración en la columna de agua sea menor, bajo condiciones de viento, se debe tener en cuenta que la respiración en la columna de agua se realizó durante horas del día, en las cuales no hay consumo de oxígeno por parte del fitoplancton, sino producción, por lo tanto los valores de respiración en la columna de agua se asumen dentro de las botellas oscuras, como consecuencia los valores pueden ser superiores, (Boyd, 1995).

La dinámica del oxígeno, en los estanques de cultivo se encuentra dominada por las poblaciones fitoplanctónicas, estas poblaciones fotosintetizan durante el día, incrementando las concentraciones de oxígeno, la respiración solamente ocurre en la noche, por lo tanto el consumo en la columna de agua es un valor aproximado del consumo realizado; para este estudio la respiración en la columna de agua no se realizó durante horas de la noche.

Para cada uno de los tratamientos se observa una variabilidad temporal en cuanto a la respiración en la columna de agua (Figuras 3, 4, 5).

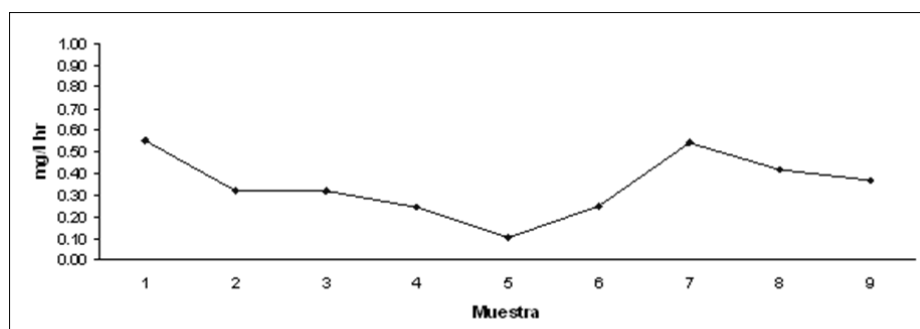
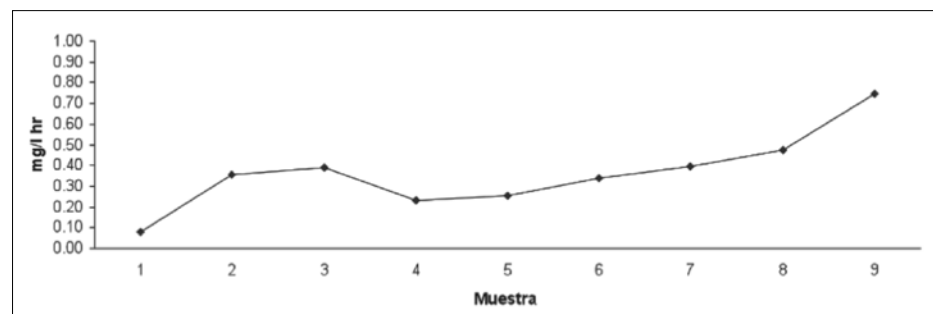


Figura 3 - Respiración promedio en la columna de agua, en las muestras del tratamiento A.

Figura 4 - Respiración promedio en la columna de agua, en las muestras del tratamiento B.





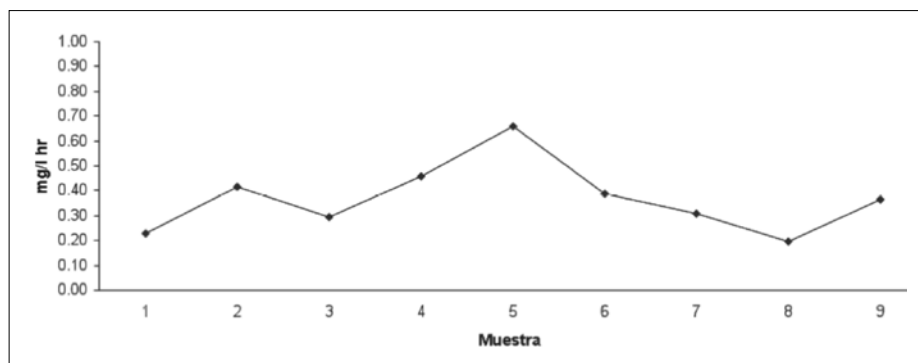


Figura 5 - Respiración promedio en la columna de agua, en las muestras del tratamiento C.

Adicionalmente se debe tener en cuenta que existen numerosos factores físicos, químicos y biológicos, los cuales pueden ser fuentes de variabilidad del oxígeno y así causar descensos en el mismo. (Boyd & Tucker, 1998).

La transferencia de oxígeno aire-agua, demanda de oxígeno por parte del sedimento, respiración animal, respiración del plancton, y la fotosíntesis, causan un efecto directo en la concentración de oxígeno en la columna de agua, por lo tanto estos procesos tienden a dominar los presupuestos de oxígeno en los estanques de cultivo.

La respiración en el sedimento influye en la respiración en la columna de agua debido a que es la fuente principal de oxígeno, el cual es usado en la descomposición aerobia de la materia orgánica, por influencia de las bacterias heterotróficas; el oxígeno usado en la respiración de los macroinvertebrados benthicos en la mayoría de procesos que involucran respiración en el sedimento corresponden a procesos biológicos.

El metabolismo planctónico es el mayor componente que afecta la dinámica del oxígeno disuelto en estanques de acuicultura, siendo el fitoplancton la principal fuente de oxígeno y el principal consumidor del mismo en la columna de agua.

En un día la diferencia entre el oxígeno producido por la fotosíntesis, y el oxígeno usado para la respiración del fitoplancton representa esencialmente la disponibilidad de oxígeno para suplir los requerimientos del resto de los organismos en el estanque, incluyendo el de los organismos bajo cultivo; en estanques con altas densidades de fitoplancton y organismos cultivados, la producción de oxígeno apenas alcanza los requerimientos lo cual ocasiona una depleción del mismo en el sistema.

Con la finalidad de establecer si la respiración en la columna de agua es superior a la respiración del sedimento se planteó la siguiente hipótesis para cada uno de los tratamientos:

$H_0$ : La respiración en la columna de agua es mayor a la respiración del sedimento.

$H_a$ : La respiración en la columna de agua es menor a la respiración del sedimento.

Se realizó el t-test, con un intervalo de confianza del 95%, para los tres tratamientos. (Tabla VI). Los resultados se relacionan a continuación:

- Tratamiento A: Se prueba que hay diferencias estadísticamente significativas que prueban que la respiración en la columna de agua es mayor a la respiración del sedimento.
- Tratamiento B: Se prueba que la respiración en la columna de agua es menor a la de sedimento.
- Tratamiento C: Se prueba que hay diferencias estadísticamente significativas que prueban que la respiración en la columna de agua es mayor que la respiración en el sedimento.

Tabla IV - Resultados de la prueba de significancia en la comparación de promedios de la respiración en la columna de agua y fondo expresados en  $mg.l^{-1}.h^{-1}$ , donde valores de probabilidad  $<0.05$  se consideran estadísticamente significativos y valores de probabilidad  $<0.01$  se consideran altamente significativos.

Tratamiento	A	B	C
P - Valor	0.000482522	0.531973	0.0139552

Los anteriores resultados de las pruebas estadísticas corroboran los valores promedio de  $O_2$  expresados en  $mg/l$  hora<sup>-1</sup> para la respiración en la columna de agua y los de respiración del sedimento. (Tabla V).

Tabla V - Valores promedios de respiración en la columna de agua (R.C.A.) y respiración de fondo (R.F.), expresados en  $mg.l^{-1}.h^{-1}$  de  $O_2$ .

Tratamiento	R.C.A.	R.F.
A	0.345	0.077
B	0.363	0.375
C	0.367	0.132

Para el tratamiento B, la respiración en el sedimento fue superior que la respiración en la columna de agua, lo cual indica que existe una mayor actividad en cuanto a la respiración en el sedimento que en la columna de agua; se evidencia que no todo el consumo de oxígeno por parte del sedimento es realizado por las comunidades microbiales; se deben a si mismo tener en cuenta a los invertebrados que viven en el sedimento los cuales consumen oxígeno. Otra parte del oxígeno es utilizada para oxidar las sustancias orgánicas reducidas en las interfases aerobias y anaerobias.

Es muy importante tener en cuenta que la tasa de respiración del sedimento depende de la cantidad del sustrato orgánico y de la cantidad de oxígeno que penetra el suelo (Boyd, 1995).

Todos los factores mencionados anteriormente afectan de manera significativa la degradación de la materia orgánica, y esto se verá reflejado en la respiración del sedimento; sin embargo la respiración del sedimento es independiente a la cantidad de oxígeno contenida en el agua (Boyd, 1995).

**- Producción de oxígeno en la columna de agua.** Los valores de producción de oxígeno para 1 m en la columna de agua corresponden a 1.047, 0.814, y 1.028 g O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/h para cada uno de los tratamientos, A, B y C respectivamente.

El comportamiento de la producción de oxígeno en la columna de agua presenta variaciones durante el ciclo de cultivo; tales variaciones se deben a los cambios cíclicos que presentan las poblaciones de fitoplancton en los estanques de cultivo (Figuras 6, 7, 8).

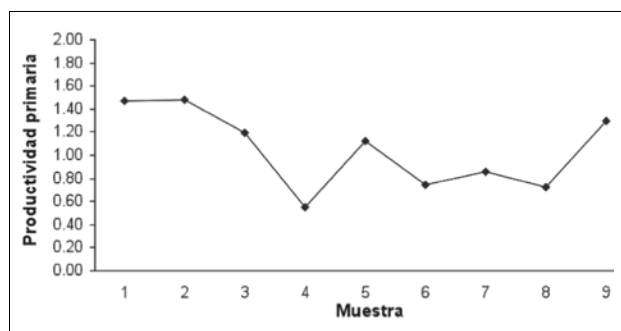


Figura 6 - Productividad primaria por muestra en g O<sub>2</sub> m<sup>2</sup>/día, tratamiento A.

Se observó un descenso de la misma debido a la extinción de la luz, y tal comportamiento puede causar una estratificación del oxígeno en los estanques de cultivo; adicionalmente la mayor productividad se observó en los primeros 15 cm y esta decrece con la profundidad. Es importante observar que en los días donde se registró un comportamiento diferente, es

decir que la productividad es menor en la superficie que en los 50 cm, se debe a la foto- inhibición, lo cual ocurre cuando la intensidad de la luz en los primeros 15 cm es demasiada, por lo tanto los fotosistemas de los productores de oxígeno se bloquean dando origen a este fenómeno. Factores tales como la concentración del fitoplancton, disponibilidad de nutrientes en el agua, luminosidad, turbidez del agua, y pH, dan origen a las variaciones en las comunidades fitoplanctónicas y por lo tanto afectan directamente la producción de oxígeno en la columna de agua.

Los valores de producción de oxígeno por día para cada uno de los tratamientos A, B y C corresponden respectivamente a 12.57, 9.78, y 12.34 g O<sub>2</sub> m<sup>2</sup> / día. El tratamiento que presenta una menor producción de oxígeno es el tratamiento B, y la producción de oxígeno de los otros dos tratamientos es muy similar.

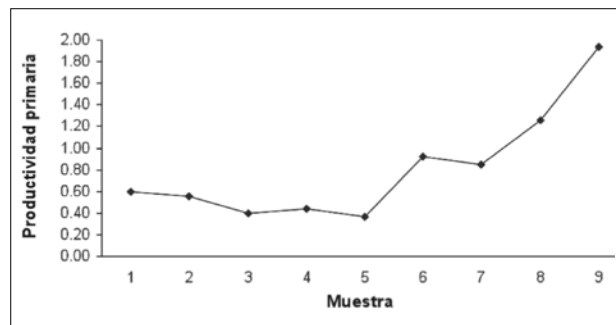


Figura 7 - Productividad primaria por muestra en g O<sub>2</sub> m<sup>2</sup>/día, tratamiento B.

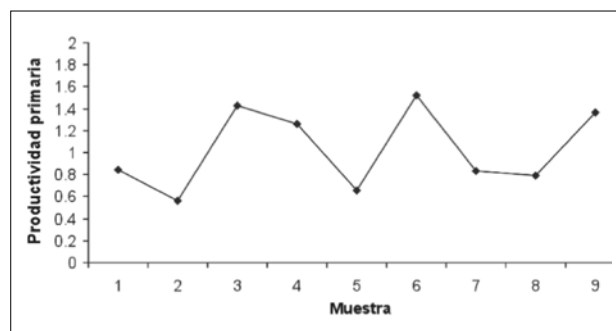


Figura 8 - Productividad primaria por muestra en g O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/día, tratamiento C.

## CONCLUSIONES

Los puntos de muestreo donde se registraron los valores más elevados con respecto a la respiración del sedimento para los tratamientos A, B y C, corresponden en su orden a las zonas de la Salida, Mesa y Canal de drenaje, esto demuestra

que no existe una uniformidad en la respiración del sedimento en cuanto a los sitios de muestreo y por lo tanto en cada estanque se presentan condiciones diferentes.

La adición de materia orgánica en los estanques de cultivo tiene un efecto directo en el incremento de la fauna bentónica, lo cual se ve reflejado en la aparición de estos en el suelo, y las densidades durante el ciclo de cultivo, lo cual hacen de la fertilización de fondo a partir de adiciones de materia orgánica una herramienta muy eficaz para la promoción de fuentes alternas de alimento.

Los resultados sugieren que para el caso de cada uno de los tratamientos el que presento una menor respiración de fondo corresponde al tratamiento C, siendo este al que le fue adicionada una menor cantidad de materia orgánica, por lo tanto es el que presenta una mayor efectividad, en comparación a los otros dos.

El suelo es de vital importancia para el cultivo de camarón, debido a que gran parte de sus actividades son realizadas en este

**Agradecimientos** - A la familia Ramírez-Echeverri, fundamental en los momentos más difíciles. A la C. I. Cartagenera de Acuicultura y sus directivos, los cuales fueron incondicionales en cuanto a la realización del proyecto, a Maria Claudia Baquero, Gerente de Producción, por su dedicación e interés en el trabajo. A Omar López, Regis Gambin, Julio Lobo y Alexis Pérez, así como al personal del campo, a la colega Rosa Romano-Benítez Jefe del Departamento de Control de Calidad, quien apoyó siempre el trabajo y fue de gran ayuda en la realización de los experimentos; a Marcos, Adaelci, Yaneth y Melva, del mismo departamento que fueron parte fundamental en la consecución de gran parte de los datos expuestos en este estudio. A Gabriel Cruz-Cerón Jefe de Programas Especiales de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Caldas, quien ayudó y asesoró las áreas estadística y económicas, igualmente a Claudia, Cesar y Diana, por facilitar las instalaciones universitarias de manera generosa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Burford, M.A. & Longmore, A.R. High ammonium production from sediments in hypereutrophic shrimp ponds. *Mar. Eco., Progr. Ser.*, v.224, p. 87-195, 2001.

Boyd, C.E. *Water quality management and aeration in shrimp farming. Fisheries and Allied aquaculture departmental series, Vol. 2.* Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, 77 p., 1989.

Boyd, C.E. *Bottom soils, sediment, and pond aquaculture.* Chapman & Hall, 348 p., New York, 1995.

Boyd, C.E. & Pippopinyo, S. *Factors affecting respiration in dry pond bottom soils.* Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, 22 p., 1993.

Boyd, C.E. & Teichert-Coddington, D.R. *Pond bottom soil respiration during fallow and culture periods in heavily-fertilized tropical fish ponds.* Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, 21 p., 1993.

Boyd, C.E. & Tucker, C.S. *Water quality and pond soil analyses for aquaculture,* Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, 183 p., 1998.

Chanratchakool, P.; Turnbull, J.F.; Funge-Smith, S. J.; Macrae, I.H. & Limsuan, C. *Health management in shrimp ponds.* Third edition, Bangkok, 152 p., 1998.

Daniels, H.V. & Boyd, C.E. Chemical budgets for polyethylene-lined brackish water ponds. *J. World Aquac. Soc.*, v.2, p.53-60, 1989.

Ellis, M.S. *Oxygen, carbon and sulfur cycling in the sediments of hypereutrophic mesocosms (shrimp mariculture ponds).* M.Sc. Thesis, Texas A&M University, 152 p., 1992.

Fast, A.W.; Carpenter, K.E.; Estilo, V.J. & Gonzáles, H.J. Effects of water depth and artificial mixing on dynamics of Philippines brackish water shrimp ponds. *Aquac. Eng.*, v.7, p.349-361, 1988.

Hall, D.J.; Coopeer, W.E. & Werner, E.E. An experimental approach to the production dynamics and structure of freshwater animal communities. *Limnol. Oceanogr.*, v.15, p.839-928, 1970.

Hassan, R.B. & Fajamanickam, L.D. 1990. Preliminary investigation on the total sediment oxygen demand in brackish water fish/shrimp ponds in Malaysia. *Fish. Bull., Dep. Fish. Malaysia*, v.64, p.1-66, 1980.

Lanari, D.; Ballestrazzi, R. & Tibaldi, E. Effects of fertilization and stocking rate on the performance of *Penaeus japonicus* (Bate) in ponds. *Aquaculture*, v.83, p.269-279, 1989.

Moore, B.L. Input of organic materials into aquaculture systems: Emphasis on feeding semi-intensive systems. *Aquac. Eng.*, v.5, p.123-133, 1986.

Moriarty, W.; Cook, H.L.; Hassan, R.B. & Thanabal, M. Primary production meiofauna in some penaeid prawn aquaculture ponds at Geland Patah. *Malaysian and Agriculture J.*, v.54, p.37-51, 1983.

Nees, J.C. Development and status of pond fertilization in central Europe. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, v.76, p.335-358, 1946.

Romano-Benítez, R.A. *Estudio del desarrollo de la fauna bentónica en estanques, durante un ciclo de cultivo*

*de camarón* *Penaeus vannamei* (Boone, 1931). Tesis Profesional. Fac. Biología Marina. Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 1996.

Supple, M.W. & Cotner, J.B. Temporal changes in oxygen demand and bacterial sulfate reduction in inland shrimp ponds. *Aquaculture*, v.145, p.141-158, 1996.

Teichert-Coddington, D.R. & Green, B. Comparison of two techniques for determining community respiration in tropical fish ponds. *Aquaculture*, v.114, p.41-50, 1993.

Tidwell, J. H.; Webster, C.D.; Sedlacek, J.D.; Weston,

P.A.; Knight, W.L.; Hill, S.J.; D'Abramo, L.R.; Daniels, W.H.; Fuller, M.J. & Montañez, L. Effects of complete and supplemental diets and organic pond fertilization on production of *Macrobrachium rosebergii* and associated benthic macro invertebrate populations. *Aquaculture*, v.138, p.169-180, 1995.

Wedler, E. *Introducción en la acuicultura con énfasis en los geotrópicos*. Editorial Litoflash, 388 p., Santa Marta, 1998.

Zur, O. Primary production in intensive fish ponds and complete organic balance in the ponds. *Aquaculture*, v.23, p.197-210, 1981.