

Variación temporal de la calidad de agua del manglar y sistemas de cultivo de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en el Distrito de Colorado, Abangares

Arias Araya María Fernanda*

**Investigadora. Laboratorio para Aguas y Especies Dulceacuícolas (LARED). Universidad Técnica Nacional. Sede Regional Guanacaste*

RESUMEN

El cultivo del camarón es una actividad común en la zona costera de nuestro país, en muchas ocasiones se ha criticado el efecto que esta actividad puede tener sobre el estuario. En este estudio se realizó el monitoreo de la calidad del agua en manglar, lagunas de abastecimiento y estanques en Colorado de Abangares. Se observa que las concentraciones de temperatura, pH y nitratos se encuentran dentro del rango óptimo en todos los sistemas, en el caso del oxígeno disuelto, el manglar cercano a las fincas F2 y F3 presentan bajos niveles sin embargo en el reservorio aumenta la concentración del mismo. En amonio, se observan valores por encima del recomendado en los estanques de la finca F3 y F4. Las concentraciones de fosfato obtenidas en los sistemas de la finca F1, F2 y F3, y manglar y reservorio de la finca F4 se encuentran por encima de la concentración recomendada. Las pruebas estadísticas basadas en el análisis de Kruskal Wallis indicaron que la variabilidad entre el conjunto de datos entre estanque, manglar y reservorio, no fue significativo, al nivel de confianza de 95%.

Descriptores: Estuarios tropicales, camaronicultura, nutrientes

INTRODUCCIÓN

La acuicultura es el sector alimenticio más dinámico a nivel mundial, para el año 2014 el sector acuícola alcanzó un hito en producción en la contribución del suministro de productos acuícolas para el consumo. Estos alcanzaron 73,8 millones de toneladas, con un valor estimado de US \$ 160.2 mil millones, en donde el 67,5% corresponde a peces, 21,86% a moluscos, 9,35% a crustáceos y 1,29% a otros animales acuáticos (FAO, 2016).

En Costa Rica, el desarrollo de la acuicultura se ha orientado hacia la adaptación de tecnologías sencillas en áreas rurales como una alternativa de producción de proteína de origen acuático (FAO, 2017). En la actualidad está dominada por la acuicultura de tipo continental de agua dulce, con énfasis en el cultivo de peces. En lo referente a cultivos en aguas salobres es de importancia el cultivo del camarón, del género *Litopenaeus*, alcanzándose un área de 1328 hectáreas de cultivo y una producción promedio anual de 3500kg/Ha año (Murillo, 2017).

En la acuicultura cualquier característica del agua que afecte la supervivencia, la reproducción, el crecimiento o el manejo de los individuos es una variable de calidad del agua. La calidad del agua incluye todas las características físicas, químicas y biológicas que afectan la supervivencia, la reproducción, el crecimiento o el manejo (Boyd, 1998). Los estanques para producción de camarones son sistemas que están sujetos a mucha variabilidad ambiental sobre la cual se tiene poco o ningún control. Son ecosistemas de monocultivo, y por lo tanto, intrínsecamente inestables y fácilmente perturbables, que para mantenerse en equilibrio necesitan de “subsidios” como lo son los fertilizantes, la cal, los recambios de agua, y por supuesto, el alimento balanceado.

El control de variables en estanques de acuerdo a Tabora (2002) ayuda a minimizar el impacto de enfermedades y obtener altos rendimientos de sobrevivencia y reproducción. Esto se debe según Horowitz y Horowitz (2000) a la disminución de la exposición a estrés

del camarón. Es por ello que la calidad del agua es uno de los primeros factores a controlar.

A pesar de que la producción camaronera en Latinoamérica ha presentado un aumento constante, la última década se ha caracterizado por una alta prevalencia de patologías de origen viral y bacteriano en los organismos de cultivo. La incidencia e impacto recurrente de las enfermedades infecciosas que afectan las producciones acuícolas, ha sido la causa de grandes pérdidas en aspectos productivos y económicos.

La aparición de enfermedades infecciosas (en los sistemas acuícolas y el inadecuado manejo de los parámetros físico-químicos del agua, provoca la reducción de la producción por la alta mortalidad en camarón (Burge, *et al* 2006; Roque, *et al* 2001).

Costa Rica tiene un enorme potencial para la inversión de proyectos en acuicultura sin embargo la falta de investigación aplicada tanto en el cultivo como en el medio ambiente han hecho que se mantengan las mismas fincas y áreas de producción de camarones desde inicio de los años noventa. Los ecosistemas de manglar y los estuarios están vinculados funcionalmente por la influencia de las mareas y ganan mucha importancia dentro del contexto de productividad mundial, han proporcionado a los seres humanos recursos para la recreación, la alimentación y el sustento. (FAO, 2017). El uso de los recursos naturales en este sector debe garantizar la sostenibilidad a largo plazo, lo que significa por lo general evitar efectos negativos en el medio ambiente (Coll, Fonseca, & Cortés, 2001).

La comprensión de los procesos ecológicos que ocurren en el agua cuerpos y en estanques de cultura del camarón pueden ayudarnos a entender y resolver algunos de los problemas de enfermedades que enfrentan los camaronicultores (Kautsky et al. 2000). Las variables de calidad del agua y del suelo afectan la supervivencia del camarón y el crecimiento son factores determinantes para los brotes de enfermedades. Adverso las condiciones de calidad del agua comprometen la gestión y el aumento nivel de estrés del camarón, por lo tanto, haciéndolos más susceptibles a las enfermedades (Boyd, 1990; Kautsky et al., 2000; Seiffert et al., 2005). El objetivo de este trabajo consistió en el monitoreo de la calidad del agua en manglar, lagunas de abastecimiento y estanques que permita la generación de conocimiento en la posible interacción que tienen los sistemas de producción de camarón con el medio ambiente o viceversa con el fin de que los productores hagan un mejor manejo del agua y protección del manglar.

MÉTODOS Y MATERIALES

Descripción del área de estudio. El proyecto se llevó a cabo en cuatro fincas camaroneras del sector de Colorado de Abangares, ubicadas en la región del Pacífico Norte de Costa Rica en la margen este del Golfo de Nicoya. En la figura 1 se evidencia la localización de cada una de las fincas en estudio.

El sistema de cultivo se caracterizó por las bajas densidades de siembra y un manejo limitado de la calidad del agua. Esta modalidad de cultivo es la que más se practica en la zona. Existen dos maneras de siembra, la primera que consiste en siembra directa en un estanque en donde se desarrollarán y cosecharán los camarones; la segunda aplica la metodología “TriFull” en donde tienen un estanque de cría y luego se trasladan a estanques de engorde. El recambio que se aplica es por el nivel de mareas y se usa fertilizante para mejorar la alimentación natural.

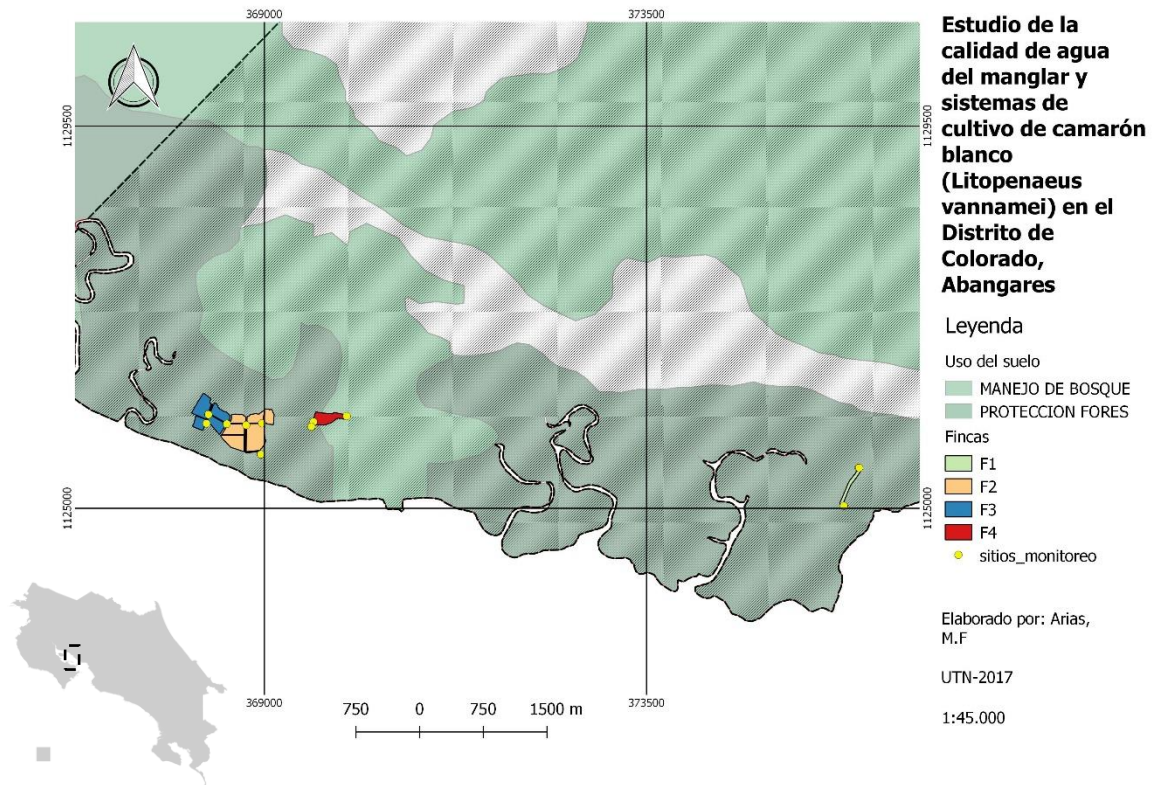


Figura 1. Localización geográfica de los sitios de monitoreo

El cultivo corresponde a *Litopenaeus vannamei*, especie nativa del pacífico tropical americano con capacidad de adaptación a altas densidades de población. Tiene un buen crecimiento y tolera diferencias de salinidades en rangos más amplios que otras especies.

Frecuencia del muestreo. Se desarrolló a través de muestreos realizados durante el inicio, desarrollo y cosecha entre el mes de abril y octubre. Se recolectaron muestras simples en estanque, reservorio y manglar, siguiendo los protocolos del Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater (APHA *et al*, 2005). Se realizaron mediciones in situ de OD, PSO, conductividad, pH, salinidad y temperatura utilizando una multisonda YSI556. En cada finca se recolectaron 6 muestras, 3 en galones de plástico de 3,7 L y 3 en botellas de 1L previamente lavadas con HNO₃ 1+1; ambas fueron conservadas a temperaturas entre 4-10°C y fueron transportadas al laboratorio para su posterior análisis.

Análisis de ensayos. Las muestras fueron analizadas siguiendo los protocolos establecidos en el laboratorio para Aguas y Especies Dulceacuícolas (LARED). Para el análisis de la demanda química de oxígeno la muestra de agua se oxidó con una solución sulfúrica caliente de dicromato potásico y sulfato de plata como catalizador. Se determinó la concentración de iones de cobre (III) a una longitud de onda de 600nm utilizando un espectrofotómetro Aquamate. El amonio fue analizado mediante el método espectrofotométrico en el cual en medio alcalino, el amonio presente en la alícuota de la muestra reaccionó con el salicilato e hipoclorito de sodio para dar un compuesto indofenólico verde esmeralda, cuya intensidad de color fue medida a 655nm. Para los fosfatos se siguió el método por ácido ascórbico Hach 8048 espectrofotométrico, el cual en un medio ácido el anión fosfato y el molibdeno amónico en presencia de tartrato de potasio y antimonio, generan ácido fosfomolibdico el cual es reducido mediante ácido

ascórbico generando una coloración azul a una longitud de onda de 890 nm. El método espectrofotométrico de diazotización Hach 8507 se utilizó para la determinación de nitritos, en medio ácido se da la diazotación de la sulfamilamida, formándose un catión de diazonio incoloro, la copulación del catión con el clorohidrato de NED da resultado a un colorante azoico fucsia, cuya intensidad es medida a 507nm. Los nitratos fueron analizados por el método espectrofotométrico de reducción por cadmio Hach 8192, en el cual el nitrato es reducido a nitrito utilizando cadmio como agente reductor. El nitrito fue determinado mediante la formación de un compuesto azo de color fucsia en la alícuota de muestra, cuya intensidad de color es medida a 520 nm. Por último los sólidos disueltos y suspendidos fueron determinados por el método gravimétrico 2540C y 2540D, respectivamente, en el cual los sólidos disueltos se determinaron mediante filtración y evaporación de la muestra a 180 °C y en los suspendidos, la muestra fue filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio acondicionado y el residuo retenido fue secado a 103-105°C. **Análisis estadístico.** Se determinó la calidad del agua en el manglar, reservorio (laguna de abastecimiento) y estanques haciendo uso de estadística descriptiva y un análisis de varianza no paramétrica: Kruskal Wallis, para la diferencia promedia de los tipos de agua entre cada sistema si estableció la hipótesis H0: Los parámetros de la calidad de agua proveniente de manglar, laguna de abastecimiento y estanque de cultivo, poseen igual concentración entre los distintos sistemas; y H1: Los parámetros de la calidad de agua proveniente de manglar, laguna de abastecimiento y estanque de cultivo, no poseen igual concentración entre los distintos sistemas. Para cada análisis se utilizó el programa de Di Rienzo, *et al* (2008).

RESULTADOS

En el cuadro 1 se muestra los valores promedios de cada uno de los parámetros estudiados en cada finca. Se muestra los valores para estanques (E), reservorios (R) y manglar (M) cercano a la toma de agua para cada finca.

CUADRO 1

Valores promedios para parámetros físico-químicos en las fincas en estudio y los manglares aledaños a la toma de agua

Finca	F1			F2			F3			F4		
Sitio de muestreo*/ Parámetros	E	M	R	E	M	R	E	M	R	E	M	R
Temperatura (°C)	32,24 ±2,65	28,38 ±5,83	32,20 ±2,23	31,73 ±2,63	31,70 ±3,58	33,04 ±5,14	29,75 ±0,12	29,94 ±1,82	29,72 ±1,13	31,85 ±2,70	31,05 ±2,29	31,67 2,34
pH	7,35 ±0,88	7,16 ±0,31	7,50 ±0,79	7,74 ±0,66	7,32 ±0,29	7,54 ±0,81	7,52 ±1,41	7,24 ±0,59	6,91 ±1,07	7,37 ±1,24	7,12 ±0,71	7,49 ±0,57
Oxígeno disuelto (mg/L)	5,22 ±3,13	2,62	4,06 ±1,06	4,25	2,26	4,35	4,03 ±1,17	2,04 ±0,74	4,50 ±0,38	4,71 ±1,40	3,60 ±1,03	4,65
PSO (%)	55,20	43,60	68,75 ±11,81	68,40	34,30	69,50	63,30 ±1,17	33,30 ±0,74	75,10 ±14,71	76,40 ±19,80	58,3 ±19,23	75,50
Conductividad (µS/cm)	64677 ±24439	62609 ±23650	63226 ±24535	70017 ±20482	67265 ±29090	71120 ±24807	55347 ±29548	61274 ±23730	62468 ±23441	51547 ±20152	56579 ±13833	41645 ±27475
Salinidad (ppt)	41,15 ±15,97	39,78 ±16,39	39,31 ±17,01	43,22 ±15,61	42,16 ±21,59	44,23 ±18,74	29,34 ±21,89	36,19 ±18,91	32,62 ±23,28	37,06 ±11,24	34,96 ±14,63	33,06 ±15,64
Demanda química de oxígeno (mg/L)	11791 ±8727	8725 ±3855	7972 ±4183	9968 ±1805	8174 ±4630	7435 ±4326	14014 ±9215	5530 ±1853	6391 ±1756	5940 ±5279	3676 ±1153	4762 ±1311
Amonio (mg/L)	0,07 ±0,03	0,07 ±0,04	0,08 ±0,04	0,12 ±0,16	0,03 ±0,01	0,09 ±0,09	0,33 ±0,05	0,03	0,06 ±0,03	0,27 ±0,41	0,04 ±0,01	0,03
Fosfatos (mg/L)	0,34 ±0,13	0,37 ±0,41	0,31 ±0,14	0,26 ±0,15	0,25 ±0,12	0,21 ±0,07	0,40 ±0,06	0,31 ±0,11	0,21 ±0,06	0,18 ±0,12	0,51 ±0,23	0,25 ±0,08
Nitratos (mg/L)	0,050	0,031	0,030 ±0,01	<0,002	0,062 ±0,01	0,015 ±0,01	0,150	0,026	0,058	<0,002	0,078	0,048

Sólidos disueltos (mg/L)	42263 ±15969	38132 ±11204	39422 ±14282	34741 ±6727	29992 ±6578	34745 ±5109	33546 ±5738	33502 ±3439	32149 ±140	31897 ±4921	28609 ±818	21577 ±7274
Sólidos suspendidos (mg/L)	750 ±242	713 ±135	709 ±215	596 ±257	603 ±180	393 ±130	548 ±120	544 ±90	554 ±86	503 ±205	389 ±44	479 ±211

En el cuadro 2 se muestra los valores de p-value obtenidos al aplicar el análisis de varianza no paramétrica de Kruskal Wallis.

CUADRO 2

Análisis de varianza no paramétrica de parámetros físicos y químicos mediante la prueba de KruskalWallis

Finca Parámetros	p-value	
	Entre sistemas	Entre fincas
Temperatura	0,6917	0,3355
pH	0,6214	0,8637
Oxígeno disuelto	0,0151	0,8285
PSO	0,0241	0,6208
Conductividad	0,9507	0,3502
Salinidad	0,9885	0,2482
Demanda química de oxígeno	0,2123	0,0197
Amonio	0,1752	0,1392
Fosfatos	0,4248	0,6384
Sólidos disueltos	0,6333	0,0578
Sólidos suspendidos	0,8305	0,0554

En la figura 1 mediante diagramas de caja se muestra la distribución de temperatura, pH, salinidad y oxígeno disuelto en cada sitio en estudio.

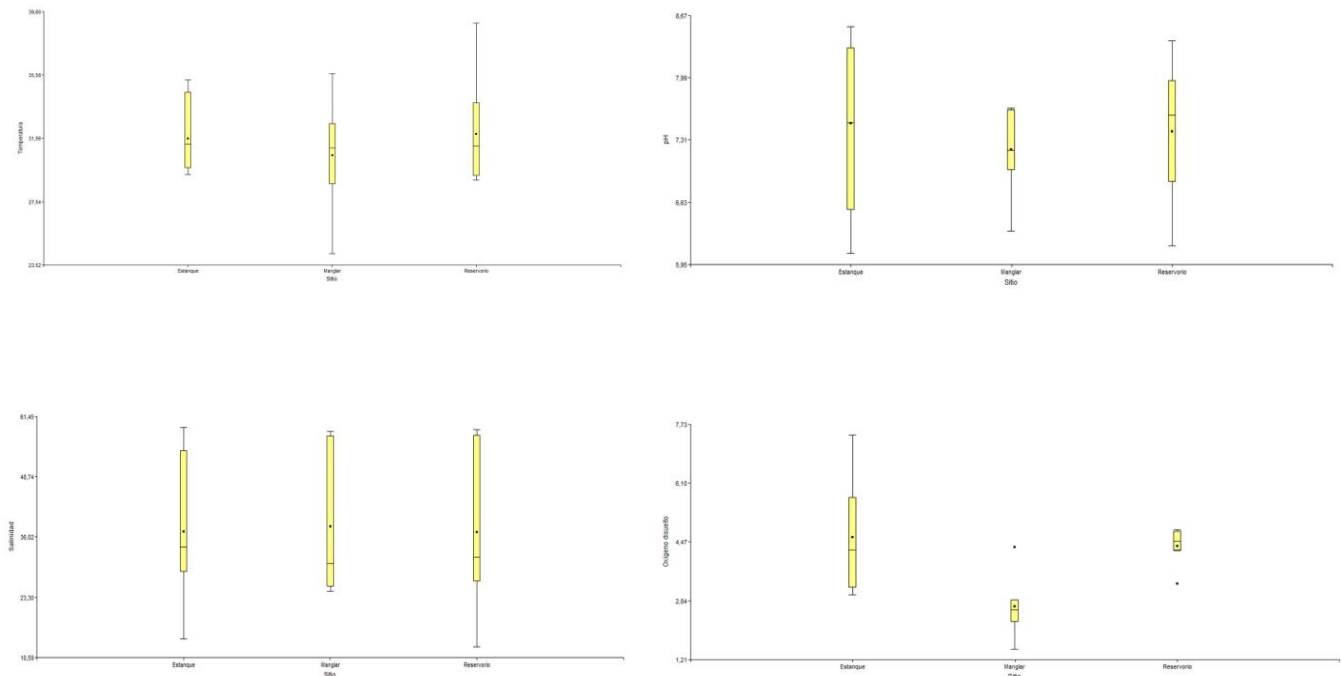


Figura 1. Diagrama de Box Plots para A) Temperatura, B) pH, C) Salinidad y D) Oxígeno disuelto entre los sistemas en estudio.

DISCUSIÓN

El cultivo del camarón es una actividad común en la zona costera de nuestro país, en muchas ocasiones se ha criticado el efecto que esta actividad puede tener sobre el estuario, sin embargo, estudios realizados han demostrado que existe un gran deterioro de las aguas del Golfo de Nicoya no solo por las actividades que se realizan en la zona sino debido a la eliminación de nutrientes, sustancias orgánicas y químicas provenientes de efluentes agrícolas cuencas arriba (Arias-Andrés *et al*, 2014)

Los ambientes costeros pueden sufrir de agotamiento de oxígeno, reducción de la transparencia, cambios en la macrofauna bentónica y eutrofización (Casillas-Hernández *et al.*, 2007; Hopkins *et al.*, 1995; Páez-Osuna, 2001).

Una suficiente cantidad de agua con buenos parámetros de calidad es esencial para cualquier proyecto de acuicultura. La calidad de agua afecta reproducción, crecimiento y sobrevivencia en los organismos acuáticos. El criterio de calidad de agua está sujeto al tipo de organismo que se desea cultivar (Chien, 1992).

Chávez (2008) describe los rangos recomendados de parámetros esenciales de calidad del agua para el cultivo de camarón. Establece que la temperatura puede oscilar entre 18-33°C, pH entre 7-10, oxígeno disuelto entre 2,5-10 mg/L, el amonio menor a 0,2 mg/L, el nitrato entre 0,4-0,7 mg/L, el fosfato entre 0,01-0,20 mg/L.

Según los valores descritos anteriormente y los datos obtenidos en el cuadro 1 se observa que las concentraciones de temperatura, pH y nitratos se encuentran dentro del rango óptimo en todos los sistemas, en el caso del oxígeno disuelto, el manglar cercano a las fincas F2 y F3 presentan bajos niveles sin embargo en el reservorio aumenta la

concentración del mismo. Este parámetro debe ser monitoreado constantemente ya que estos valores provocan un crecimiento lento de los crustáceos y estimula la mortalidad (Páez-Osuna, 2001), además ha sido reportado que el efecto de la hipoxia en crustáceos reduce el Conteo Total de Hemocritos (THC) y esto provoca el aumento de susceptibilidad a patógenos (Cheng *et al.*, 2002; Le Moullac *et al.*, 1998).

Para el caso del amonio (cuadro 1), se observan valores por encima del recomendado en los estanques de la finca F3 y F4. Altas concentraciones de amonio afectan el crecimiento del camarón, muda, consumo de oxígeno y excreción (Chen & Kou, 1992; Chen & Lin, 1992). Frías-Espéricueta *et al.* (2000) sugieren 1,22 mg/L como un nivel “seguro” para el cultivo de postlarva de *L. vannamei*.

Las concentraciones de fósforo obtenidas (cuadro 1) en los sistemas de la finca F1, F2 y F3, y manglar y reservorio de la finca F4 se encuentran por encima de la concentración recomendada por Chavez (2008) sin embargo Nunes *et al.* (2005) demuestran que el fósforo puede ser menor 0,5 mg/L, en este caso el manglar aledaño a la finca F4 se encuentra cercano a este nivel. Este compuesto es esencial para la vida acuática porque su función de nutriente actúa particularmente en procesos metabólicos durante la vida del crustáceo para almacenamiento de energía y estructura en la membrana celular (Esteves, 1998). Los nutrientes participan en una importante función dentro del mantenimiento de los ecosistemas acuáticos, pues fungen como nutrimentos esenciales para el sistema biótico, en lo que corresponde al inicio de la cadena alimentaria (Parsons y Takahashi 1976, Nixon *et al.* 1986, Nixon 1987, Staver *et al.* 1996, Acuña *et al.* 1998, Forja *et al.* 2003, Arrigo 2005).

Las pruebas estadísticas basadas en el análisis de Kruskal Wallis, aplicadas a los valores obtenidos de parámetros físicos y químicos en los sitios de monitoreo (Cuadro 1), indicaron que la variabilidad entre el conjunto de datos entre estanque, manglar y reservorio, no fue significativo, al nivel de confianza de 95%. Los promedios para los parámetros de temperatura, pH, conductividad, salinidad, demanda química de oxígeno, amonio, fosfatos sólidos disueltos y sólidos suspendidos, no fueron sustancialmente diferentes entre cada sistema dentro de la finca (Cuadro 2), por lo que el promedio indicado, puede tomarse como una característica de los sistemas, bajo las condiciones típicas que prevalecieron durante el muestreo efectuado en este estudio. Sin embargo para el oxígeno disuelto y el PSO si se evidencia la existencia de diferencia significativa entre cada sistema.

En la figura 2 se observa las variaciones que poseen la temperatura, pH, salinidad y oxígeno disuelto. La diferencia entre cada sistema conlleva a la dinámica fisicoquímica y biológica. Según Lara-Domínguez y Yáñez-Arancibia (1999) un aspecto importante de los ecosistemas de manglar, es que sus parámetros físicos son altamente variables tanto dentro como entre el sistema de raíces, se pueden registrar amplios rangos de salinidad, temperatura, fuerza de la marea y turbidez. Esto respalda la alta desviación estándar que existe en cada parámetro tomado en los sistemas. Para conocer las funciones de los manglares es necesario el seguimiento de procesos físico-ambientales de la zona costera como son: 1) las condiciones fisicoquímicas del agua (transparencia, nutrientes, salinidad, temperatura), 2) Latitud geográfica, 3) batimetría y tipos de sedimentos, 4) meteorología y clima, 5) descarga de los ríos, 6) rangos de marea y variación del nivel del mar, 7) lagunas costeras y estuarios adyacentes, 8) dinámica de interacción entre los estuarios y el mar.

En un estudio realizado por Rajeeb *et al.*, 2018 concluyen que el desarrollo futuro de la cría de camarones requiere responsabilidad práctica para mejorar la eficiencia operativa y ayudar a prevenir el derroche uso de agua y deterioro de la calidad del agua del estanque. Presupuesto de agua, el uso del agua dependiente de la densidad y el monitoreo de la

calidad del agua son tres requisitos principales para mejorar el rendimiento de la acuicultura. Además, los sistemas de cultivo con intercambio de agua bajo a moderado, sirven para mantener la calidad del agua adecuada para el crecimiento del camarón, mejora la eficiencia del uso del agua y ayuda a minimizar la cantidad de carga de sedimento y salidas de efluentes. Ray *et al*, 2011 demuestran que la simple gestión y las consideraciones de ingeniería como el intercambio mínimo intensivo en sistemas de cultivo de camarón pueden tener beneficios en la dinámica química.

El monitoreo continuo de los parámetros físicos, químicos y biológicos del estanque, el efluente y las aguas de entrada no solo ayuda a predecir y controlar las condiciones negativas para el cultivo del camarón, sino que también evita los daños ambientales y el colapso del proceso de producción. Si la calidad del agua no es buena, la productividad disminuye y se incrementa la mortalidad debido a la propagación de enfermedades facilitada por la disminución de la reacción del sistema inmunológico de los animales, lo que lleva finalmente a una reducción de las ganancias económicas para los productores. Dentro de los peligros asociados a la dinámica manglar-camaronera no se evidencia la presión sobre el manglar por contaminación por la calidad de agua según los parámetros estudiados. Si bien la actividad camaronera puede ser un foco de contaminación, la situación se vuelve más compleja cuando no se considera la realidad social y económica de muchos de los pobladores de las comunidades asociadas a los manglares, que por generaciones han dependido de los recursos que éste les provee.

CONCLUSIONES

De acuerdo con las evaluaciones realizadas utilizando la medición de parámetros en fincas acuícolas y ambientes naturales aledaños en Colorado de abangares no se evidencia una relación de estrés entre el manglar, estanque y reservorio, este estudio muestra que no existe diferencia significativa entre los parámetros medidos exceptuando el oxígeno disuelto entre los sistemas y los sólidos disueltos y suspendidos entre las fincas, que son factores en los que estadísticamente existe diferencia. Basados en los resultados se recomienda realizar estudios a nivel biológico y microbiológico tanto en el manglar como en los estanques. Además a las fincas se les insta a un monitoreo continuo de los parámetros físicos, químicos y biológicos del estanque, el efluente y las aguas de entrada no solo para ayudar a predecir y controlar las condiciones negativas para el cultivo del camarón, sino que también evita los daños ambientales y el colapso del proceso de producción, para ello pueden utilizar diferentes herramientas de manejo que les facilite la interpretación de los datos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al Programa de Investigación de la Universidad Técnica Nacional Sede Guanacaste. Se agradece a la Coordinación de Investigación y Transferencia de la sede por el uso de laboratorio y su colaboración en los muestreos. Se agradece a cada propietario de finca por su disposición y apoyo.

BIBLIOGRAFIA

- Acuña, J., V. García & J. Mondragón. 1998. Comparación de algunos aspectos físico-químicos y calidad sanitaria del Estero de Puntarenas, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46 (Supl. 6): 1-10.
- Arias-Andrés, M., Ruepert, C., García-Santamaría, F., Rodríguez, C. (2014). Demonstration of antibiotic-induced tolerance development in tropical agroecosystems through physiological profiling of sediment microbial

- Burge, E. J., Mandigan, D. J., Burnett, L. E., & Burnett, K. G. (2006). Lysozyme gene expression by hemocytes of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, after injection with *Vibrio*. *Fish & Shellfish Immunology*, 22(4), 327-339. doi: 10.1016/j.fsi.2006.06.004
- Boyd, C.E.(1990). Water quality in warmwater fish ponds. Agricultural Experimentation. Auburn University, Opelika, Alabama, USA. 359p.
- Boyd, C. (1998). Water Quality for Pond Aquaculture. Department of Fisheries and Allied Aquacultures. Research and Development Series No. 4. Auburn University, Alabama, pp 37
- Casillas-Hernández, R., Nolasco-Soria, H., García-Galano, T., Carrillo-Farnes, O., PáezOsuna, F. (2007). Water quality, chemical fluxes and production in semi-intensive Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture ponds utilizing two different feeding strategies. *Aquacultural Engineering* 36, 105–114
- Chávez, J., 2008. Parámetros químicos usados en acuicultura. Sociedad Latinoamericana de Acuicultura (SLA).
- Chen, J.C., Kou, Y.Z. (1992). Effects of ammonia on growth and molting of *Penaeus japonicus* juveniles. *Aquaculture* 104, 249–260.
- Chen, J.C., Lin, C.Y. (1992). Oxygen consumption and ammonia-N excretion of *Penaeus chinensis* juveniles exposed to ambient ammonia at different salinity levels. *Comp. Biochem. Physiol.* 102, 287–291.
- Chien, Y. H. (1992). Water quality requirements and management for marine shrimp culture. World Aquaculture Society. USA. 144-155
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. (2008). *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Esteves, F.A. (1998). Fundamentos de limnología. Interciências, Rio de Janeiro. 606p
- FAO. (2012). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Departamento de Pesca y Acuicultura, Roma.
- FAO. (2016). The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (05 de 10 de 2017). *Visión general del sector acuícola nacional Costa Rica*. Obtenido de Departamento de Pesca y Acuicultura: http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_costarica/es
- Forja, J.M., T. Ortega, R. Ponce, M. de la Paz, J.A. Rubio & A. Gómez-Parra. 2003. Transporte con las mareas de carbono inorgánico y nutrientes en una marisma litoral (Bahía de Cádiz, SO de España). *Cienc. Mar.* 29: 469-481.
- Arrigo, K.R. 2005. Marine microorganisms and global nutrient cycles. *Nature* 437: 349-355.
- Frías-Espéricueta, M.G., Harfush-Melendez, M., Páez-Osuna, F. (2000). Effects of ammonia on mortality and feeding of postlarvae shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 65 (1), 98–103.
- Hopkins, J.S., Sandifer, P.A., Devoe, M.R., Holland, A.F., Browdy, C.L., Stokes, A.D. (1995). Environmental impacts of shrimp farming with special reference to the situation in the continental United States. *Estuaries* 18, 25–42.

- Horowitz, A., Horowitz, S. (2000). Sludge an obstacle to Shrimp Health. *Global Aquaculture Advocate* 3(6): 27-28
- Kautsky, N., Ronnback, P., Tedengren, M., Troell, M. (2000). Ecosystem perspectives on management of disease in shrimp pond farming. *Aquaculture* 191, 145–161.
- Lara-Domínguez, A. L. y A. Yáñez-Arancibia. (1999). Productividad secundaria, utilización del hábitat y estructura trófica, p. 153-166. In: A. Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (eds.). Ecosistemas de Manglar en América Tropical. Instituto de Ecología A.C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. 380 p.
- Le Moullac, G., Soyeux, C., Saulnier, D., Ansquer, D., Avarre, C.J., Levy, P. (1998). Effect of hypoxic stress on the immune response and the resistance to vibriosis of the shrimp *Penaeus stylirostris*. *Fish Shellfish Immunol.* 8, 621–629
- Murillo, R. Z. (24 de 04 de 2017). Cámara Productora de Camarones en Costa Rica. (M. F. Araya, Entrevistador)
- Nixon, S.W. 1987. Chesapeake Bay nutrient budgets – a reassessment. *Biogeochem.* 4: 77-90.
- Nunes, A.J.P., Gesteira, T.C.V., Oliveira, G.G., Lima, R.C., Miranda, P.T.C., Madrid, R.M., 2005. Princípios para Boas Práticas de Manejo (BPM) na engorda de camarão marinhos no Estado do Ceará. Instituto de Ciências do Mar (Labomar/UFC). Programa de Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) do Estado do Ceará, Fortaleza, Ceará
- Páez-Osuna, F. (2001). The environmental impact of shrimp aquaculture: causes, effects and mitigating alternatives. *Environ. Manage.* 28, 131–140
- Rajeeb, K., Mohanty, S.K., Ambast, P., Panigrahi, K.G., Mandal (2018). Water quality suitability and water use indices: Useful management tools in coastal aquaculture of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture.* 485. 210–219
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.11.048>
- Ray, A. J., Dillon, K. S., Lotz, J. M. (2011). Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. *Aquacultural Engineering.* 45. 127-136.
[doi:10.1016/j.aquaeng.2011.09.001](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.09.001)
- Roque, A., Molina, A. A., Bolán, M. C., & Gómez, G. B. (2001). In vitro susceptibility to 15 antibiotics of vibrios isolated from penaeid shrimps in Northwestern Mexico. *International*, 17, 383–387.
- Seiffert, W.Q., Winckler, S., Maggioni, D. (2005). A mancha branca em Santa Catarina. *Panorama da Aquicultura* 15 (87), 51–53
- Staver, L.W., K.W. Staver & J.C. Stevenson. 1996. Nutrient inputs to the Choptank river estuary: Implications for watershed management. *Estuaries* 19: 342-358.
- Parsons, T. & M. Takahashi. 1976. Biological oceanographic processes. Pergamon, Inglaterra. 332 p.
- Tabora, P. (2002). Bases para el sistema sostenible de camarón cultivado. Universidad Earth. Costa Rica, p.7
- Valverde, J., Montoya, J. (2013). La experiencia del cultivo comercial de camarones marinos en estanques de producción en Costa Rica. *Rev. Mar. Cost*, ISSN 1659-455X, Vol. 5: 87-105
- Vega-Villasante, F., Chong, O. (2006). El Dicamarón, Diccionario de camaronicultura. Universidad de Guadalajara. Universidad de La Habana. 2a. ed. Ed. Ediciones de la Noche. p123.