
Influencia de la columna de agua y eficiencia energética de dos tipos de generadores de microburbujas en un cultivo hiper-intensivo de camarón

Javier Antonio Magallón-Servín¹, Rafael Apolinar Bórquez-López², Walter Quadros-Seiffert³, Francisco Javier Magallón-Barajas⁴, Ramón Casillas-Hernández^{2*}

¹Programa de Doctorado en Ciencias en Biotecnología del Instituto Tecnológico de Sonora.

²Departamento de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Instituto Tecnológico de Sonora.

³Universidad Federal de Santa Catarina, Brasil Centro de Ciencias Agrarias.

⁴Programa de Acuicultura, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Artículo recibido 7 de julio de 2020 y aceptado el 30 de julio de 2020

Influence of the water column and energy efficiency of two types of microbubble generators in a hyper-intensive shrimp farming.

Abstract

The production of micro-bubbles and foam (ME) in hyper-intensive shrimp culture ponds are generally associated with the production of Biofloc. Using an image analysis, the water column of the highest generation of ME was found. For this, the Image Processing Toolbox from MATLAB program and an image filtering algorithm were used. For the bioassay, a 7.5 HP regenerative blower aerator was used, connected to a combined system of airlifts (box and angle type) with micro-perforated hose and a 1.0 m deep tank. Images were measured at 0.05 m intervals to the maximum water column design. The results show that ME measurements associated with the electrical consumption, depth and dynamics of the pond can help improve crop efficiency. In the practical case, it was shown that the highest ME production was between 0.40 and 0.85 m of water column with a saving in electrical consumption of 5-8%, in relation to that obtained at the maximum level of pond operation. The angular airlift was more efficient in ME generation than the box airlift. The results may vary in other cases depending on the water quality, biomass load of the pond, airlift characteristics and blower capacity.

Key words: Shrimp hyper-intensive aquaculture, microbubble generators, water depth, efficiency.

Resumen

La producción de micro-burbujas y espuma (ME), en estanques de cultivo de camarón hiper-intensivo generalmente están asociadas a la producción de bioflóculos. Utilizando un análisis de imágenes se encontró el rango de columna de agua de mayor generación de ME. Para esto se utilizó el programa MATLAB la librería Image Processing Toolbox y un algoritmo de filtrado de imágenes. Para el bioensayo se utilizó un aireador tipo blower regenerativo de 7.5 HP conectado a un sistema combinado de airlifts (tipo caja y angular), con manguera micro-perforada y un estanque de 1.0 m de columna de agua. Las imágenes se midieron en intervalos de 0.05 m hasta la máxima columna de agua de diseño. Los resultados muestran que las mediciones de ME asociadas al consumo eléctrico, columna de agua y dinámica del estanque pueden ayudar a mejorar la eficiencia del cultivo. En el caso práctico se demostró que la mayor producción de ME estuvo entre 0.40 y 0.85 m de columna de agua con un ahorro en el consumo eléctrico del 5-8%, con relación

*Autor de correspondencia

Email: rcasillas@itson.edu.mx

ISSN 2594-0384 (Electrónica)

DOI: <https://doi.org/10.33154/rlrn.2020.02.04>

al obtenido en el nivel máximo de operación del estanque. El aireador airlift tipo angular fue más eficiente en la generación de micro-espuma que el aireador airlift tipo caja. Los resultados pueden variar en otros casos dependiendo de la calidad de agua, carga de biomasa del estanque, características del airlift y capacidad del blower.

Palabras claves: Acuicultura hiper-intensiva de camarón, generadores de microburbujas, columna de agua, eficiencia.

Introducción

El desarrollo de la acuicultura del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* ha alcanzado la producción de 4.966 millones de TM en 2018 (FAO 2020), en gran parte debido a la intensificación de sus cultivos. Los sistemas intensivos de recirculación acuícola (RAS, por sus siglas en inglés) aumentan la producción debido al control de todos los procesos involucrados en la producción, entre ellos el suministro de oxígeno disuelto que proveen los aireadores o Blowers (Timmons y Ebeling 2010). Los sistemas de aireación se han dimensionado con base a la aplicación de HP por toneladas de biomasa de camarón producida en los estanques de acuicultura (Boyd *et al.*, 2020). Estos criterios si bien aseguran la producción, están dirigidos a confrontar las condiciones que ocurren en las etapas del cultivo y determinan en gran medida la eficiencia energética. Existen numerosos aspectos que influyen en la difusión de aire en la columna de agua, la formación de espuma en la superficie de los estanques y que han sido poco documentados; (1) la presión hidrostática en función de la columna de agua del estanque, (2) el sistema neumático de transmisión de aire, (3) la potencia y diseño de los equipos de aireación, (4) su eficiencia energética en términos de m³ de aire por watt, (5) el diseño de las líneas de transmisión eléctrica, (6) la fuente de electricidad y (7) la proteína presente en el agua de los estanques de cultivo. Por esta razón resulta fundamental precisar la difusión de aire y la generación eficiente de la espuma donde se forman el “bioflocs” que se sabe es de gran importancia para los cultivos intensivos de camarón (Moses *et al.*, 2018; Lara *et al.*, 2017; Doaa *et al.*, 2012; Tucker 2005) (Figura 1). Las observaciones precisas y continuas del estado y cantidad de espuma en la superficie de los estanques de cultivo son vitales para gestionar la calidad de agua y condiciones del “biofloc” para el desarrollo de los camarones. Actualmente existe una fuerte tendencia

por el desarrollo de distintos sistemas para el monitoreo de peces y camarones ya que esta información podría mejorar la eficiencia de la industria acuícola. La forma más común de producir microburbujas es con la inyección de aire en el líquido para su disolución, las microburbujas generadas crecen en burbujas más grandes con la saturación del líquido, los difusores convencionales dependen de un material poroso conectado al sistema de difusión de aire el cual funciona como una barrera física que por presión e intercambio entre el aire y el agua forma las microburbujas (Zimmerman *et al.*, 2008). La medición de la espuma en la superficie del estanque a través de imágenes, puede contribuir de manera importante en el análisis de los estanques donde las variables físicas y químicas están en constante cambio. Oliveira *et al.* (2010) utilizó análisis de imágenes con una cámara a una escala de grises para identificar la formación de floculación-flotación con micro burbujas, y determinaron el tamaño y distribución de las burbujas en el sistema. En estudios recientes el uso de imágenes tomadas a través de cámaras, ha podido monitorear el comportamiento de peces, lo cual es indispensable para manejar el crecimiento, sanidad y bioseguridad en el cultivo (Terayama *et al.*, 2019). El objetivo principal de este trabajo es analizar imágenes de espuma superficial, utilizando un programa de análisis de datos (MATLAB), y un algoritmo de filtrado de imágenes para determinar la relación entre la columna de agua del estanque, la cantidad de espuma y el consumo eléctrico.

Materiales y Métodos

Estanque experimental

Se utilizó un estanque de 6 m de ancho por 24 m de largo de la granja Fazenda Yakult de la Universidad de Santa Catarina de Brasil. El estanque tiene una columna de agua máxima de 1.1 m. Se hicieron marcas para medir la columna de agua en tres

puntos del estanque, en cada punto de medición se colocó una regla con marcas cada 0.05 m con un total de 1 m de columna de agua. Se orientaron las surgencias de los airlifts, para dirigir el flujo de agua en la misma dirección, como se muestra en la figura 2.

Sistema de aireación

El estanque se conectó en un sistema de distribución neumático de un blower regenerativo WEG alto

rendimiento PLUS de 5.6 kW, trifásico, 360V y 3500 rpm; al sistema de distribución se conectaron 6 difusores tipo airlifts, 2 tipo caja y 4 tipo angular con paredes de deflexión, cada uno con 13 líneas de manguera micro perforada de 0.89 m; la manguera soporta un flujo de aire de $2.395 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ mL}^{-1}$ con un SAE (Eficiencia estándar de aireación), de $5.36 \text{ Kg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ kW}^{-1}$, y las dimensiones de la base de los airlifts fue de 1 m de largo por 1 m de ancho (1 m^2). Medidor de potencia. Se utilizó un medidor de



Figura 1. Generación de micro-espuma y biofloc en una granja de camarón hiper-intensiva con airlifts tipo angular.

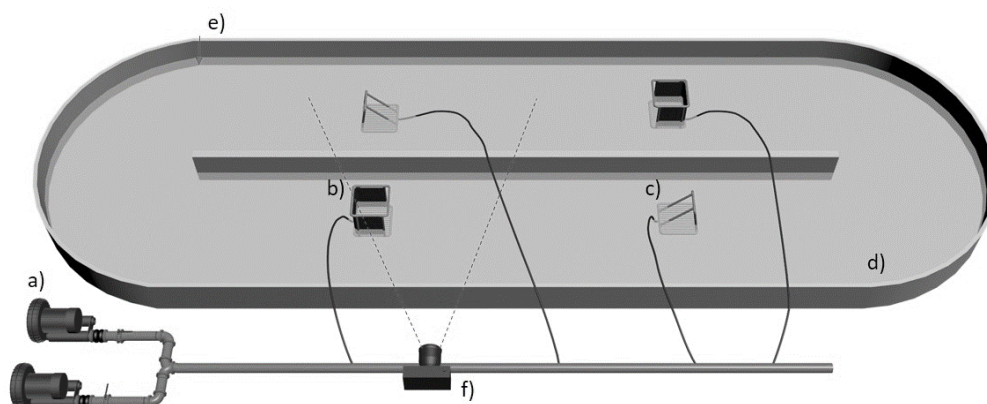


Figura 2. Diseño experimental en la granja Fazenda Yakult, Brasil, a) Aireador tipo Blower regenerativo de 5.6 kW, b) Surgencia airlift tipo caja, c) Surgencia airlift tipo angular, d) Canal de flujo tipo raceway, e) Profundidad del tanque, f) Posición de la cámara.

potencia eléctrica (kW) trifásico, Efergy E2 clásico, conectado al motor para evaluar el consumo energético en cada marca de la columna de agua.

Llenado del estanque y toma de imágenes. El estanque se llenó con agua marina lentamente, al mismo tiempo que se encendió el sistema de aireación. Las imágenes fueron tomadas a partir de los 0.30 m de la columna de agua del estanque, posterior a esa columna de agua las imágenes fueron tomadas cada 0.05 m hasta que el tanque se llenó a 1.0 m.

Características de la cámara

Se utilizó una cámara de 8 MP con un tamaño de sensor de 1.5μ por pixel y apertura $f/2.2$. La cámara se fijó en un solo punto y cada fotografía se tomó con la lente de la cámara paralela al flujo de la surgencia del airlift, pero perpendicular a la boca de

salida del airlift. Las fotografías obtenidas se recortaron con un marco para fijar el área de las imágenes a 3191×1032 pixeles equivalentes a 4.5 m^2 de superficie del espejo de agua analizado, para evitar el efecto de influencia de la micro-espuma generada por los otros airlifts. Cada imagen se etiquetó con la columna de agua con la que fue tomada y de la surgencia airlift a la que perteneció (Figura 3). Al mismo tiempo se anotó el consumo eléctrico del aireador tipo blower regenerativo asociado con dicha columna de agua obtenido del medidor de potencia eléctrica trifásica.

Procesamiento de imágenes

Para medir la eficiencia en la producción de la micro-espuma se realizó el siguiente procedimiento: Cada imagen se transformó a una matriz tridimensional RGB $N \times M \times D$ utilizando el Image Processing Toolbox de MATLAB.

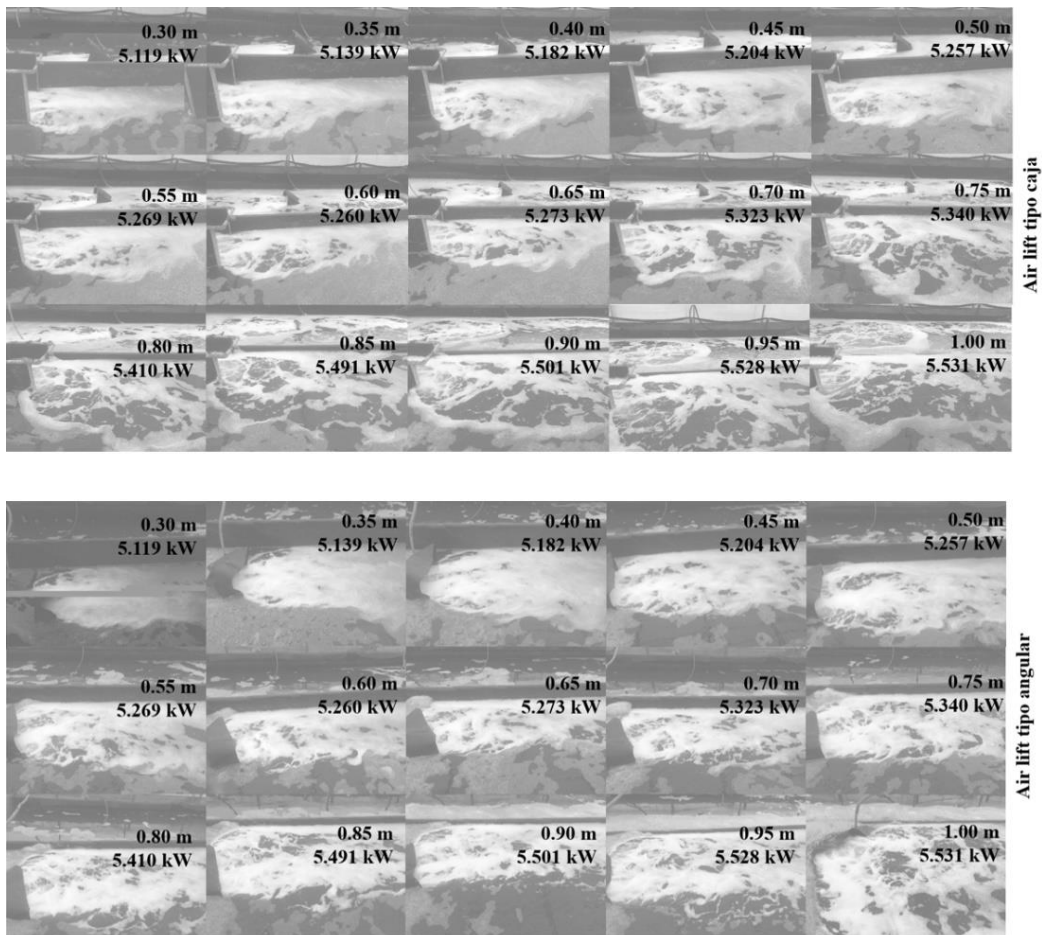


Figura 3. Relación de las imágenes obtenidas de generación de espuma superficial en surgencias airlifts tipo caja y tipo angular fotografiadas a diferentes valores de la columna de agua y su consumo eléctrico asociado.

```

imagen=imread('Imagen.jpg')
Con el nombre de imagen, después se generaron 3
matrices  $n \times m$  (R, G y B), para separar los colores
R (rojo), G (verde) y B (azul), de la matriz imagen.
También se asignaron los tamaños de cada matriz.
R=imagen(:,:,1);
G=imagen(:,:,2);
B=imagen(:,:,3);
[Rn,Rm]=size(R);
[Gn,Gm]=size(G);
[Bn,Bm]=size(B);

```

A cada matriz se le asignó un rango de valores de 0 a 255, con los cuales se componen el espectro de colores de la matriz **imagen** en **RGB**, por lo tanto, se definió un valor como máximo para asignarle el valor de blanco (255), y todos los valores menores a este el valor de negro (0), se realizaron mediciones para diferentes máximos 150, 175 y 200, y la mejor resolución se encontró con el valor 175. Entonces usando el siguiente algoritmo, se generó el filtro:

```

MaxR=175;
MaxG=MaxR;
MaxB=MaxR;

x=0;
for j=1:Rm
    for i=1:Rn
        x=R(i,j);
        if x >= MaxR
            Rz(i,j)=255;
        else
            Rz(i,j)=0;
        end
    end
end
end

```

Después se construyó una imagen con los resultados de las tres matrices R, G y B filtradas $\text{ImagenFiltrada}=\text{cat}(3, R, G, B)$;

La cual fue una imagen en blanco y negro con el filtro de 175 definido. Por último, se definió un marco de 1.0 m^2 equivalente en la imagen, para eliminar el efecto de la espuma remanente generada por la misma surgencia airlift y que no afectara la caracterización de la micro-espuma generada en esa columna de agua. Con este recorte se midió el porcentaje de color asignado a la micro espuma (todos blancos mayores o iguales a 175). Con esto se construyó la matriz **ImagenT** de $1 \times (n \times m \times l)$, con la cual se obtuvo el total de los valores **ITn**

de la matriz **ImagenFiltrada**, a cada valor mayor a cero, se le asignó el valor de 1, con esto se logró obtener el porcentaje de números mayores e iguales a cero con lo cual se puede obtener el porcentaje de la **ImagenFiltrada** que es blanco y equivale a la micro espuma generada.

```

ImagenT=reshape(ImagenFiltrada,[],1);
[ITn,ITm]=size(ImagenT);

```

```

MaxIT=0;

```

```

for i=1:ITn
    MaxITx=MaxIT;
    s=TCP(iii);
    if s>=MaxR
        DDT=1;
    else
        DDT=0;
    end
    MaxIT=MaxITx+DDT;
end

```

Para obtener el área (m^2) de ME generada en el área del marco seleccionado para los diferentes valores de la columna de agua medidos, se utilizó la variable PME (porcentaje de ME), la cual mide la relación del total de elementos de la matriz analizada con valor de 1 (blanco) asociados a la ME, contra el número total de elementos de la matriz;

```

PME=100*MaxITX/ITn

```

Resultados

La generación de micro espuma durante el llenado del estanque a diferentes columnas de agua y en los diferentes airlift probados se muestran en la tabla 1. En general se observa que a partir de los 0.70 m del llenado del estanque, la cantidad de espuma se incrementó de manera importante, particularmente la generada por el airlift angular. La secuencia de las imágenes obtenidas por la cámara con los diferentes airlifts evaluados se muestra la figura 3. En las fotografías se muestra la generación de espuma superficial incluyendo además los valores de la columna de agua del estanque y el consumo eléctrico asociado. Los resultados del análisis de filtrado de imágenes y la generación de micro espuma generada a diferentes valores de la columna de agua con los dos tipos de airlifts se muestran en la figura 4. En ella se observa que a partir de los

0.35 m del volumen de llenado del estanque la cantidad de micro-espuma se mantiene estable en general hasta los 0.70 m del volumen del estanque; a partir de ahí el airlift angular aumenta de manera importante la generación de espuma con relación al airlift de caja. Arriba de 0.75 m del volumen del estanque la cantidad de espuma se reduce de forma importante en ambos airlift.

Tabla 1. Generación de micro espuma durante el llenado del estanque a diferentes valores de la columna de agua y en los diferentes Airlift probados.

Área generada de micro espuma con el filtro de 175 en el marco de 1.0 m².

m de H ₂ O	Surgencia Airlift caja (m ²)	Surgencia Airlift angular (m ²)	Diferencia (m ²)
0.30	0.21	0.21	0.00
0.35	0.63	0.67	0.04
0.40	0.62	0.64	0.03
0.45	0.58	0.64	0.06
0.50	0.58	0.57	-0.01
0.55	0.56	0.63	0.07
0.60	0.48	0.64	0.16
0.65	0.50	0.61	0.11
0.70	0.53	0.61	0.09
0.75	0.44	0.76	0.32
0.80	0.42	0.78	0.36
0.85	0.44	0.74	0.29
0.90	0.44	0.71	0.27
0.95	0.39	0.73	0.35
1.00	0.30	0.50	0.21

El consumo eléctrico asociado a la columna de agua del estanque, se muestra en la figura 5. Los resultados obtenidos muestran que el aireador tipo blower regenerativo inicia su consumo eléctrico en 4.75 kW a flujo abierto, y conforme aumenta la presión hidráulica su consumo aumenta y converge al valor de la placa que es 5.59 kW (7.5 HP). También se encontró que al llegar al nivel de 1.0 m de la columna de agua, el consumo eléctrico prácticamente permanece constante, lo cual sugiere que, si se supera la presión máxima de diseño, el aireador posiblemente deje de tener un flujo de aire y no alcanza a romper la columna de agua.

Discusión

La aireación es una de las partes más importantes en la acuicultura intensiva o hiper-intensiva donde el costo de la aireación representa hasta un 15% del costo total de producción, por lo que la selección de los aireadores y los sistemas de difusión son muy importante (Kumar et al., 2012). Al aumentar la densidad de organismos y la biomasa de

producción, y al estar en el mismo volumen de agua, los organismos incrementan su tasa metabólica y su respiración; el uso de aireación varía desde 1-2 kW ha⁻¹ hasta 15 a 20 kW ha⁻¹ en sistemas de cultivo intensivos de camarón, logrando 500 a 600 kg de producción de peces o crustáceos por kW de aireación (Boyd, 1997; Boyd et al., 2020). El aire inyectado contiene 20.95% de oxígeno y su aporte al oxígeno disuelto en el agua OD, dependerá del nivel de saturación (Boyd, 1990), por lo que tener un aporte mayor de oxígeno es de vital importancia para el cultivo. El uso eficiente de la aireación es muy importante ya que los requerimientos de aireación varían acorde a las semanas de cultivo, donde se tiene un requerimiento constante de oxígeno asociado al consumido por el sedimento del estanque y la columna de agua (Santa et al., 2007). Además los procesos de nitrificación en sistemas de cultivo con biofloc con *Litopenaeus vannamei* son más eficientes con altos flujos de aire y representan un mejor desempeño zootécnico en su acuicultura (Mariane de Moraes et al., 2020). En los resultados de la figura 4, se puede observar cómo la espuma generada permanece en el estanque, y al tener una mayor generación de microburbujas se tiene una mejor distribución del oxígeno; donde además se ha reportado que las microburbujas incrementan el contenido de lípidos en la producción de biomasa de algas por un 30%, con respecto a burbujas grandes generadas por difusores convencionales (Yang et al., 2018). Por otra parte, la generación de burbujas permite flotación, limpieza y remoción de sólidos precipitables y solubles, degradación de compuestos orgánicos y transferencia de calor (Xu et al., 2018). El biofloc formado por la integración de las células de los microorganismos y partículas de materia orgánica, mediante su adhesión a las microburbujas permite formar cúmulos (Panigrahi et al., 2018), que sirven potencialmente de alimento para las especies a cultivar. El movimiento vertical de las burbujas, forma una cortina de aire que induce la resuspensión del biofloc y mezcla del agua. El arreglo de los aireadores de surgencias tipo airlifts, compuestos de mangueras microperforadas y conectados al sistema neumático en el exterior del tanque, puede funcionar mejor y tener mayor producción de bioflocs. Todos estos procesos en conjunto permiten una contribución al flujo de nutrientes y al reciclamiento de la materia orgánica suspendida, a través de los caminos microbiológicos

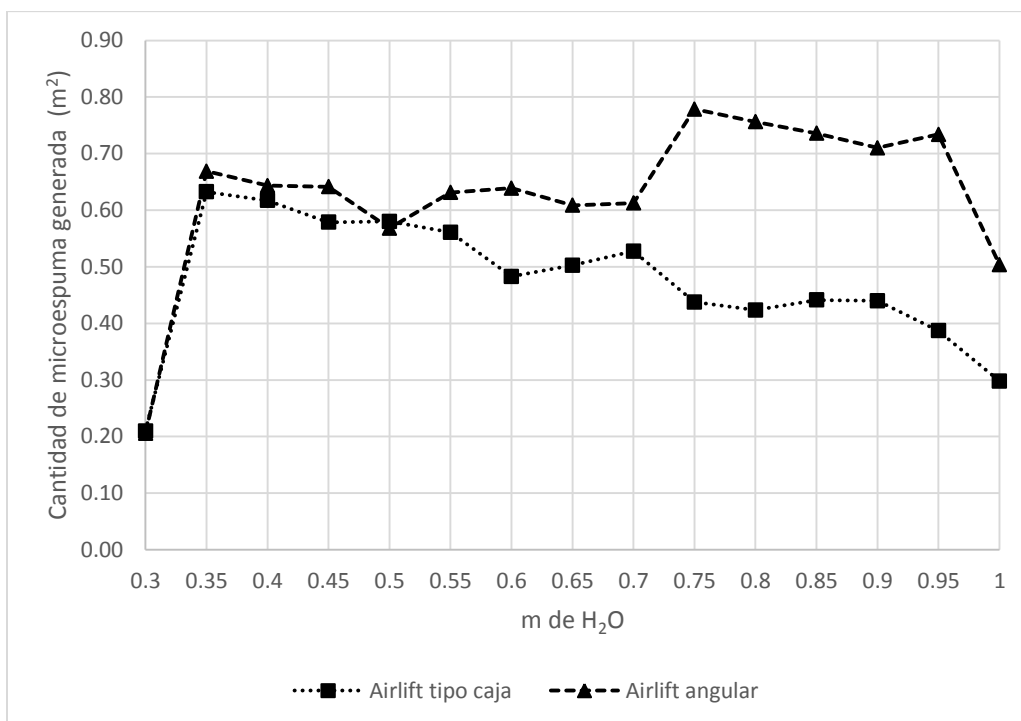


Figura 4. Cantidad de micro-espuma generada (m²), por dos distintas surgencias airlifts (box y angular), contra diferentes valores de la columna de agua en un canal de flujo tipo raceway, con un aireador tipo blower regenerativo de 7.5 HP.

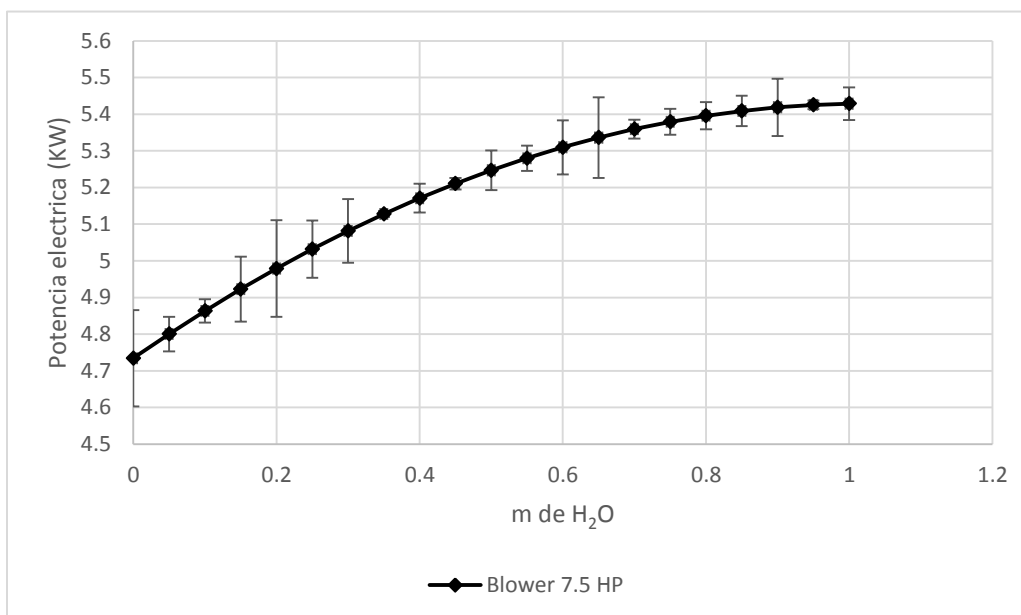


Figura 5. Consumo eléctrico (kW), de un aireador tipo blower regenerativo de 7.5 HP /3ø/ 360V, en un sistema de aireación en un canal de flujo tipo raceway, con surgencias airlifts con respecto a diferentes valores de la columna de agua.

descritos arriba, y forman un sistema complejo en la TBF convirtiendo el tanque de cultivo en un biorreactor de producción acuícola. En 1987 Boyd y Ahmand reportaron que los aireadores con sistemas de difusión de aire tienen los valores más bajos de eficiencia en la aireación, pero Boyd en 1995 reportó que a valores de la columna de agua de 1.0 m la eficiencia puede mejorar notablemente, al reportar una eficiencia estándar en la aireación SAE de $6.37 \text{ kg O}_2 \text{ kWh}^{-1}$. El resultado obtenido donde la mayor producción de micro espuma ocurrió en valores de columna de agua entre 0.40 y 0.85 m, es consistente con lo que reporta Krummenauer (2016), quien encontró que la columna de agua de mayor producción de camarón en sistemas de tecnología de bioflóculos, en canales de flujo tipo raceways, ocurre entre 0.4 y 0.8 m, lo cual nos permite entender que a mayor producción de espuma asociada a esa columna de agua, tenemos una mejor producción de bioflóculos, los cuales sirven de alimento para los camarones. Además, Karthikeyan (2016), reportó que la mejor producción de micro algas ocurrió en canales de flujo tipo raceways abiertos con 0.3 m de columna de agua y uso de aireadores de paletas, lo cual también puede permitir, si se tienen cultivos con una columna de agua menor, tener una transición entre el biofloc verde (compuesto por microalgas), y el biofloc café (compuesto por bacterias quimiotróficas y heterotróficas), cuya composición reporta Hargreaves (2013). El biofloc verde tiene un alto contenido de microalgas las cuales aportan un contenido importante de lípidos (Martins *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2018). La posibilidad de tener cultivos de camarón a una columna de agua menor a 1 m, permite una mayor generación de ME y un ahorro de energía del 5-8% en sistemas cerrados o de recirculación, donde el uso de la energía en aireación representa uno de los costos más importantes en la producción acuícola (Badiola *et al.*, 2018; Crab *et al.*, 2012; Jayanthi *et al.*, 2020).

Conclusiones

En este trabajo se encontró que la columna de agua tiene un efecto directo en la producción de ME con sistemas de difusión de aire de surgencia tipo airlift con el uso de blowers regenerativos en cultivos hiper-intensivos de camarón, donde la surgencia tipo airlift angular mostró ser más eficiente que el tipo caja, en la generación de ME. Con el método de

análisis de imágenes en la generación de ME, se logró estimar su producción en sistemas de tecnología de bioflóculos. Este puede ser empleado con diferentes sistemas de difusión y aireación que emplean el uso de manguera microperforada para la generación de ME. Además, se puede encontrar que, con la sola modificación del diseño, de la surgencia airlift al tipo angular, se puede lograr hasta un 10% de mejora en la producción de ME.

Agradecimientos

Javier Antonio Magallón-Servín (Becario CONACYT CVU 206292), agradece el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca de doctorado y la estancia la investigación realizada en la Universidad Federal de Santa Catalina Brasil, y en la granja experimental Fazenda Yakult, por haber permitido y apoyado el trabajo experimental. Al Ing. Gustavo Pineda en playa Eréndira B. C. S., México, por permitirnos tomar imágenes. Al M.C. Ramon Carneiro, al M.C. Lucas Gomes y a M.C. Isabela Pinheiro que me apoyaron en la realización del bioensayo y toma de datos.

Referencias

- Badiola M., Basurko O.C., Piedrahita R., Hundley P., Mendiola D., 2018. Energy use in recirculating Aquaculture Systems (RAS): A review, *Aquacultural Engineering*. 81: 57-70.
- Boyd, C.E., 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Agriculture Experiment Station. Auburn University, Alabama, 482 p.
- Boyd, C.E., 1997. Pond water aeration systems. *Aquacultural Engineering* 18:9-40.
- Boyd C.E., D'Abramo L.R., Glencross B.D., Huyben D.C., Juarez L.M., Lockwood G.S., McNeven A.A., Tacon A.G.J., Teletchea F., Tomasso Jr J.R., Tucker C.S., Valenti W.C., 2020. Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. Review Article. *Journal of World Aquaculture Society* 51:578-633.
- Crab, R., Defoirdt T., Bossier P., Verstraete W., 2012. Review Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356-357: 351-356.
- De Schryver P., Crab R., Defoirdt T., Boon N., Verstraete W., 2008. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture* 277: 125-137.
- Doaa M.A., Fahmy F.H., Ahmed N.M., Dorrah H.T., 2012. Design and Control Strategy of Diffused Air Aeration System. *World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 6(3):385-389.
- Ebeling J.M., Timmons M.B., Bisogni J.J., 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen

- in aquaculture systems. *Aquaculture* 257:346-358.
- FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. FAO, Rome.
- Hargreaves J. 2013. Biofloc Production Systems for Aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center. No 4503.
- Jayanthi M., Anathaikamatchi B.A., Sakkarai S., Thiagarajan R., Muthusamy D., Kuppusamy M., Moturi M., Bera A., Ramasamy P., Shanmugam S., 2020. Assessment of the new generation aeration systems efficiency and water current flow rate, its relation to the cost economics at varying salinities for *Penaeus Vannamei* culture. *Aquaculture Research*. 51:2112-2124
- Karthikeyan D., Muthukumar M., Balakumar B.S., 2016. Mass Cultivation of Microalgae in Open Raceway Pond for Biomass and Biochemical Production. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences* 3(2):247-260.
- Krummenauer D., Poersch L. H., Fôes G., Lara G., Wasielesky Jr W., 2016. Survival and growth of *Litopenaeus vannamei* reared in BFT System under different water depths. *Aquaculture* 465:94-99.
- Kumar A., Moulick S., Mal B.C., 2013. Selection of aerators for intensive aquacultural pond. *Aquacultural Engineering* 56: 71– 78.
- Lara, G., Krummenauer D., Abreu P.C., Poersch L.H., Wasielesky W., 2017. The use of different aerators on *Litopenaeus vannamei* biofloc culture system: effects on water quality, shrimp growth and biofloc composition. *Aquaculture International*, 25(1): 147-162. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0019-8>.
- Mariane de Morais, A.P., Abreu P.C., Wasielesky Jr W., Krummenauer D., 2020. Effect of aeration intensity on the biofilm nitrification process during the production of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in Biofloc and clear water systems. *Aquaculture* 514, 734516.
- Martins T.G., Odebrecht C., Jensen L.V., D'Oca M.G.M., Wasielesky Jr W., 2016. The contribution of diatoms to biofloc lipid content and the performance of juvenile *Litopenaeus Vannamei* (Boone, 1931) in a BFT culture system. *Aquaculture Research* 47 (4): 1315-1326
- Moses D., Colt J., 2018. Impact of fish feed on airlift pumps in aquaculture systems, *Aquacultural Engineering*. 80: 22-27
- Oliveira C., Rodriguez R.T., Rubio J., 2010, *International Journal of Mineral Processing* 96: 36-44.
- Panigrahi A., Saranya C., Sundaram M., Vinoth Kannan S.R., Das R.R., Satish Kumar R., Rajesh P., Otta S.K., 2018. Carbon: Nitrogen (C:N) ratio level variation influences microbial community of the system and growth as well as immunity of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in biofloc based culture system. *Fish Shellfish Immunology* 81: 329-337.
- Rios da Silva K., Wasielesky Jr.W., Abreu P.C., 2013. Nitrogen and Phosphorus Dynamics in the Biofloc Production of the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *The Journal of the World Aquaculture Society* 44 (1): 30-41.
- Santa K. D., Vinatea L., 2007, Evaluation of respiration rates and mechanical aeration requirements in semi-intensive shrimp *Litopenaeus vannamei* culture ponds. *Aquaculture Engineering* 36: 73-80
- Terayama K., Shin K., Mizuno K., Tsuda K., 2019. Integration of sonar and optical camera images using deep neural network for fish monitoring. *Aquacultural Engineering* 86: 102000
- Timmons, M.B., Ebeling J.M., Wheaton F.W., Summerfelt S.T., Vinci B.J., 2002. *Recirculating aquaculture systems*, 2nd edition. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, New York, USA.
- Tucker C., 2005. Pond Aeration. South Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 3700:1-9.
- Yang Z., Pei H., Han F., Wang Y., Hou Q., Chen Y., 2018. Effects of air bubble size on algal growth rate and lipid accumulation using fine-pore diffuser photobioreactors. *Algal Research* 32: 293-299
- Xu X., Ge X., Qian Y., Zhang B., Wang H., Yang Q., 2018. Effect of nozzle diameter on bubble generation with gas self-suction through swirling flow. *Chemical Engineering Research and Design* 138: 13-20
- Zimmerman W.B., Tesar V., Butler S., Bandulasena H.C.H., 2008. Microbubble Generation. *Recent Patents on Engineering* 2: 1-8.