



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

Universidad Nacional Autónoma de México

Unidad académica Mazatlán



**BALANCE DE MASAS DE K y Mg EN UN SISTEMA DE CULTIVO ACOPLADO A CAMARÓN
BLANCO (*Litopenaeus vannamei*) Y TOMATE (*Lycopersicum esculentum*), USANDO
AGUA DE POZO CON BAJA SALINIDAD Y TASA DE RECAMBIO CERO.**

TESIS

Que para obtener el grado académico de

Maestro en Ciencias

(Química Acuática)

Presentada por:

IBT. Victor Jesús Núñez Flores

Director de Tesis: Dr. Federico Páez Osuna

Comité tutorial: M. en C. Santiago Capella Vizcaíno

Dr. Carlos Green Ruiz

Dr. Martín F. Soto Jiménez

Dr. Martín Frías Espericueta

Mazatlán, Sinaloa octubre del 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Principalmente quiero darle las gracias a mis padres Victor Núñez y Cristina Flores por ese apoyo constante durante mi formación profesional y ayudarme a cumplir cada una de mis metas, por estar conmigo en las buenas y en las malas, aún mas por ser mis padres, así como también agradecer a mis hermanos Cristina y Sergio quienes han estado siempre conmigo.

A mi novia Carolina, por el cariño y apoyo moral que siempre he recibido de ti, por estar conmigo durante esta travesía la cual he logrado culminar. Gracias por ser una persona muy importante en mi vida y estar conmigo.

Al Dr. Federico Páez Osuna, por darme la oportunidad de iniciar y culminar esta meta la cual no fue fácil, por su extrema paciencia y apoyo, así como por brindarme cada uno de sus conocimientos para la realización de este trabajo.

Al Químico Humberto Bojórquez Leyva, por su gran dedicación para enseñarme el manejo de los equipos de laboratorio y por ayudarme con la realización de los análisis realizados para la culminación de este trabajo.

Al M. en C. Martin Mariscal Lagarda por su apoyo con el trabajo de muestreo y recolección de datos y resultados de este proyecto, así como por sus conocimientos aportados para reforzar este trabajo.

A los miembros de mi comité tutorial: M. en C. Santiago Capella Vizcaíno, Dr. Carlos Green Ruiz, Dr. Martín F. Soto Jiménez, Dr. Martín Frías Espericueta por su tiempo y comentarios e ideas para el enriquecimiento de este trabajo.

A todos mis compañeros: Juan, Gladys, Magda, Suammy, Cristina, Susana, Yazmín, Karen, Omar, Lucia, Goyo, Javier, Marcela, Armando, Manuel, Adriana, Marta del laboratorio de geoquímica y contaminación costera, así como a mis compañeros de clases: Chino, Gladys, Carolina, Daniela, Jorge, Claudia, Raul y Bibiana.

A Margarita Cordero, Natalia Medina, María Clara Ramírez por su ayuda con los trámites necesarios durante el posgrado y ayuda en la búsqueda bibliográfica.

A los compañeros encargados de cómputo, Mát. Germán Ramírez y Carlos Suárez, quienes siempre estuvieron pendientes para apoyarnos en los servicios de enlace en cada uno de los tutoriales.

A la todo el personal del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM que de una u otra manera me brindaron su amistad y apoyo para hacer posible la culminación de este proyecto.

CONTENIDO

Resumen

1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. Antecedentes	2
1.2.1 Producción a nivel mundial de camarón	2
1.2.2. Producción de camarón en agua con baja salinidad.....	4
1.3. Ventajas del cultivo de camarón en agua dulce y/o de baja salinidad	5
1.4. Problemática de los iones mayoritarios en el cultivo de camarón con baja salinidad.....	7
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3. OBJETIVOS	12
3.1. Objetivo general	12
3.2. Objetivos específicos	12
4. HIPÓTESIS	13
5. METODOLOGÍA.....	13
5.1. Área de estudio	13
5.2. Diseño experimental y funcionamiento del sistema	14
5.3. Desarrollo del proceso de producción.....	17
5.3.1. Cultivo de camarón	17
5.3.2. Cultivo de tomate	21
5.5. Monitoreo de la calidad del agua	22
5.5.1. Análisis de las muestras de agua	23
5.5.2. Análisis de las muestras de la planta de tomate, sedimentos y camarones	24
5.6. Balance de masas de K, Mg, Ca y Na.....	24
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25

6.1. Cultivo de camarón	25
6.1.1. Resultados de las concentraciones de los iones mayoritarios presentes en camarón, lodos y zeolita.	27
6.2. Parámetros físico-químicos.....	30
6.4. Cultivo de tomate	41
6.4.1. Resultados de los niveles de iones mayoritarios en tejidos de la planta de tomate y zeolita.....	42
6.4.1.1. Flujos y balance de masas de K, Mg, Ca y Na.....	45
6.4.1.2. Cálculos de los flujos y balances de masas de potasio.....	46
6.4.1.3. Cálculos de los flujos y balances de masas de magnesio.....	54
6.4.1.4. Cálculos de los flujos y balances de masas de calcio.....	61
6.4.1.5. Cálculos de los flujos y balances de masas de sodio.....	68
7. CONCLUSIONES.....	78
8. BIBLIOGRAFÍA	81

Índice de figuras

Fig.1. Ubicación del cultivo experimental en el municipio de Hermosillo.....	14
Fig.2. Diseño experimental propuesto.....	15
Fig. 3. Diseño del sistema de producción propuesto.....	16
Fig. 4. Tallas de camarón obtenidas en la cosecha del presente estudio (los intervalos en el eje de las X representan el número de camarones por libra).....	26
Fig. 5. Concentraciones de K encontradas en camarón, lodos, zeolita inicial y zeolita final del cultivo.....	28
Fig. 6. Concentraciones de Mg encontradas en camarón, lodos, zeolita inicial y zeolita final del cultivo.	28
Fig. 7. Concentraciones de Ca encontradas en camarón, lodos, zeolita inicial y zeolita al final del cultivo.	29
Fig. 8. Concentraciones de Na encontradas en camarón, lodos, zeolita inicial y zeolita al final del cultivo.	29
Fig. 9. Distribución de los iones mayoritarios en porcentaje en cabeza y músculo de camarón.	30
Figura 10. Variación de la temperatura (°C) durante el cultivo.....	33
Figura 11. Variación del oxígeno disuelto (mg/L) durante el cultivo.	34
Figura 12. Variación del pH durante el cultivo.	35
Figura 13. Variación de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) durante el cultivo.....	36
Figura 14. Variación de la salinidad (‰) durante el cultivo.	37
Figura 15. Variación de la concentración promedio de K en los 3 tanques durante el cultivo y en el agua de retorno del módulo de plantas de tomate.....	38
Figura 16. Variación de la concentración promedio de Mg en los 3 tanques durante el cultivo y en el agua de retorno del módulo de plantas de tomate.....	39
Figura 17. Variación de la concentración promedio de Ca en los 3 tanques durante el cultivo y en el agua de retorno del módulo de plantas de tomate.....	40
Figura 18. Variación de la concentración promedio de Na en los 3 tanques durante el cultivo y en el agua de retorno del módulo de plantas de tomate.....	41

Fig. 19. Concentraciones de K en hoja, raíz, tallo, fruto (tomate) y zeolita.....	43
Fig. 20. Concentraciones de Mg en hoja, raíz, tallo, fruto (tomate) y zeolita.....	44
Fig. 21. Concentraciones de Ca en hoja, raíz, tallo, fruto (tomate) y zeolita.....	45
Fig. 22. Concentraciones de Na en hoja, raíz, tallo, fruto (tomate) y zeolita.....	46
Fig. 23. Distribución de K, Mg, Ca y Na en raíz, tallo, hoja y fruto de la planta de tomate.....	47
Fig. 24. Balance de potasio del tanque 1 y módulo 1 en g K/ciclo.....	53
Fig. 25. Balance de potasio del tanque 2 y módulo 2 en g K/ciclo.....	54
Fig. 26. Balance potasio del tanque 3 y módulo 3 en g K/ciclo.....	54
Fig. 27. Balance promedio de los 3 tanques y los 3 módulos de tomate en g K/ciclo	55
Fig. 28. Balance de magnesio del tanque 1 y módulo 1 en g Mg/ciclo.....	61
Fig. 29. Balance de magnesio del tanque 2 y módulo 2 en g Mg/ciclo.....	61
Fig. 30. Balance de magnesio del tanque 3 módulo 3 en g Mg/ciclo.....	62
Fig. 31. Balance promedio de los 3 tanques y los 3 módulos de tomate en g Mg/ciclo.	62
Fig. 32. Balance de calcio del tanque 1 y módulo 1 en g Ca/ciclo.....	68
Fig. 33. Balance de calcio del tanque 2 y módulo 2 en g Ca/ciclo.....	68
Fig. 34. Balance de calcio del tanque 3 y módulo 3 en g Ca/ciclo.....	69
Fig. 35. Balance promedio de los 3 tanques y los 3 módulos de tomate en g Ca/ciclo.	69
Fig. 36. Balance de sodio del tanque 1 y módulo 1 en g Na/ciclo.....	75
Fig. 37. Balance de sodio del tanque 2 y módulo 2 en g Na/ciclo.....	75
Fig. 38. Balance de sodio del tanque 3 y módulo 3 en g Na/ciclo.....	76
Fig. 39. Balance promedio de los 3 tanques y los 3 módulos de tomate en g Na/ciclo	76

Índice de tablas

Tabla 1. Variables importantes para la calidad del agua de un cultivo de camarón. ...	3
Tabla 2. Velocidad de aclimatación dependiendo de la salinidad.	19
Tabla 3. Parámetros de calidad del agua monitoreados durante el ciclo de cultivo ..	23
Tabla 4. Datos promedio de producción para <i>Litopenaeus vannamei</i> , obtenidos durante el cultivo acoplado de camarón-tomate, usando agua de pozo con baja salinidad.	25
Tabla 5. Datos de los factores de producción en cultivos de baja salinidad y cultivos en agua dulce de camarón (<i>L. vannamei</i> y <i>L. monodon</i>) en densidades semi-intensivas, intensivas e hiper-intensivas.	31
Tabla 6. Datos de producción y consumo de agua en diferentes tipos de cultivo de camarón de diferentes especies, empleando diferentes salinidades y tasas de recambio.....	32
Tabla 7. Caracterización del agua de pozo.	33
Tabla 8. Datos de producción para tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>) obtenidos durante el cultivo acoplado de camarón -tomate, utilizando agua dulce de pozo.....	42

Resumen

Este proyecto se realizó en la Estación Experimental del Centro de Estudios Superiores de Estado de Sonora (CESUES) en el Tronconal, Hermosillo Sonora. El experimento se llevó a cabo por triplicado en tanques construidos con membrana plástica de 6 m de diámetro x 1.2 m de altura (volumen de 34 m³). El agua de cultivo sirvió para regar 15 macetas con un sustrato de zeolita donde se sembraron las plantas de tomate. El agua de las macetas retornaba al tanque por una canaleta como un cultivo hidropónico. Por tanque se asoció un módulo de 3 líneas, con tratamientos diferentes: línea 1, regado con agua del cultivo de camarón; línea 2, regado con una solución nutritiva; y la línea 3, regado con agua de pozo. El cultivo se llevó a cabo durante 19 semanas. La densidad de siembra fue de 50 PL/m², la sobrevivencia de 56.3%, el peso promedio individual de 14.0 g y la cosecha de 3932 kg/ha con un factor de conversión de 1.6. Los parámetros físico-químicos a lo largo del cultivo variaron como sigue: 20.4–32.3 C° para temperatura, 8.1–10.6 mg/L para oxígeno disuelto, 7.7–9.6 para pH, 1248–1505 µS/cm para la conductividad eléctrica y 0.8–1.0 g/L para la salinidad. El balance de masas del K evidenció que la mayor ruta de entrada fue a través del fertilizante (76.4%), mientras que la mayor ruta de salida fue por medio del agua de vaciado (62.3%), la cosecha (camarón) como biomasa representó un 1.7%, mientras que la biomasa en plantas de tomate fue de 3.3% del K. En el balance del Mg la mayor ruta de entrada se dio a través del fertilizante (44.6%) y la mayor ruta de salida fue por medio del agua de vaciado (76.2%). La cosecha como biomasa de camarón fue de 0.64% y la biomasa en plantas ocuparon un 0.55% del Mg. En el balance de Ca se observó como la mayor ruta de entrada se dio a través del agua de llenado (48.8%) y la mayor ruta de salida por el agua de vaciado (76.2%), la cosecha de camarón representó un 2.5%, mientras que la biomasa en plantas de tomate representó un 2.0% del Ca. El balance de Na tuvo un comportamiento semejante al del Ca ya que la mayor ruta de entrada del Na fue por medio del agua de llenado (51.6%) y la mayor salida fue a través del agua de vaciado (80.8%), la cosecha como biomasa de camarón fue de 0.2%, mientras que la biomasa en plantas de tomate representó un 0.2% del Na.

Abstract

This Project was developed in the Experimental station del Centro de Estudios Superiores de Estado de Sonora (CESUES) at Tronconal, Hermosillo Sonora. Beginning August 4 and finished December 12, 2008. The experiment was carried out per triplicate in tanks constructed with plastic membrane of 6 m of diameter x 1.2 m height (volume 34 m³). The shrimp water culture was utilized for irrigation of 15 pots with a zeolite substrate where were stocked the tomato plants. The return water from the pots was transferred to shrimp tanks; each tank was associated to one module with three lines, and each line was treated different: line 1, irrigated with shrimp water; line 2, was irrigated with nutritive solution; and line 3, was irrigated with groundwater. The period of culture was duration of 19 weeks. Stocking density was 50 PL/m². Survival obtained was 56.3%, the individual mean weight, 14.0 g, and the harvest 3932 kg/ha with a conversion factor of 1.6. The physical-chemical parameters through the culture varied: 20.4–32.3 C° for temperature, 8.1–10.6 mg/L for dissolved oxygen, 7.7–9.6 for pH, 1248–1505 µS/cm for electric conductivity, and 0.8–1.0 g/L for salinity. The mass balance of K evidenced that the main input route was through fertilizer (76.4%), while the main output route was the discharge water (62.3%), the harvest (shrimp) as biomass represented a 1.7%, while the tomato plants was 3.3% of K. In the Mg balance, the most input route was through fertilizer (44.6%) and the main output route was through discharge water (76.2%). The harvest as shrimp was 0.64% and the biomass as tomato plants was 0.55% of Mg. The Ca balance evidenced that the main input route was trough of filled water (48.8%), and the main output route was discharge water (76.2%), the harvest of shrimp represented 2.5%, while the biomass as plants represented 2.0% of Ca. The Na balance was a behavior similar to Ca due the main input route of Na was through of filled water (51.6%) and the main output route was through discharge water (80.8%), the harvest as shrimp was 0.2%, while the biomass in tomato plants represented 0.2% of Na.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de camarón o camaronicultura es una técnica que puede ser llevada a cabo dentro o fuera de su hábitat natural, siempre y cuando se proporcionen las condiciones adecuadas para que el organismo tenga un ciclo de vida adecuado, para posteriormente obtenerlo para el comercio alimenticio o la investigación. La camaronicultura es una actividad relativamente rentable que en las últimas dos décadas ha crecido satisfactoriamente a nivel mundial; México es un importante productor de camarón gracias a su ubicación geográfica y condiciones climáticas (Cruz, 2007).

Actualmente es preocupante el aumento de la población, que provoca que la demanda de alimentos sea mayor respecto a los recursos disponibles, esto ha ocasionado que se abuse de la explotación de los recursos, con una reducción de las pesquerías comerciales a niveles insostenibles. La acuicultura puede funcionar como una alternativa para satisfacer la demanda de alimentos y por otro lado puede colaborar en la preservación de especies en riesgo.

La acuicultura es la industria con mayor crecimiento a nivel mundial (9.2% anual) si se le compara con el crecimiento del 1.4% que ha tenido la pesca y el 2.8% de los cultivos agrícolas. México está entre los primeros 3 países con la mayor producción de camarón en el hemisferio Occidental (Wurmann *et al.*, 2004). Sin embargo, el cultivo de camarón es afectado gravemente por la aparición de enfermedades como el Virus Síndrome de Taura (TSV), Virus de la Necrosis Infecciosa del Tejido Hipodérmico y Hematopoyético (IHHNV) y el más reciente es el Síndrome de la Mancha Blanca (WSSV), y vibriosis principalmente, quienes han sido los causantes de grandes pérdidas económicas en este sector productivo. Un punto importante, en este contexto son los reglamentos que ha puesto el gobierno sobre los productores de camarón para disminuir los impactos que ocasionan a zonas aledañas así como la contaminación de los cuerpos receptores. Siendo importantes preocupaciones para los productores de camarón, buscando nuevas medidas que mitiguen los impactos hacia el medio ambiente y reduzcan el riesgo de introducir

patógenos a los estanques de cultivo, haciendo que la actividad sea sustentable en el largo plazo (Páez-Osuna, 2001a; Moss, 2002).

Dentro de las medidas que se han adoptado para contrarrestar los efectos negativos hacia el medio ambiente y la introducción de patógenos que causan enfermedades está (Hajek y Boyd, 1994; Hopkins et al., 1995; Browdy et al., 1998; Calvo, 1998; Lawrence et al., 1998; Moss et al., 2001; Moss, 2002): desarrollar tecnologías para cultivar camarón tierra adentro en agua dulce o a baja salinidad con bajas tasas de recambios de agua, aprovechando la capacidad que tiene el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) de adaptarse a concentraciones de salinidad tan baja como 1 ppm, lo que lo hace un candidato ideal para los cultivos tierra adentro (Davis et al., 2004).

1.2. Antecedentes

1.2.1. Producción a nivel mundial de camarón

El camarón es uno de los productos alimenticios de gran comercio internacional. La producción mundial de camarón, tanto de captura como de cultivo, es de unas 6 millones de toneladas, de las cuales un 60% entra al mercado internacional (FAO, 2010). Las capturas de camarón a nivel mundial se elevan a unas 3,4 millones de toneladas anuales. Asia es la región más importante en esta pesca. China, junto con otros cuatro países asiáticos, suma el 55% de las capturas en el mundo. En total, cerca del 60% de la producción de camarón procede de la pesca de captura, y el otro 40% de la acuicultura. En total, más de 100 países exportan cantidades sustanciales de camarón. Los mercados internacionales más importantes se concentran en Estados Unidos, Japón y Europa (Gillett, 2008).

México es un importante productor de camarón gracias a su ubicación geográfica y su clima, cuenta con 11 mil 592 kilómetros de costas, donde casi el 70% de camarón que se produce es de acuicultura. Para el año 2008 la producción fue de 132, 414 toneladas donde los mayores productores fueron: Sonora y Sinaloa, con una participación de 81,311 y 36,785 toneladas, respectivamente (Industria Acuícola, 2009).

En comparación con otros países, en México, la cría de camarón estuvo principalmente basada en el aprovechamiento de las ventajas naturales que el medio brindaba, tales como (Gutiérrez-Venegas *et al.*, 2005):

- (a) Condiciones climáticas favorables
- (b) Variedades disponibles de camarón *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris*
- (c) La cría masiva de postlarvas de laboratorio
- (d) Las ricas y extensas zonas de aguas marinas, bahías y estuarinas
- (e) La óptima calidad de las aguas

Un factor importante en los cultivos de camarón es la calidad del agua, que comprende un conjunto de variables físicas, químicas y biológicas (Tabla 1) que surgen de la interacción entre el suelo o la geomenbrana que cubre el estanque, la columna de agua y el clima (Boyd, 1990), que regulan directamente o influyen en el éxito de la operación de los cultivos y que puede ser el detonador de enfermedades, florecimientos algales tóxicos, anoxias episódicas, entre otras (Páez-Osuna *et al.*, 2001). Los principales agentes que afectan la calidad del agua en la acuicultura son el alimento balanceado y el fertilizante (Cho *et al.* 1994; Boyd y Tucker 1998).

Tabla 1. Variables importantes para la calidad del agua de un cultivo de camarón.

Parámetros físicos	Parámetros químicos	Parámetros biológicos
Temperatura	pH y alcalinidad	Bacterias
Salinidad	Nutrientes	Virus
Sólidos	Gases (O ₂ , N ₂ , CO ₂ , H ₂ S)	Hongos
Color	Compuestos orgánicos	Fitoplancton
Luz	Compuestos tóxicos	

Se sabe que aunque la camaronicultura provoca alteraciones en el medio ambiente, muchas de las aseveraciones en contra de la actividad no han sido completamente sustentadas científicamente. Sin embargo, una de las principales preocupaciones de los productores de camarón es la de adoptar medidas que mitiguen los impactos hacia el medio ambiente y reduzcan el riesgo de introducir

algún patógeno a los estanques de cultivo, haciendo que la actividad sea sustentable en el largo plazo (Páez-Osuna, 2001a; Moss, 2002).

El establecimiento de un balance de masas de los nutrientes en la camaronicultura es esencial para entender cuantitativamente la eficiencia en la utilización de los alimentos, los procesos biogeoquímicos y aquellos que tienen que ver con la calidad del agua y la evaluación de la carga de nutrientes (Páez-Osuna *et al.*, 2007). En México, los flujos y balance de masas fueron primeramente estudiados por Páez-Osuna *et al.* (1997) en un sistema semi-intensivo utilizando el sistema de alimentación por voleo, que es el sistema más popular (Casillas-Hernández *et al.* 2006).

Al conocer los balances de potasio, magnesio, calcio y sodio y elaborar o proponer modelos, ayuda a entender aspectos importantes como son:

- (a) La eficiencia del uso de fertilizantes y alimentos en el cultivo
- (b) El conocer el origen y destino de los iones mayoritarios (K, Mg, Ca y Na) dentro y fuera de los estanques
- (c) Evaluar el potencial de contaminación de los efluentes

Esto último, con el propósito de reducir significativamente el impacto de las descargas de agua sobre el ecosistema receptor y la inversión económica.

1.2.2. Producción de camarón en agua con baja salinidad

El cultivo de camarón tierra adentro con agua de bajas salinidades está tomando cada vez más importancia, en el sureste de Asia en Tailandia se trabaja con esta técnica obteniendo buenos resultados con *Litopenaeus monodon* y *Litopenaeus vannamei* integrado al cultivo de arroz (Fast y Menasveta, 2000).

Esta modalidad de camaronicultura inició en los noventa en Estados Unidos, Brasil y México utilizando aguas de subsuelos con bajas salinidades de 0.5 a 12 partes por mil (ppm) (Samocha *et al.*, 1998; 2001; 2002; 2004). En Ecuador, el cultivo de camarón tierra adentro a bajas salinidades (0.5 a 1.2 ppm) inició en el año 2000

como medida para evadir enfermedades virales (WSSV, TSV). Además de aprovechar el agua de desecho para irrigar cultivos de arroz, maíz, bambú y teca (Moss, 2002).

En México, el cultivo camarón blanco *L. vannamei* a baja salinidad (0.3 a 12 ‰) empezó a desarrollarse en el estado de Colima a finales de los noventa. Actualmente existen aproximadamente 100 ha abiertas al cultivo, distribuidas en 19 granjas que tienen un tamaño promedio de 14 ha. En dichas granjas se siembra a una densidad promedio de 60 PL/m², se trabaja en estanques menores a una hectárea; se han obtenido tallas y rendimientos promedios de 14 a 20 g y 2,500 kg/ha respectivamente, con una supervivencia del 67% (Muñoz *et al.*, 2005).

El cultivo de *L. vannamei* en estanques rústicos empleando agua de pozo con baja salinidad y tasas de recambio cero es viable y promisorio en aquellas localidades como la costa de Hermosillo Sonora. Se realizó un estudio en esta región de agosto a noviembre del 2006, utilizando una densidad de cultivo semi-intensiva de 13 camarones/m². Donde la sobrevivencia, producción y el factor de conversión alimenticia (FCA), al final del ciclo fueron de 61.5 %, 1240 kg/ha y 0.98, respectivamente; mientras que el crecimiento promedio para los dos estanques fue de 15.5 g de camarón con cabeza y las tallas resultantes fueron 51-60, 41-50, 36-40 y 31-35, obteniendo más del 50% del camarón en un peso de 16 a 20 g (Meraz Bautista *et al.* 2008; Mariscal-Lagarda *et al.* 2010).

1.3. Ventajas del cultivo de camarón en agua dulce y/o de baja salinidad

El cultivo de camarón tierra adentro manejado a bajas salinidades tiene una variedad de ventajas de acuerdo a Nunes y Velásquez (2002):

- (a) puede realizarse en lugares lejos de las costas donde las tierras son más económicas y cercanas al mercado donde se distribuye el producto disminuyendo costos de traslado.

- (b) no necesita de la tala de manglares y de la destrucción de otros humedales para la construcción de estanques.
- (c) no requiere aprobar estrictas restricciones ambientales.
- (d) el agua desechada rica en nutrientes puede ser reutilizada para la agricultura y al aprovecharla se evita un alto grado de contaminación ambiental.
- (e) se puede realizar con una baja o nula tasa de recambio, colaborando así con la sostenibilidad y aprovechamiento óptimo del agua.
- (f) los residuos suspendidos son rápidamente colonizados y mineralizados por bacterias, las cuales son aprovechadas por el camarón como fuente suplementaria, minimizando los costos de producción y necesidades proteicas.
- (g) El cultivo no corre el riesgo de enfermarse con algún patógeno viral.
- (h) se obtienen altos rendimientos ya que el cultivo se realiza de manera intensiva.
- (i) No se alteran las condiciones de los suelos ya que pueden realizarse en tanques.

Dentro de las medidas que se han adoptado para contrarrestar los efectos negativos hacia el medio ambiente y la introducción de patógenos que causan enfermedades (Hajek y Boyd, 1994; Hopkins *et al.*, 1995; Browdy *et al.*, 1998; Calvo, 1998; Lawrence *et al.*, 1998; Moss *et al.*, 2001; Moss, 2002) están:

- (a) El contar con un buen diseño de las instalaciones
- (b) Seleccionar adecuadamente los sitios para construcción de las granjas
- (c) Utilizar organismos certificados para garantizar que están libres de enfermedades
- (d) Adoptar prácticas para un mejor manejo de los alimentos y del agua

(e) Desarrollar tecnologías para cultivar camarón tierra adentro en agua dulce o a baja salinidad.

(f) Disponibilidad de una fuente de suministro de agua adecuada.

1.4. Problemática de los iones mayoritarios en el cultivo de camarón con baja salinidad

Las aguas subterráneas pueden diferenciarse considerablemente en términos de su composición relativa iónica comparada al agua de mar (Boyd, 2001). La mayor parte de aguas subterráneas, son deficientes en potasio aunque otros iones claves como el sodio, el cloruro, el calcio y el magnesio también puedan variar bastante dependiendo de la capa acuífera de la que provienen las aguas subterráneas. Estas aguas también cuentan con un potencial para comportarse de manera diferente bajo condiciones de cultivo. El agua de baja salinidad puede reaccionar con suelos inferiores, considerablemente afectando la composición iónica del agua en estanques abiertos (Boyd, 1995). Para obtener un cultivo de camarón exitoso se requiere de agua con concentraciones específicas de los principales aniones: bicarbonatos, sulfatos y cloruros, así como de los principales cationes: calcio, magnesio, potasio y sodio (Balbi *et al.*, 2005).

Sowers y Tomasso (2006) realizaron un experimento en el laboratorio para demostrar que *L. vannamei* expuesto a 2 y 20 g/L de agua de mar no muestra diferencias en crecimiento y supervivencia en su etapa adulta y a 2 g/L de sales mezcladas (cloruro de sodio, calcio, potasio y magnesio) no ayuda al crecimiento y supervivencia tan bien como a iguales concentraciones de agua de mar. Como objetivo, determinaron si *L. vannamei* crecía tan bien en 1 g/L diluida agua de mar más 1 g/L de sales mezcladas, lo que equivalía a 2 g/L agua de mar diluida. El crecimiento equivalente podría permitir la sustitución parcial de sales mezcladas menos caras que el agua de mar y así reducir la necesidad de agua de mar en los sistemas de cultivo tierra adentro.

Boyd *et al.* (2007), adicionaron iones potasio por medio de dos fertilizantes (cloruro de potasio y sulfato magnesio de potasio) en una granja de camarón tierra

adentro sin recambio de agua, para sustituir los iones que contiene el agua de mar. Agregaron un total de 1021.2 kg/ha de potasio a los estanques. Como resultado obtuvieron una pérdida de K en los estanques de 456.5 kg/ha y de esto 101.2 se filtró y lo restante se perdió en los efluentes (347.9 kg/ha). Aparentemente, el sedimento del fondo absorbió 564.7 kg/ha. Sin embargo, 374 kg/ha del potasio estaba en la capa 15 cm arriba del fondo. Concluyeron que posiblemente la discrepancia resultó de la fijación de potasio debido que no existió recambio de agua y que el reúso de agua es un camino práctico para mitigar la pérdida de potasio de las granjas tierra adentro.

Las carencias de iones principales en crustáceos pueden tener consecuencias fisiológicas en los límites de su crecimiento. El potasio tiene un papel esencial en la regulación del sodio y por lo tanto en el equilibrio de la hemolinfa (McGraw et al., 2002). Tanto el K como el Mg son iones esenciales para el crecimiento normal, supervivencia y función osmorregulatoria de los crustáceos (Mantel and Farmer, 1983; Pequeux, 1995).

Varios estudios han demostrado una ventaja al tener niveles y proporciones apropiadas de K y Mg, así como otros minerales durante la aclimatación de postlarvas en aguas de baja salinidad (McGraw et al., 2002; McGraw y Scarpa, 2003; Saoud et al., 2003; Davis et al., 2005). La carencia de una mezcla necesaria de iones esenciales, incluyendo el potasio (K) y el magnesio (Mg), han demostrado que pueden limitar el crecimiento y la supervivencia del camarón (Saoud et al., 2003; Davis et al., 2005).

Los iones mayoritarios potasio, magnesio, calcio y sodio, juegan un papel muy importante en el mantenimiento de la presión osmótica de las células de los camarones regulando el intercambio del agua y solutos dentro de las mismas, por otra parte juegan un papel principal como constituyentes estructurales de los tejidos blandos, así como para la transmisión de impulsos nerviosos y las contracciones musculares. También intervienen en el equilibrio ácido-base corporal y regulan el pH de la hemolinfa y otros fluidos corporales. De acuerdo a Castille y Lawrence (1980), Ferraris et al. (1986), Dall et al. (1990), Lucu y Towle (2003), McGraw y Scarpa (2003), Zhu et al., (2004) y Allen et al, (2005) las principales características y funciones de los mayoritarios en el desarrollo del camarón son:

Potasio

- a) Se encuentra intracelularmente
- b) Contribuye a la presión osmótica del citoplasma
- c) Establece el potencial de reposo de la célula
- d) Activa algunas enzimas
- e) Transporta la corriente hacia fuera para la repolarización de las membranas
- f) Juega un papel muy importante en el metabolismo de los crustáceos
- g) Tiene un rol principal en el mantenimiento de la eficiencia neuromuscular

Magnesio

- a) Se encuentra intra y extracelularmente
- b) Estabiliza las membranas celulares
- c) Es antagonista de la acción del calcio en muchas funciones
- d) Actúa como cofactor de muchas enzimas
- e) Actúa como un anestésico que deprime la transmisión neuromuscular

Calcio

- a) Estabiliza membranas celulares
- b) Regula la exocitosis y la concentración muscular
- c) Está implicado en la adhesión celular
- d) Transporta una corriente de entrada en membranas excitables
- e) Regula muchas enzimas y procesos actuando como segundo mensajero o agente acoplante.
- f) Es parte esencial del exoesqueleto.

Sodio

- a) Se encuentra extracelularmente
- b) Es el principal responsable de la presión osmótica del fluido extracelular

- c) Proporciona la energía potencial para el transporte de sustancias a través de las membranas celulares gracias al gradiente de concentración de la bomba de sodio
- d) Transporta la corriente de entrada para la excitación de las membranas
- e) Sirve como transporte de nutrientes al interior de la célula

Por otro lado, en el caso del tomate y de las plantas en general, el K, Mg y Ca son considerados elementos esenciales de los llamados macronutrientes (Vázquez-Isaías *et al.*, 2010) y entre las funciones que se describe para estos elementos están las siguientes:

Potasio

- a) Actúa como coenzima o activador de coenzimas
- b) Es requerido para la síntesis de proteínas

Magnesio

- a) Es la parte esencial de la molécula de la clorofila
- b) Es necesario para la actividad de numerosas enzimas incluyendo aquellos pasos importantes en la actuación del ATP
- c) Es esencial para mantener la estructura del ribosoma

Calcio

- a) Se encuentra precipitado como cristales de oxalato cálcico en las vacuolas
- b) Se encuentra en las paredes de la célula como peptato cálcico en cual une las paredes primarias de las células adyacentes
- c) Mantiene la integridad de la membrana y forma parte de la enzima alfa-amilasa

En el caso particular del tomate, cuando se presenta la deficiencia del K aparecen hojas con manchas cloróticas que primero se localizan en las hojas viejas y después se extienden en toda la planta. Si el Mg escasea, los espacios entre nervaduras se

vuelven más claros en las hojas maduras y algunas veces la clorosis empieza a producirse en las márgenes de las hojas para extenderse progresivamente. Si los tallos de las plantas no tienen un desarrollo normal, y si las nuevas hojas presentan irregularidades o manchas necróticas, o los brotes se tornan cloróticos, se trata entonces de una deficiencia de Ca (Samperio-Ruiz, 2005).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente es preocupante el aumento de la población, lo que conlleva a un incremento en la demanda de alimentos, esto ha ocasionado que se abuse de la explotación de los recursos, como en el caso de algunos organismos acuáticos y se podría llegar a poner en riesgo su extinción. La acuicultura puede funcionar como una alternativa para satisfacer la demanda de alimentos y por otro lado puede colaborar con la preservación de especies. Pero sin aumentar los niveles de contaminación ya que en la actualidad la camaronicultura es un generador de contaminación para las zonas adyacentes, por medio de las aguas que desechan con un alto contenido de nutrientes alterando las condiciones de las aguas receptoras. Por lo que es importante innovar técnicas de producción que sean amigables con el medio ambiente.

En los estados de Sonora y Sinaloa existen áreas que cuentan con aguas de menor salinidad, salobre o dulce y para aprovechar dichos recursos en algunos países se han desarrollado nuevas técnicas para la producción de camarón en aguas de menor salinidad, dando nuevas oportunidades al sector productivo, disminuyendo la contaminación y contribuyendo así a satisfacer la demanda de alimentos del país.

Sin embargo, se han realizado pocos trabajos (Allen *et al.*, 2005; Boyd *et al.*, 2007 y Roy *et al.*, 2010) sobre el contenido y el balance de masas de K y Mg en cultivos de camarón con baja salinidad, por lo que hay una evidente necesidad de investigar estos por su importancia que tienen para el crecimiento y la supervivencia.

La irrigación es un punto crítico en muchas regiones del mundo tanto por la escasez de agua como por las condiciones climáticas, sobre todo en latitudes áridas y semiáridas. La innovación con mejoras en los sistemas de riego es consecuentemente un tema de interés por lo que la utilización por dos o más cultivos constituye una alternativa significativa, así la integración de la agricultura con la acuicultura puede ser una solución para lograr un uso del agua más eficiente (Mariscal-Largada. *et al.*, 2012) En primer instancia se eligió el tomate por su tolerancia a aguas de baja salinidad y por su demanda comercial. El aspecto más importante en acoplar el cultivo camarón-tomate es por la coincidencia en las temperaturas de ambos cultivos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar la calidad del agua mediante los parámetros fisicoquímicos (temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad) y hacer un análisis del contenido y un balance de masas para K, Mg, Ca y Na en un cultivo acoplado de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) y tomate bola (*Lycopersicon esculentum*) con agua de pozo de baja salinidad y tasa de recambio cero.

3.2. Objetivos específicos

- (1) Monitorear diariamente las variables fisicoquímicas del sistema de cultivo acoplado camarón-tomate: temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica.
- (2) Determinar semanalmente las concentraciones de K, Mg, Ca y Na en el agua de los tanques de cultivo de camarón y el agua de retorno del módulo de cultivo de tomate.
- (3) Determinar las concentraciones de K, Mg, Ca y Na en los tejidos del camarón y tomate, lodos, fertilizante y el sustrato de cultivo para tomate.
- (4) Cuantificar los flujos de K, Mg, Ca y Na de entrada y salida para el sistema acoplado de cultivo camarón-tomate.

(5) Establecer un modelo de balance de masas de K, Mg, Ca y Na del sistema de cultivo acoplado camarón-tomate.

4. HIPOTESÍS

Dado que el agua de pozo carece de la suficiente disponibilidad de K y Mg, al añadir las cantidades requeridas de estos iones, el cultivo acoplado de camarón-tomate puede desarrollarse exitosamente sin poner en riesgo el crecimiento del camarón y tomate por alguna deficiencia de K y Mg.

Dado que los iones K, Mg, Ca y Na juegan un rol importante en las células de los dos organismos en cultivo, su ruta de adquisición principal se espera que sea la del agua y del alimento.

5. METODOLOGÍA

5.1. Área de estudio

El presente proyecto se llevó a cabo en el ejido El Tronconal, perteneciente al municipio de Hermosillo, Sonora. El cual, se localiza sobre la planicie costera, al Oeste del estado, en el paralelo 29° 05' de latitud norte y el meridiano 110° 57' de longitud oeste, a una altura de 282 metros sobre el nivel del mar. Su cabecera es la población de Hermosillo y colinda al noreste con Carbó y San Miguel de Horcasitas; al Este con Ures y Mazatán; al sureste con La Colorada y Guaymas; al noroeste con Pitiquito y al suroeste con el Golfo de California (Fig. 1).

Las localidades importantes de este municipio son, además de la cabecera municipal; el Poblado Miguel Alemán, Bahía de Kino, Kino Nuevo, San Pedro y el Saucito, la Victoria y la Manga. El municipio cuenta en su territorio con una superficie de 14,880.2 kilómetros cuadrados que significa 8.02 por ciento del área total estatal; y una densidad de población de 41 habitantes por kilómetro cuadrado.

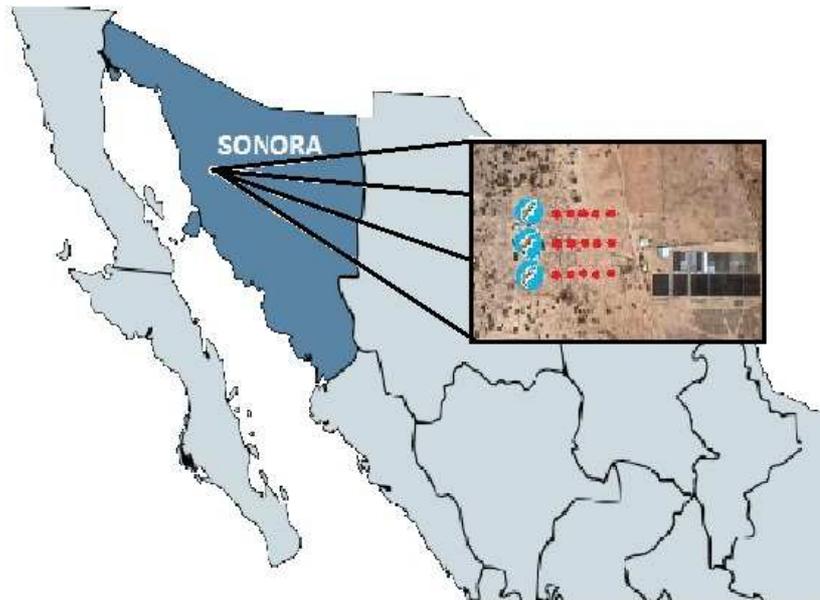


Fig.1. Ubicación del cultivo experimental en el municipio de Hermosillo.

5.2. Diseño experimental y funcionamiento del sistema

Para evaluar el efecto que se obtuvo al utilizar el agua donde se cultivó camarón sobre las plantas de tomate, se utilizó un diseño experimental de bloques completamente aleatorizados propuesto por McIntosh y Fitzsimmons (2003), comparando las siguientes alternativas: (1) plantas de tomate regadas con el agua de los estanques de cultivo de camarón; (2) plantas de tomate regadas con agua directa del pozo; y (3) plantas de tomate regadas con solución nutritiva para tomate (Fig. 2).

El sistema consistió de tres tanques circulares construidos con liner (6 m de diámetro x 1.2 m de altura), lo cual equivale a un volumen de 34 m³ de agua por tanque, que se utilizó para el cultivo de camarón. Además, cada tanque que contenían los camarones irrigó 15 macetas de plástico (4 a 5 kg de capacidad cada una).

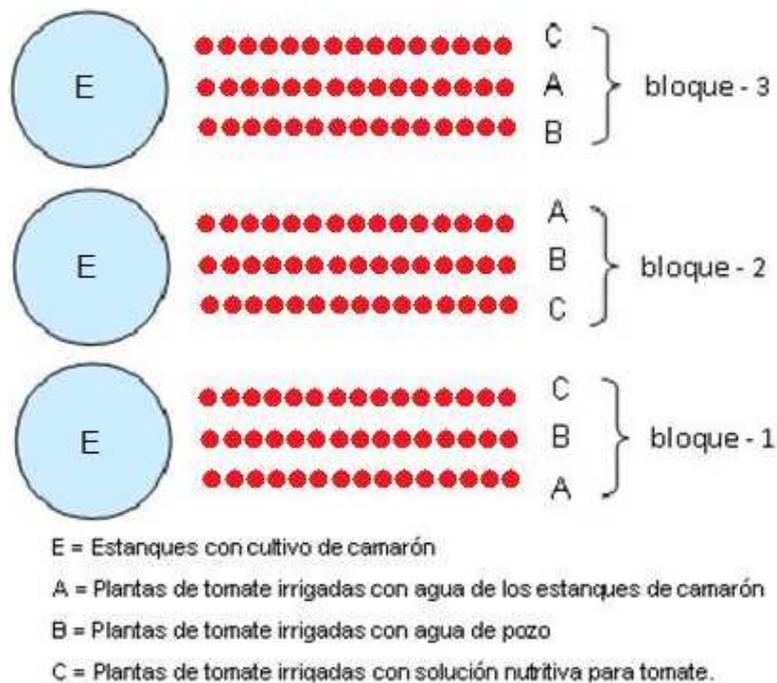


Fig.2. Diseño experimental propuesto.

Es decir, a cada módulo de plantas de tomate (45 plantas por módulo con 3 líneas de 15 macetas) se les efectuaron los 3 tratamientos para regar las plantas de tomate, 15 macetas eran regadas con agua de los tanques, 15 macetas se regaban con solución nutritiva y 15 macetas fueron regadas con agua directa del pozo. Las macetas se utilizaron para el cultivo hidropónico de tomate, en ellas, se colocó una capa de 20 cm de zeolita, misma que sirvió como sustrato para el crecimiento de las plantas. La intención de trabajar con zeolita es que esta por su naturaleza fisicoquímica atrapa compuestos nitrogenados por medio de intercambio iónico (Metcalf y Eddi, 1997) permitiendo por un lado que estén disponibles para las plantas como nutrientes, disminuyendo el amonio y nitrito para así reciclar el agua hacia los estanques de cultivo de los camarones (Fig.3). Finalmente para abastecer los requerimientos de oxígeno en los estanques con camarón, se contó con un aireador de inyección de burbujas (blower) de 1/2 hp para mantener el oxígeno en

concentraciones adecuadas para el camarón (Rakocy *et al.*, 1992; Loyless y Malone, 1998; Boyd, 1998; Van Wyk *et al.*, 1999).

El agua de los estanques con camarón, se hizo pasar por gravedad hacia cada una de los tanques que se utilizaron para regar con agua de camarón, luego, el agua pasó por gravedad hacia las macetas mediante una tubería de manguera hidráulica de ½" de diámetro, esta tubería corrió paralela a las macetas a una altura aproximada de 40 cm de su base, para irrigar las plantas se conectó a la tubería anterior una manguera tipo espagueti por cada planta. El riego con los tanques que contenían agua de pozo y solución nutritiva se hizo de la forma descrita anteriormente, el agua que no fue consumida por las plantas fue recolectada por una canaleta, la cual tuvo una pendiente del 2% para permitir un libre flujo del agua (Rackocy *et al.*, 1992; McMurtry, 1997; Sampeiro, 1999) (Fig.3).

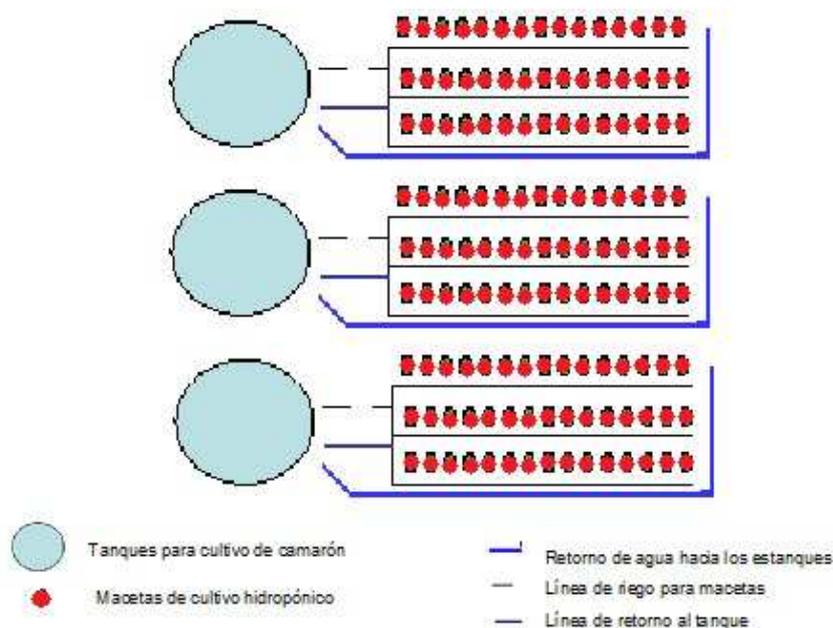


Fig. 3. Diseño del sistema de producción propuesto

Para comparar las medias entre los tratamientos se hicieron comparaciones múltiples empleando la prueba de Tukey propuesta en Montgomery (2002). Los parámetros de calidad de agua (oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, pH, conductividad

eléctrica, K y Mg) así como los datos promedio de producción como crecimiento, supervivencia, producción, conversión alimenticia y flujos químicos se analizaron por ANOVA de una vía de acuerdo a lo planteado en Páez-Osuna *et al.* (1997), y Casillas-Hernández *et al.* (2006; 2007). El flujo de balance de masas de K y Mg fue expresado como medias \pm desviación estándar de cada uno de los flujos.

5.3. Desarrollo del proceso de producción

5.3.1. Cultivo de camarón

El camarón blanco (*L. vannamei*) se seleccionó debido a que entre otros (Ocean Garden, 2003; Instituto de Acuicultura del Estado de Sonora, 2001): soporta un amplio rango de salinidades (desde 0.4 hasta aguas marinas), se desarrolla bien a altas densidades, tiene una gran adaptabilidad en cautiverio, disfruta de buena aceptación y buen precio en el mercado, y además está disponible la semilla en los laboratorios del noroeste del país.

Se desarrolló un ciclo de producción largo que comprendió 19 semanas (4 agosto - 12 de diciembre del 2008). Se sembró una superficie aproximada de 85 m² que es equivalente a los tres tanques que se mencionaron anteriormente. La densidad de siembra que se utilizó fue de 50 PL/m², lo que da un total de 4241 postlarvas con una talla mínima de PL₁₂, se estimó que al final del cultivo la sobrevivencia fue del 56.3 % y se tuvo un peso promedio individual de 14.0 g al momento de la cosecha.

5.3.1.1. Preparación de los tanques de cultivo

Una vez que los tanques se construyeron, se lavaron con jabón y ácido muriático para eliminar las impurezas del liner con el que se forraron los tanques. Para ello, se subió el nivel de agua a 0.20 m y se tallaron con un cepillo plástico tanto la pared como el fondo de cada tanque, drenando el agua para repetir la misma operación. Después a esto, los tanques se dejaron secar al sol durante dos días, se les colocó un tubo de PVC de 2" de diámetro y 1.2 m de longitud en el centro del tanque para evitar que las postlarvas se escapen al ser sembradas. Para iniciar el llenado se subió el nivel del agua a 0.80 m para posteriormente vaciarlos y dejarlos secar por 24 horas al sol. Debido a que el agua de pozo careció de concentraciones suficientes de potasio y de magnesio, se llenaron y se fertilizaron 10 días antes de iniciar la siembra, con cloruro de potasio (KCl) y nitrato de magnesio (MgNO₃) para subir los niveles de K y Mg que son importantes para el crecimiento del camarón

(Boyd y Thunjai, 2003; McNevin *et al.*, 2004; Davis *et al.*, 2005; Sowers y Tomasso, 2006) y provocar que el fitoplancton floreciera ya que es una fuente importante de alimento para las postlarvas, finalmente se subió el nivel del agua a 1 metro que fue el nivel de operación durante el ciclo de cultivo.

5.3.1.2. Adquisición y transporte de postlarvas

Con el fin de garantizar que las PL carecían de cualquier patógeno, éstas procedieron de un laboratorio certificado. Después de verificar que las postlarvas estaban libres de enfermedades se realizó una prueba de estrés como una medida más para comprobar su calidad. Para realizar esta prueba las postlarvas se sometieron a un cambio brusco de salinidad por 30 minutos, cambiándolas de agua marina a agua dulce, transcurridos los 30 minutos se invirtió el proceso por otros 30 minutos, al finalizar se midió la supervivencia y como la PL sobrevivió igual o mayor al 90 % se adquirieron las postlarvas (Reid y Arnold, 1992; Davis y Arnold, 1998; Van Wyk *et al.*, 1999; Zendejas, 1999; Clifford III, 2000). Solamente las postlarvas que pasaron las pruebas mencionadas se transportaron al sitio de cultivo, para ello, se empacaron en bolsas de plástico con 10 L de agua, cada bolsa contenía 1000 postlarvas (una bolsa por cada tanque de cultivo), posteriormente, estas se introdujeron en hieleras para conservar la temperatura del agua aproximadamente a 22°C.

5.3.1.3. Aclimatación y siembra de postlarvas

Antes de llevar a cabo el proceso de aclimatación, fue necesario igualar la temperatura que contenía el agua de las bolsas (22°C) donde se transportaron las PL a la temperatura que contenía el agua del tanque (28°C) donde se realizó la aclimatación, por lo tanto, las bolsas que contenían las postlarvas fueron depositadas dentro del tanque durante 3 horas para que se homogenizara la temperatura en el agua de transporte con las del tanque de cultivo. Para la aclimatación (disminución de la salinidad), se contó con un tanque de 2,160 L trabajándose a un volumen de 2000 L. Para efectuar el proceso de aclimatación se fue añadiendo paulatinamente agua del tanque de cultivo al tanque aclimatador de acuerdo a Van Wyk *et al.* (1999); McGraw y Scarpa (2004); Davis *et al.* (2002, 2005); Balbi *et al.* (2005) (Tabla 2).

Durante el proceso de aclimatación se alimentó a las postlarvas con nauplios de *Artemia salina* (100 nauplios/PL) y alimento balanceado en polvo con un contenido de proteína del 50 % (Samocho *et al.*, 1998) y se realizaron limpiezas diarias del tanque para eliminar el alimento no consumido y evitar un deterioro en la calidad del agua.

Tabla 2. Velocidad de aclimatación dependiendo de la salinidad.

Cambios de salinidad (‰)	Tiempo (horas)	Velocidad de reducción (‰/hora)
35 a 18	9	2
18 a 9	9	2
9 a 4	5	0.5
4 a 2	4	0.5
2 a 1	5	0.2

Para suministrar oxígeno al agua, se utilizó el rotrón de 1 HP. Se llevó a cabo un registro de los parámetros físico-químicos como temperatura, salinidad, oxígeno y pH, así como el estado de las postlarvas; observando su color y actividad. Al finalizar el proceso de aclimatación, se estimó la supervivencia, para ello, se agitó vigorosamente el agua del transportador con el fin de que las postlarvas se distribuyeran homogéneamente y se tomaron 5 muestras de 100 ml obteniendo una media entre ellos, para después extrapolar al volumen del tanque. Una vez que se alcanzó la aclimatación, los camarones se trasladaron hacia los tanques de crecimiento, y con el propósito de monitorear el éxito de la siembra se instalaron en cada estanque dos camas de supervivencia y a cada una se le colocaron 50 PL y se

revisaron a las 24, 48 y 72 horas después, tomando la decisión de volver a sembrar si la supervivencia era menor al 80 %.

5.3.1.4. Alimentación

Debido a la riqueza del plancton que de manera natural prolifera en el tanque, se consideró que en los primeros días sus requerimientos serían satisfechos. Sin embargo, se comenzó a suministrar alimento balanceado con un contenido de 40 % de proteína a partir de y durante las primeras 8 semanas de cultivo, empleando un total de 18 kg durante el ciclo de cultivo. A partir de la semana 8 se cambió a un alimento con un contenido de proteína de 35 % (pellets 1/32") hasta que finalizó el cultivo, agregando un total de 42 kg. La cantidad de alimento que se suministró diariamente, se hizo con base a un porcentaje de la biomasa de los camarones y se aplicó en 3 raciones al día (07:00, 13:00 y 20:00) (Reid y Arnold, 1992; Davis y Arnold, 1998; Van Wyk, 1999). La alimentación se realizó aplicando la técnica al boleo y el consumo se monitoreó mediante el uso de charolas, distribuyendo 2 por tanque (Zendejas, 1999; Cliford III, 2000; Casillas-Hernández *et al.*, 2007).

5.3.1.5. Crecimiento y cosecha del camarón

El muestreo de crecimiento se realizó con el propósito de monitorear el desarrollo del organismo, corroborar que éste fuera normal (tasas de crecimiento de 0.7-1.7 g/semana) y entonces poder tomar las medidas necesarias en caso de presentarse algún problema, como de reiniciar el cultivo o bien subsanar alguna anomalía (enfermedades). Se realizó semanalmente, a partir de que el camarón alcanzó 1-1.5 g de peso, se utilizaron atarrayas de las llamadas punta de lápiz con área de 9 m². El mínimo de camarones que se muestrearon fue de 100 organismos/tanque, registrándose medidas como peso y estado de salud.

Al acercarse el período de la cosecha se realizaron muestreos con la finalidad de determinar si el camarón se encontraba listo para ser cosechado, observándose el estado de salud, detección de olor ó sabor desagradable, manchas en el exoesqueleto, quistes, nado errático, etc. En el presente caso no se observaron problemas.

5.3.2. Cultivo de tomate

La planta que se seleccionó para el cultivo hidropónico corresponden a: tomate bola (*Lycopersicum esculentum*), debido a que (Sampeiro, 1999):

- Es una hortaliza de alta demanda a nivel mundial.
- Es cultivada en varias zonas agrícolas de México, como el valle de Culiacán, valle del Fuerte, Sur de Sonora y en invernaderos hidropónicos establecidos en la costa de Hermosillo, Magdalena de Kino, e Imuris.
- Se pueden comercializar en el mercado local, nacional e internacional ya sea fresca o industrializada.
- Son cultivos altamente rentables.
- Tiene excelente aceptación en el mercado por ser productos de alta calidad (color, forma, textura, tamaño).
- Se pueden obtener mayores producciones por unidad de superficie.
- Se pueden producir durante todo el año de manera hidropónica.

Las semillas que se adquirieron fueron semillas certificadas de crecimiento determinado, esta semilla se puede adquirir con los proveedores locales, nacionales o extranjeros siempre y cuando se garantice una alta calidad.

5.3.2.1. Siembra y trasplante

El tomate se sembró en semilleros con 200 cavidades utilizando sustrato de pet moss-perlita en proporción 1:1 (Sampeiro, 1999). Se depositó una semilla por cavidad y se regaron con una regadera de jardín dos veces al día (mañana y tarde), una vez que emergieran las plantas, se pusieron los semilleros a flotar dentro de un estanque hasta que apareció el primer par de hojas verdaderas (15 a 20 días).

Concluida la etapa de siembra, las plantas de tomate se trasplantaron a las macetas de plástico a una densidad de 9 plantas/m² y en total se plantaron 135 (45/tanque), de las cuales, 15 fueron regadas con agua del cultivo de camarón, 15 regadas con una solución nutritiva especial para tomate y 15 con agua de pozo directa, esto con el propósito de evaluar la efectividad de utilizar el agua del cultivo de camarón en la producción de tomate.

5.4.2.2. Entutorado o guiado de la planta

Debido a que el crecimiento del tomate es hacia arriba fue necesario proporcionarles una guía o tutor para que se mantuvieran erguidas, mejorando de esta manera la aireación y el mejor aprovechamiento de la radiación solar, así como las diferentes labores de cultivo. El material que se utilizó como guía consistió en hilo de polipropileno (rafia) sujetando un extremo a la zona basal de la planta mediante el uso de un anillo plástico y el otro extremo a un alambre situado aproximadamente a 2 metros de altura de las plantas; conforme las plantas iban creciendo se iban liando o sujetando al hilo tutor mediante anillos plásticos.

5.3.2.3. Deshoje, podas y raleo

Estas actividades se realizaron de manera manual, para el caso del tomate el deshoje tuvo la función de eliminar las hojas que se encontraban situadas por debajo del racimo de frutos y así mantener una buena oxigenación en la planta. Durante la poda se erradicaban los crecimientos laterales para que la planta se mantuviera con un solo tallo, en el caso del raleo y debido a que se pretendía producir tomate de talla uniforme y con maduración similar, se estuvo checando el excedente de frutos en los racimos, tratando de mantener estos con 3 o 4 tomates por racimo.

5.3.2.4. Cosecha

Para cosechar el tomate se utilizó como criterio cuando el fruto presentó una coloración rojiza (Rackocy *et al.*, 1992; McMurtry, 1997; Sampeiro, 1999).

5.5. Monitoreo de la calidad del agua

De acuerdo a Reid y Arnold (1992), Davis y Anold (1998), Van Wyk y Scarpa (1999), el monitoreo del agua se realiza con el propósito de verificar que las condiciones del agua sean óptimas para el buen desarrollo del organismo y poder tomar decisiones de emergencia, en caso de presentarse cualquier problema con el agua. Los parámetros a monitorear se muestran en la Tabla 3.

Para determinar los parámetros físico-químicos se utilizaron diferentes equipos. Para el oxígeno disuelto se utilizó un oxímetro YSI SS, para determinar pH y conductividad eléctrica se dispuso de un potenciómetro combo HANNA instruments

(HI 98129). La salinidad de los tanques de camarón se estimó multiplicando la conductividad eléctrica (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) por 0.00063. El valor fue calculado a partir de las ecuaciones descritas por Braaten y Flaherty (2001), Boyd (2002), Collins *et al.* (2005).

5.5.1. Análisis de las muestras de agua

En las muestras de agua se analizó el contenido de K, Mg, Ca y Na. Las muestras que se analizaron fueron tomadas del agua de los tanques que contenían camarón y del agua que salía de las macetas hidropónicas con tomate bola y que pasaba por la zeolita.

Tabla 3. Parámetros de calidad del agua monitoreados durante el ciclo de cultivo

Parámetro	Hora	Frecuencia
Oxígeno disuelto	2 veces al día (06:00 y 18:00)	Diariamente
Temperatura	2 veces al día (06:00 y 18:00)	Diariamente
Conductividad eléctrica	2 veces al día (06:00 y 18:00)	Diariamente
Salinidad	2 veces al día (06:00 y 18:00)	Diariamente
pH	2 veces al día (06:00 y 18:00)	Diariamente
Mg	Una vez al día (12:00 a 13:00)	Una vez a la semana
K	Una vez al día (12:00 a 13:00)	Una vez a la semana
Ca	Una vez al día (12:00 a 13:00)	Una vez a la semana
Na	Una vez al día (12:00 a 13:00)	Una vez a la semana

5.5.2. Análisis de las muestras de la planta de tomate, sedimentos y camarones

Se analizó el contenido de K, Mg, Ca y Na en fruto, tallo, raíz, hojas, camarón, en el caso del camarón se dividió en lo que es el músculo y cabeza (cefalotórax, ojos, antenas, etc.) lodos, fertilizantes, alimento y zeolita, de la siguiente manera:

Una vez que los tomates y los camarones fueron cosechados se transportaron al laboratorio en donde se pesaron en peso húmedo y posteriormente se liofilizaron y después se molieron para iniciar los análisis.

Para la lectura de los elementos mencionados se tomaron 0.25 g de cada una de las muestras secas-molidas por duplicado, se depositaron en vasos del equipo de digestión (Microwave System, Mars) y se les añadieron 5 ml de HNO₃ (60-70%) para análisis de metales, luego se les dejó reposar (de 8 a 12 horas) y después se llevaron al microondas, donde fueron corridas de acuerdo al siguiente programa: calentadas a 100°C por 5 minutos, a 120°C por 5 minutos y a 120°C por 10 minutos (Osuna-Martínez *et al.*, 2010). Una vez tratadas en el sistema de digestión por microondas, las muestras se aforaron con agua destilada a 20 mL. Para determinar la concentración de los elementos se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica VARIAN modelo SpectrAA-220.

5.6. Balance de masas de K, Mg, Ca y Na

Los flujos asociados con la entrada y salida de K, Mg, Ca y Na fueron efectuados de acuerdo a la metodología y las consideraciones dadas en Páez-Osuna *et al.* (1997, 2001), para ello se llevó a cabo un registro detallado de todos los aportes de materiales que incluye el alimento, el fertilizante, las semillas, la composición inicial del suelo y del agua, la cosecha y el material capturado por los sistemas de trampas y filtros.

Una vez cuantificados los flujos de K, Mg, Ca y Na se calcularon las pérdidas de estos hacia el ambiente, mediante las siguientes ecuaciones, propuestas por Páez-Osuna *et al.* (1997); Páez-Osuna y Ruiz-Fernández (2005); Casillas-Hernández *et al.* (2006):

$$L_K = F CF_k + f Cf_k + IC_{I_k} - HC_{H_k}$$

$$L_{Mg} = F CF_{Mg} + f Cf_{Mg} + IC_{I_{Mg}} - HC_{H_{Mg}}$$

$$L_{Na} = F CF_{Na} + f Cf_{Na} + IC_{I_{Na}} - HC_{H_{Na}}$$

$$L_{Ca} = F CF_{Ca} + f Cf_{Ca} + IC_{I_{Ca}} - HC_{H_{Ca}}$$

Donde L se refiere a la carga ambiental de K, Mg, Ca y Na, respectivamente, F al suministro total de alimento, CF a la concentración de K, Mg, Ca y Na del alimento, f a la tasa de fertilización, Cf a la concentración de K, Mg, Ca y Na del fertilizante, I al flujo del agua de llenado y de reposición de niveles, IC a la concentración de K, Mg, Ca y Na del agua, H a la biomasa de la cosecha y HC a la concentración de los iones en la cosecha.

6. Resultados y discusión

6.1. Cultivo de camarón

Respecto al desarrollo del cultivo de camarón *L. vannamei*, se llevó a cabo en una salinidad promedio de 0.86 ‰, se inició con postlarva PL15 sembrando una densidad de 50 PL/m². Se obtuvo una cosecha equivalente a 3,932 kg/ha (11.20 ± 0.09 kg/tanque) y una supervivencia de 56.3% y se obtuvo un factor de conversión alimenticia (FCA) de 1.61, lo que implica que por cada kg de camarón se requirió 1.61 kg de alimento, se obtuvo un peso promedio por individuo de 13.9 g y se tuvo un incremento en peso semanal de 0.73 g (Tabla 4).

Tabla 4. Datos promedio de producción para *Litopenaeus vannamei*, obtenidos durante el cultivo acoplado de camarón-tomate, usando agua de pozo con baja salinidad.

Densidad (PL/m ²)	50
Tiempo de cultivo (días)	120
Peso inicial (g)	0.08 ±0.01
Peso final (g)	13.90 ±0.40

Crecimiento (g/semana)	0.73 ±0.04
Supervivencia (%)	56.30 ±0.90
FCA	1.61 ±0.03
Producción (ton/ha)	3.93 ±0.02

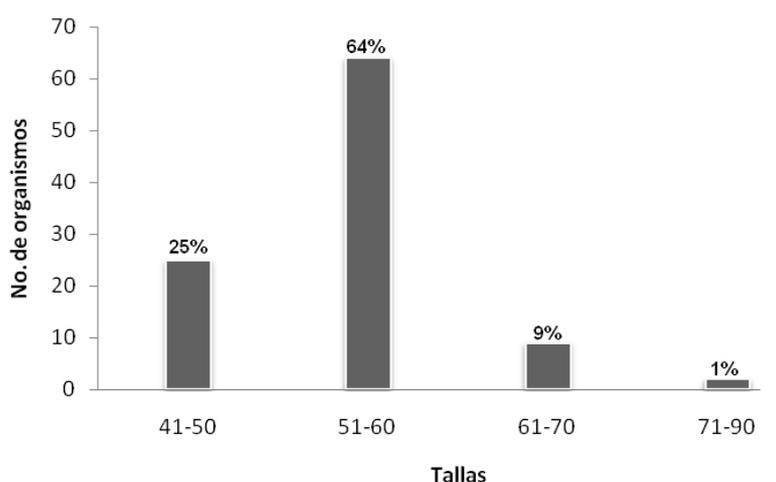


Fig. 4. Tallas de camarón obtenidas en la cosecha del presente estudio (los intervalos en el eje de las X representan el número de camarones por libra).

Al final del proyecto, en la cosecha del camarón se obtuvieron 4 tallas, cada talla representa el número de camarones sin cabeza que forman una libra siendo estas de 41-50, 51-60, 61-70, y 71-90. En la Figura 4 se muestra el porcentaje de las tallas obtenidas, donde se puede observar como el mayor porcentaje está en la talla 51-60 con un 64% mientras que la talla 71-90 fue la que obtuvo solo un 1%.

En la Tabla 5, se comparan diferentes cultivos de camarón *L. vannamei* y *L. monodon* en agua de baja salinidad (1-10 ‰) y de agua dulce (<1‰). En cultivos a baja salinidad se tiene un mayor crecimiento del camarón de 1 a 1.8 g/semana alcanzando tallas hasta de 26 g, con densidades de 13 hasta a 100 PL/m², obteniéndose cosechas de 2,979 hasta 13,400 kg/ha y con buenas supervivencias (de 61.5 a 100%). En los cultivos con agua dulce se observa que los organismos

tienen un crecimiento de 0.33 a 0.73 g/semana obteniendo una talla hasta de 14.1 g, por lo cual se observa que con respecto a los de agua de baja salinidad, tuvieron un menor desarrollo. En este estudio se observó un crecimiento del organismo de 0.73 g/semana, alcanzando el organismo una talla comercial de 14.1 g y se obtuvo una buena cosecha, pero a diferencia de investigaciones previas (Van Wyk *et al.*, 2000; Araneda *et al.*, 2008) la supervivencia fue baja. El FCA se muestra siempre más alto en cultivos de baja salinidad, por lo tanto ocupan más alimento para producir un kg de camarón mientras que en los cultivos de agua dulce es por debajo de 2. Algunas investigaciones registran cultivos con salinidades de 0.23 a 11‰ en los cuales se informan rendimientos de 0.45 - 4.39 kg/m², con una supervivencia del 65-100% y un factor de conversión alimenticia (FCA) de 0.7 a 2.3 (Valenzuela *et al.*, 2002).

En la Tabla 6 se muestran los datos de producción y el rendimiento de empleo de agua (m³ de agua/kg de camarón) en diferentes sistemas de cultivos en dos especies de camarón a diferentes densidades y salinidades; como se puede observar, en este experimento que se realizó con cero recambio y en agua dulce, el rendimiento fue comparable o mejor que otros sistemas de cultivo intensivos y al analizar el rendimiento del cultivo acoplado camarón-tomate se tiene un mejor rendimiento. En los cultivos de camarón el volumen del agua utilizado varía de acuerdo al sistema de cultivo, como también varían las tasas de recambio y el tiempo que tarda la engorda del camarón, de cualquier modo, considerando la tasa de recambio cero y la duración que tuvo nuestro ciclo, se puede concluir que si bien no fue notablemente mucho mejor el consumo o rendimiento de agua, esto se puede juzgar como aceptable en el contexto de estudios previos.

6.1.1. Resultados de los iones mayoritarios presentes en camarón, lodos y zeolita

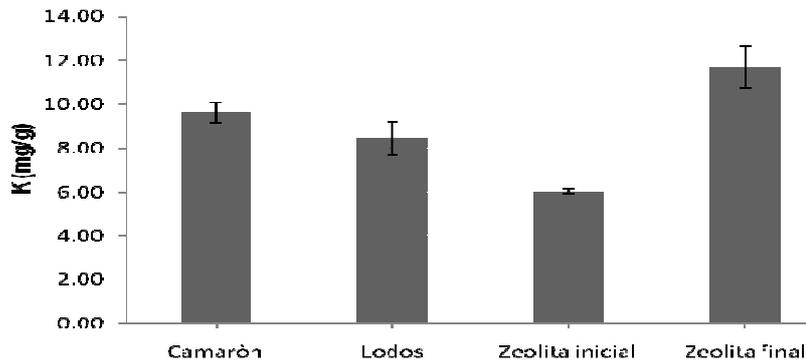


Fig. 5. Concentraciones de K encontradas en camarón, lodos, zeolita inicial y zeolita final del cultivo.

La figura anterior muestra las concentraciones de potasio encontradas en camarón, lodos, zeolita inicial y final del cultivo donde se observa que las concentraciones mas altas están en la zeolita final con 11.7 mg/g y las menores son de la zeolita inicial con 6.00 mg/g lo que representa que durante el cultivo hubo una captura de potasio. La concentración de potasio en el camarón entero fue de 9.6 mg/g, mientras que en los lodos fue menor con 8.42 mg/g.

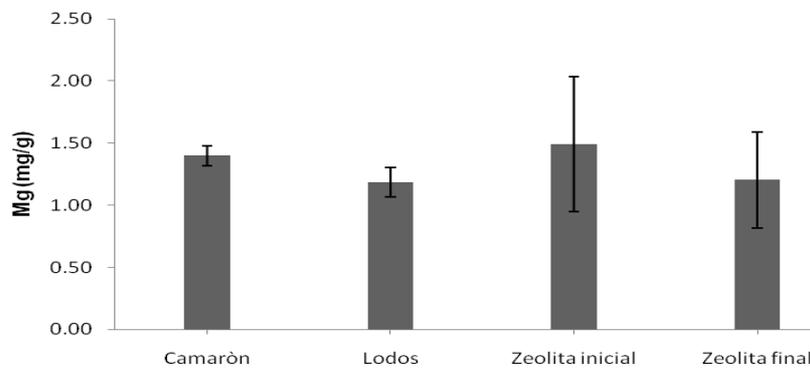


Fig. 6. Concentraciones de Mg encontradas en camarón, lodos, zeolita inicial y zeolita final del cultivo.

La figura 6 muestra las concentraciones de Mg encontradas en camarón, lodos, zeolita inicial y final del cultivo, donde se observan las mayores concentraciones de

Mg en el camarón (1.40 mg/g) y la zeolita inicial (1.49 mg/g), mientras que la menor concentración se muestra en los lodos (1.19 mg/g) y la zeolita final (1.20 mg/g).

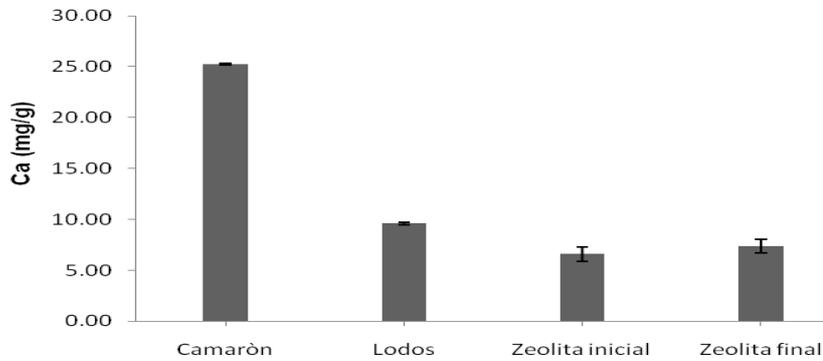


Fig. 7. Concentraciones de Ca encontradas en camarón, lodos, zeolita inicial y zeolita al final del cultivo.

La figura anterior muestra las concentraciones de Ca encontradas en camarón, lodos, zeolita inicial así como final del cultivo. Donde claramente la mayor concentración de calcio se observa en el camarón con 25.2 mg/g y la menor se registro en la zeolita inicial con 6.6 mg/g.

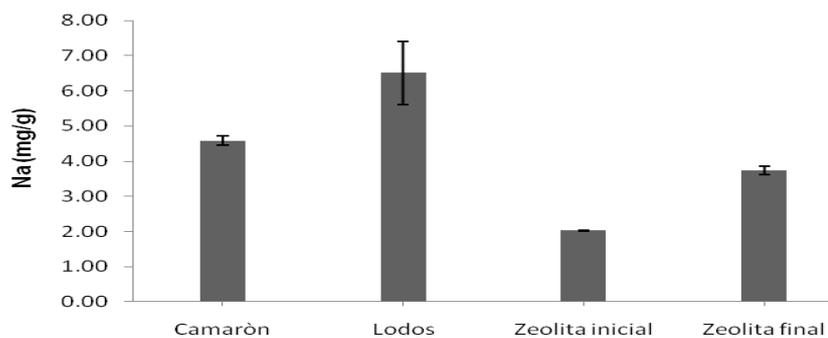


Fig. 8. Concentraciones de Na encontradas en camarón, lodos, zeolita inicial y zeolita al final del cultivo.

La figura 8 presenta las concentraciones de Na en camarón, lodos, zeolita inicial y zeolita final del cultivo, donde se observa claramente que la mayor concentración se dio en los lodos con 6.5 mg/g, el camarón con 4.6 mg/g y la menor concentración de sodio se obtuvo en la zeolita inicial (2.0 mg/g).

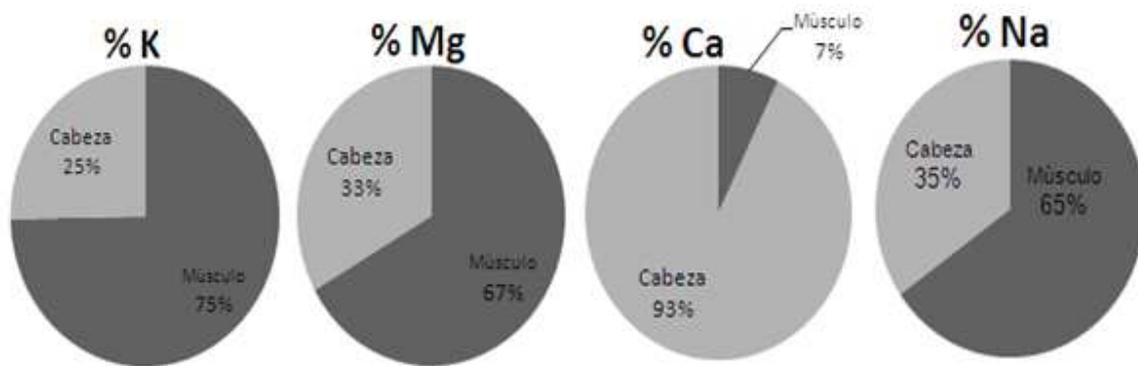


Fig. 9. Distribución de los iones mayoritarios en porcentaje en cabeza y músculo de camarón.

En la figura 9 se muestra la distribución o carga de los iones mayoritarios analizados en los principales tejidos del camarón: El mayor porcentaje de potasio, magnesio y sodio se presentó en el músculo con un 75, 67 y 65%, respectivamente. El calcio a diferencia de los anteriores iones mayoritarios, se acumuló predominantemente en la cabeza con un 93%.

El Ca es esencial para la estructura de los tejidos duros, coagulación de la sangre, la contracción muscular, transmisión nerviosa, osmorregulación, y como un cofactor para distintas funciones enzimáticas (Lall, 1989; Lovell, 1989) y la mayoría de las especies acuáticas pueden absorber el calcio, directamente en las condiciones que rodean para satisfacer sus requerimientos (Deshimaru y Yone, 1978; Lall, 1989; Coote *et al.*, 1996; Davis y Gatlin, 1996).

6.2. Parámetros físico-químicos

El propósito principal del manejo de la calidad del agua de cualquier sistema de cultivo es regular y mantener las condiciones óptimas para el crecimiento de los

Tabla 5. Datos de los factores de producción en cultivos de baja salinidad y cultivos en agua dulce de camarón (*L. vannamei* y *L. monodon*) en densidades semi-intensivas, intensivas e hiper-intensivas.

Especies	Salinidad (%)	Postlarva edad	Densidad (PL/m ²)	Cosecha (kg/ha)	Supervivencia (%)	FCA	Duración (días)	Talla (g)	Crecimiento (g/semana)	Referencia
Cultivos a baja salinidad (1.75 - 2.94‰)										
<i>L. monodon</i>	2.94	PL ₁₅	42.4	4222	38	2.66	104	26.5	1.80	Collins <i>et al.</i> (2005)
<i>L. monodon</i>	2.94	PL ₁₅	22.8	2970	63	1.89	97.5	20.4	1.40	Collins <i>et al.</i> (2005)
<i>L. vannamei</i>	2.2	PL ₈	346	10300	86.1	2.11	107	14.7	1.03	Samocha <i>et al.</i> (2004)
<i>L. vannamei</i>	2.2	PL ₈	91	11100	66.9	2.75	100	18.5	1.36	Samocha <i>et al.</i> (2004)
										Sowers y Tomasso (2006)
<i>L. vannamei</i>	2	-	100	13400	69	2.30	53	9.9	1.26	
<i>L. vannamei</i>	2	PL ₁₁₋₁₃	27.5	5159	98.8	-	77	19.0	1.67	Samocha <i>et al.</i> (1998)
<i>L. vannamei</i>	1.75	PL ₁₂	13	1300	61.5	-	77	15.6	1.41	Meraz <i>et al.</i> (2008)
Cultivos con agua dulce (<1‰)										
<i>L. vannamei</i>	0.64 *	PL ₈	90	7798	76.1	-	203	11.4	0.38	Araneda <i>et al.</i> (2008)
<i>L. vannamei</i>	0.64 *	PL ₈	130	9136	68.9	-	203	10.2	0.34	Araneda <i>et al.</i> (2008)
<i>L. vannamei</i>	0.64 *	PL ₈	180	11743	65.9	-	203	9.9	0.33	Araneda <i>et al.</i> (2008)
<i>L. vannamei</i>	0.5	PL ₁₂	100	-	77	1.59	180	14.1	0.55	Van Wyk <i>et al.</i> (2000).
<i>L. vannamei</i>	0.86	PL ₁₅	50	3932	56.3	1.61	120	13.9	0.73	Este estudio

* Valor calculado a partir de la ecuación dada por Boyd (2002).

Tabla 6. Datos de producción y consumo de agua en diferentes tipos de cultivo de camarón de diferentes especies, empleando diferentes salinidades y tasas de recambio.

Especie	Densidad (PL/m ²)	Salinidad (‰)	Recambio (%)	Producción (ton/ha)	Duración (días)	Consumo (m ³ de agua/kg de camarón)	Referencia
<i>L. vannamei</i>	14	37.5	4	1.8	130	16.6	Páez-Osuna <i>et al.</i> (1997)
<i>L. vannamei</i>	20	37.6	12.5	2.0	2.1	104.6	Miranda <i>et al.</i> (2007)
<i>L. vannamei</i>	15	36	15	3.1	203	66.8	Casillas-Hernández <i>et al.</i> (2006)
<i>L. vannamei</i>	20	42.5	12.7	2	190	113	Miranda-Baeza <i>et al.</i> (2007)
<i>L. vannamei</i>	13	1.8	0	1.3	77	15.3	Meraz-Bautista (2008)
<i>L. setiferus</i>	40	22.9	25	5.7	140	640	Hopkins <i>et al.</i> (1993)
<i>L. setiferus</i>	40	21.8	2.5	6.4	140	9.0	Hopkins <i>et al.</i> (1993)
<i>L. setiferus</i>	20	18.3	0	3.2	140	6.0	Hopkins <i>et al.</i> (1993)
<i>L. vannamei</i>	50	0.86	0.9	3.9	120	4.7	Este trabajo
						2.1	Este trabajo incluyendo producción de camarón y tomate

organismos. La calidad del agua es un factor determinante en la supervivencia y crecimiento de los camarones de cultivo (Chien, 1992; Páez-Osuna y Ruíz Fernández, 2001); todas las actividades de los organismos (e.g. alimentación, respiración, reproducción, crecimiento, estado inmune) están influenciadas por las condiciones físico-químicas del estanque (Páez-Osuna y Ruíz Fernández, 2001).

Antes de llenar los tanques se caracterizó el agua de pozo con la que fueron llenados los 3 tanques para conocer su composición y cuyos resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Caracterización del agua de pozo.

Parámetro	Agua de pozo	Método empleado
Conductividad eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	1074	NMX-AA-093-SCFI-2000
Salinidad (‰)	0.5	-----
pH	7.9	NMX-AA-008-SCFI-2000
Calcio (mg/L) Ca	72.6	3500-Ca D
Magnesio (mg/L) Mg	5.7	3500-Mg E
Sodio (mg/L) Na	174.8	3500-Na D, APHA 1989
Potasio (mg/L) K	7.8	3500-D-K, APHA 1989
Cloruros (mg/L) Cl	49.6	NMX-AA-073-SCFI-2001
Dureza Total (mg/L) CaCO_3	205.2	NMX-AA-072-SCFI-2001
Alcalinidad total (mg/L) CaCO_3	75	NMX-AA-074-1981

Las siglas se refieren a las claves de los métodos citadas en la Norma Mexicana.

Los datos obtenidos durante el ciclo de cultivo (19 semanas) de los parámetros físico-químicos se observan a continuación:

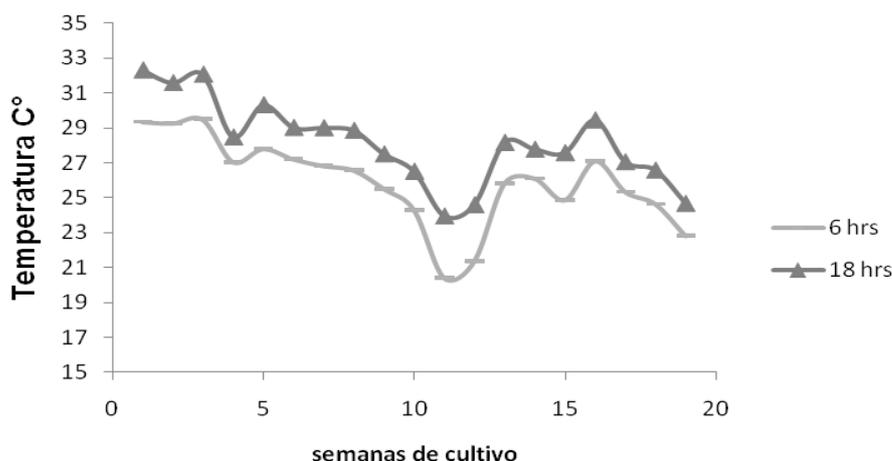


Figura 10. Variación de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) durante el cultivo.

La Fig. 10 muestra las temperaturas que se presentaron a lo largo del cultivo las cuales se mantuvieron entre 20.4 y 32.3°C, a las 6 y 18 horas durante las 19 semanas de cultivo, a las 6 horas la mayor temperatura se observó en la semana 3 con 29.5°C mientras que en la semana 11 se encontró la menor, siendo de 20.4°C; a las 18 horas la mayor temperatura se presentó en la semana 1 con 32.3°C, la menor al igual que a las 6 horas se presentó en la semana 11 (24°C).

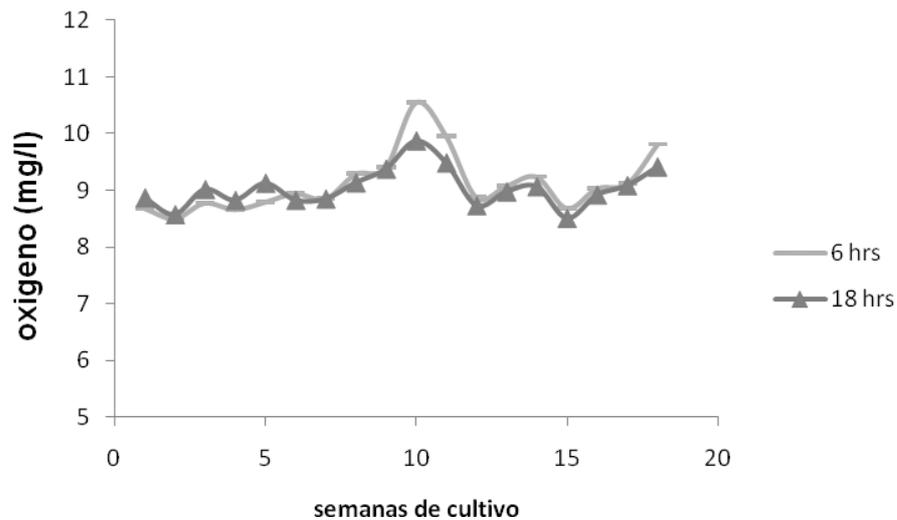


Figura 11. Variación del oxígeno disuelto (mg/L) durante el cultivo.

En la Figura 11 se observa el comportamiento del oxígeno disuelto registrado en las 19 semanas de cultivo, estando dentro en un intervalo de 8.1 a 10.6 mg/L, el compartamiento del oxígeno fue muy parecido en los dos horarios, la menor cantidad de oxígeno disuelto se presentó en la primer semana de muestreo siendo en la mañana de 8.1 mg/L y en la tarde de 8.3 mg/L, mientras que en la semana 11 se mostró la mayor concentración de oxígeno disuelto por la mañana con 10.6 mg/L mientras que en la tarde la concentración fue de 9.9 mg/L.

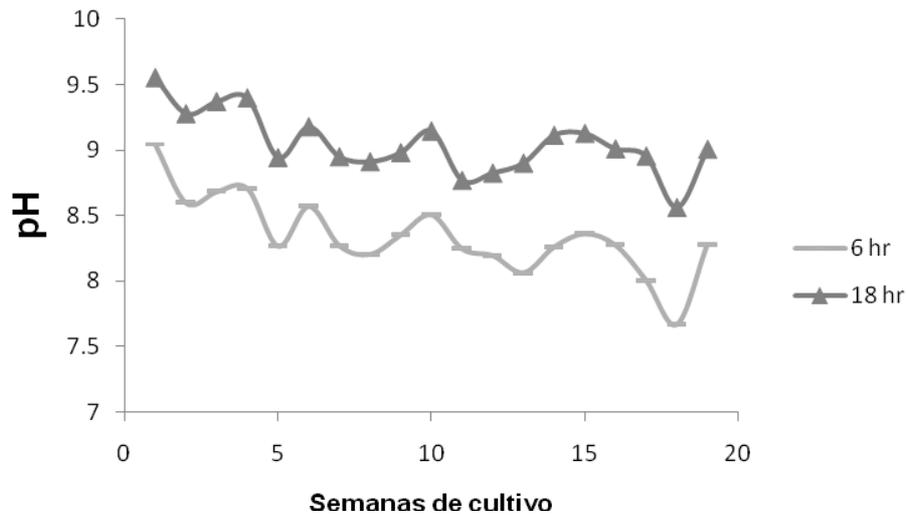


Figura 12. Variación del pH durante el cultivo.

La figura 12 ilustra los valores de pH registrados durante el cultivo, donde se aprecia que los niveles de pH estuvieron entre 7.7 y 9.6 en los dos horarios. A las 6 horas el pH se mantuvo entre 7.7 y 9.1, el menor valor se presentó en la semana 18 y el mayor pH en la primer semana. Los niveles de pH en general siempre fueron menores a las 6 hr en comparación a las 18 hr y ello es debido a que durante el día predomina la tasa de fotosíntesis sobre la tasa de respiración y por ende bajan los niveles de ácido carbonico., por el contrario en la noche solamente se presenta la respiración por tanto hay un acumulación de CO₂ el cual al formar el ácido carbónico provoca una disminución del pH. A las 18 horas los valores de pH se mantuvieron entre 8.6 y 9.6, presentandose el menor valor en la semana 18 y los mayores valores al igual que a las 6 horas se presentaron en la primer semana. En la figura 12 se observa también que hay una tendencia del pH a disminuir a lo largo del cultivo la cual se debe a que conforme transcurren las semanas se va acumulando en las aguas mas materia organica y los productos de oxidación de la misma finalmente forman ácido carbonico el cual se traduce en una reducción del pH.

Los valores normales de pH en aguas estuarinas y marinas oscilan entre los 7 y 9. Existen pocos datos sobre el efecto del pH en los camarones, pero Boyd, (1989) menciona que al igual que los peces cuando el pH es de 4, se produce la llamada muerte ácida, en condiciones con pH de 4-6 hay un crecimiento lento; si se mantiene un pH de 6-9 se alcanza el crecimiento óptimo; mientras que cuando el pH es de 9-11 hay crecimiento lento y finalmente, cuando el pH es de 11, se alcanza el punto de la muerte alcalina (Páez Osuna y Ruíz Fernández, 2001). Van Wyk *et al.*, (1999) proponen un rango aceptable de 7.0 -9.0, y un rango óptimo de 7.4 -7.8.

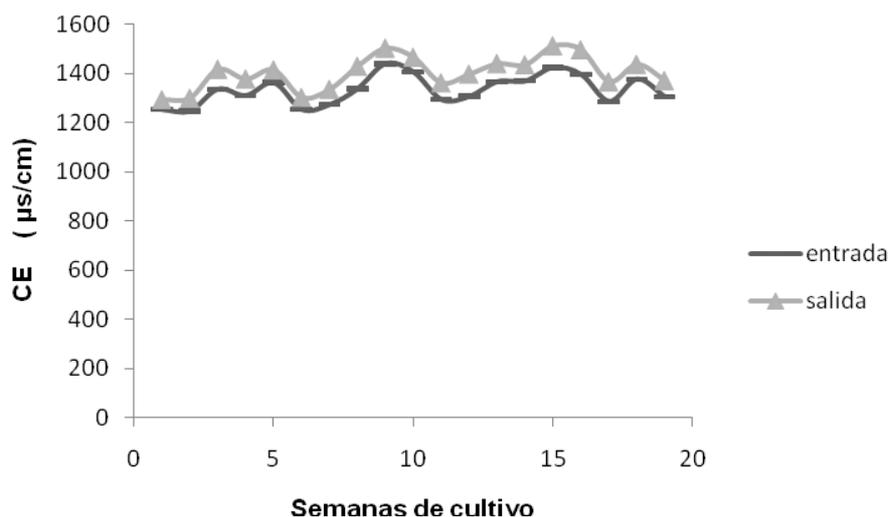


Figura 13. Variación de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) durante el cultivo.

La Figura 13 presenta los datos de conductividad eléctrica que se registró a lo largo del ciclo de cultivo entre 1248 y 1505 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a las 6 horas se observó un mínimo de 1248 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la semana 2 y un máximo de 1440 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la semana 9. A las 18 horas se dió un mínimo de conductividad eléctrica en la semana 1 de 1295 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en la semana 9 se mostró el máximo con 1505 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La conductividad eléctrica se presentó siempre más baja en la mañana mientras que

en la tarde los valores fueron mayores, lo cual esta relacionado claramente con las diferencias de temperatura entre tales mediciones.

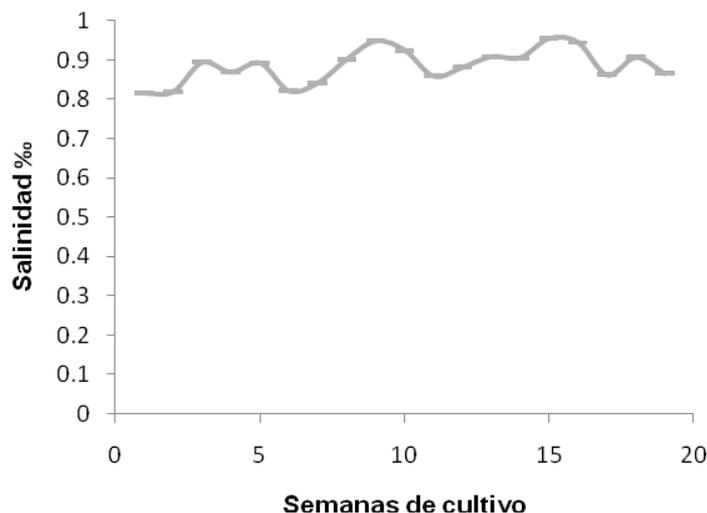


Figura 14. Variación de la salinidad (‰) durante el cultivo.

Los registros generados por el parametro salinidad permanecieron entre 0.80 a 0.97 ‰ durante el cultivo. Por medio de la conductividad electrica se calculó la salinidad, Boyd (2002), menciona que una salinidad por debajo de 1.0 ‰ (1000 mg/L) se considera como agua dulce para propositos de acuicultura. Una salinidad de 1.0 ‰ usualmente corresponde a una conductividad eléctrica alrededor de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1500 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$).

La salinidad se mantuvo siempre $<1 \text{ ‰}$ y $\geq 0.8 \text{ ‰}$ lo cual podría deberse a que el agua de pozo con el que se reponia el nivel de los tanques tenian una mínima salinidad, y a la recirculación del agua. Los factores como la temperatura y la salinidad están relacionados muy estrechamente con la época del año y la localización geográfica del sistema de cultivo, i.e. en verano, las temperaturas del agua, la evaporación y la salinidad se incrementan, mientras que el contenido de nutrientes, de pigmentos fotosintéticos y de sólidos sedimentables sufren variaciones que están reguladas principalmente por el manejo del sistema de

cultivo (Páez-Osuna y Ruíz Fernández, 2001). Los resultados de salinidad estuvieron dentro de los intervalos propuestos por Van Wyk *et al.*, (1999); y el agua puede ser catalogada como agua dulce que sufre variaciones que están reguladas principalmente por el manejo del sistema de cultivo. La salinidad se mantuvo por debajo de 1‰ lo que permite que los tomates puedan crecer adecuadamente.

6.3. Resultados de los iones mayoritarios presentes en el agua

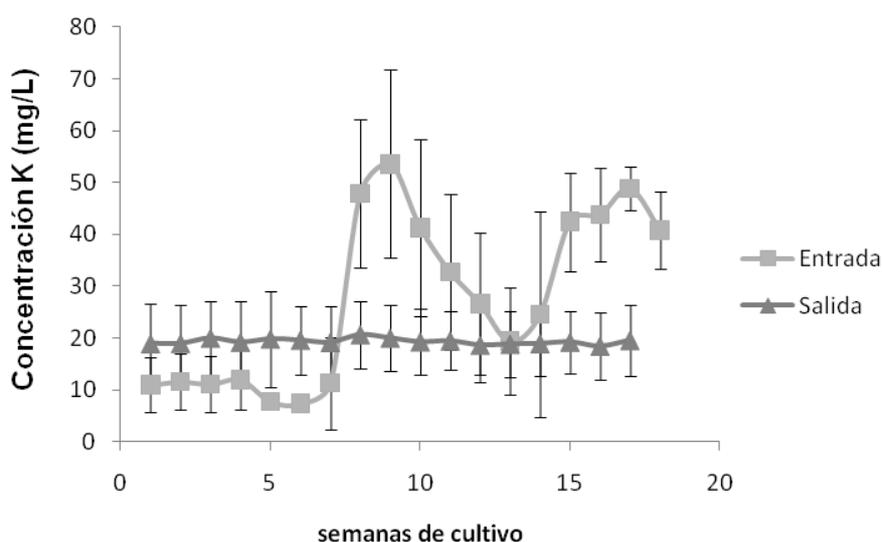


Figura 15. Variación de la concentración promedio de K en los 3 tanques durante el cultivo y en el agua de retorno del módulo de plantas de tomate.

La Figura 15 muestra las concentraciones registradas de K en el transcurso del cultivo. Donde en las entradas o agua de cultivo de camarón se observó la mayor concentración en la semana 9 con 53.6 mg/L y la menor registró en la semana 6 con 7.4 mg/L de K. En cambio las salidas del módulo de plantas se comportaron más estables con un valor máximo de 20.6 mg/L K en la semana 6 y un mínimo de 18.4 mg/L en la semana 16.

Liu (2001), Allan y Fielder, (2002), y Li *et al.* (2002), encontraron que la deficiencia de potasio es un fenómeno común en el desarrollo de camarón en

aguas continentales salinas, las sales de potasio son a menudo añadidas para fortalecer la concentración de potasio, sin embargo, el costo de la fortificación de la sal iónica, además de ser relativamente alta, puede ser enorme cuando el área de cultivo es grande.

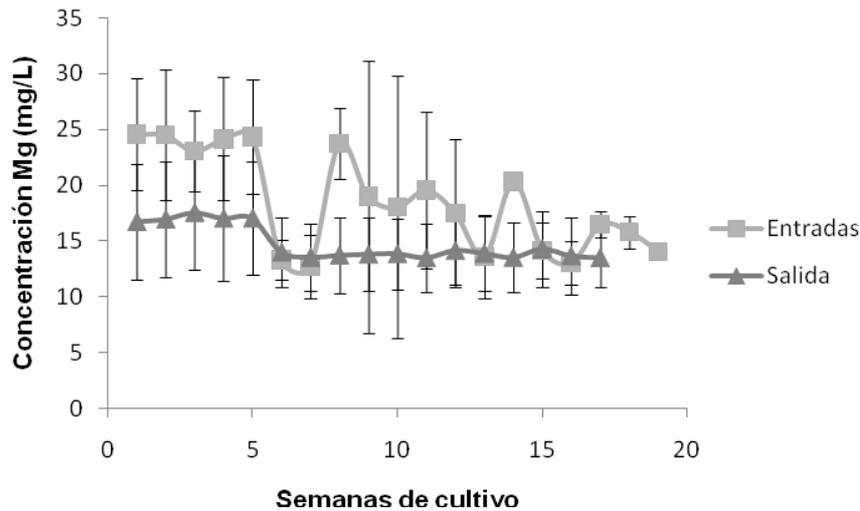


Figura 16. Variación de la concentración promedio de Mg en los 3 tanques durante el cultivo y en el agua de retorno del módulo de plantas de tomate.

En la figura 16 se muestran las concentraciones de Mg registradas a lo largo del cultivo en el agua del tanque (entradas) y el agua de retorno al tanque (salidas) después de salir de las macetas. Donde se observan valores altos en las primeras semanas en el agua de salida, obteniendo la mayor concentración en la semana 1 con 24.6 mg/L y la menor en la semana 7 con 12.7 mg/L. respecto al agua de salida se observa la mayor concentración en la semana 3 con 17.7 mg/L y la menor en la semana 13 con 13.5 mg/L, obviamente las primeras y más altas concentraciones tienen que ver con la adición del nitrato de magnesio.

Se ha demostrado que La falta de una combinación óptima de iones esenciales, tales como K y Mg limita el crecimiento y la supervivencia de postlarvas de camarón (PL) en la aclimatación (Saoud *et al.*, 2003), así como durante la engorda de los camarones (Davis *et al.*, 2005).

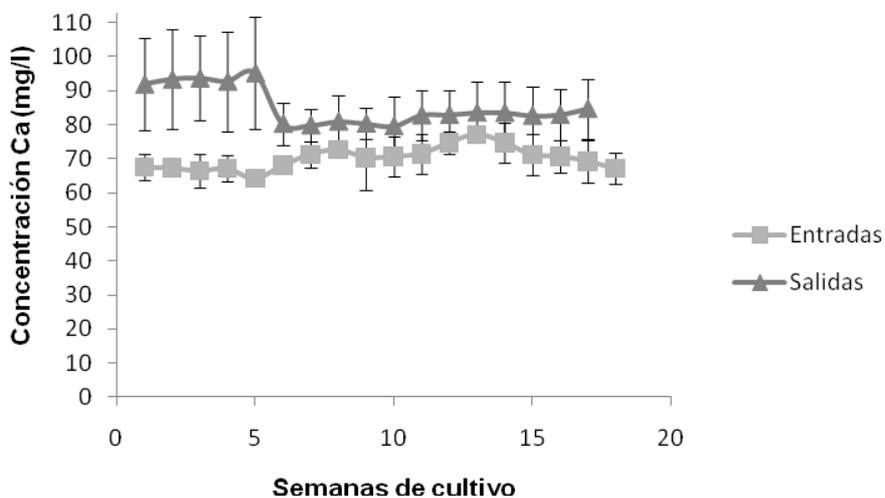


Figura 17. Variación de la concentración promedio de Ca en los 3 tanques durante el cultivo y en el agua de retorno del módulo de plantas de tomate.

La Figura 17 se muestra la variación del comportamiento del Ca durante el cultivo, donde se observan las concentraciones mayores en las aguas de entrada en la semana 13 con 77.1 mg/L y la menor en la semana 19 con 62.5 mg/L, en las salidas se observan valores como 95.2 mg/L que fue la mayor y 79.6 mg/L fue la menor obtenida.

A diferencia del K y Mg, el Ca en el agua de cultivo de camarón se mantuvo siempre por debajo del nivel de las concentraciones de las aguas de retorno del módulo de tomate, lo que se debe seguramente a que la zeolita intercambia el Ca por el K y Mg.

La Figura 18 muestra las concentraciones de Na que se registraron durante el cultivo llevado a cabo en las 19 semanas, así mismo se muestran los niveles de concentración obtenidos del agua de entrada y la de salida.

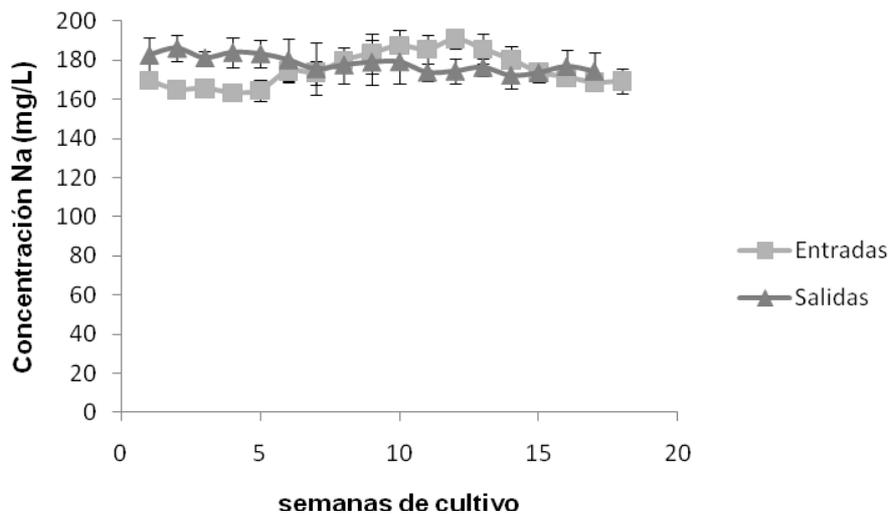


Figura 18. Variación de la concentración de Na durante el cultivo y en el agua de retorno del módulo de plantas de tomate.

En el cultivo de tomate se obtuvo una mayor concentración en la semana 12 con 190.9 mg/L y la menor fue en la semana 4 con 163.6 mg/L, mientras que en la salida se registró la mayor concentración en la semana 2 con 186.2 mg/L y la menor con 172.1 mg/L en la semana 14. En este caso los niveles de concentración se cruzan, o sea mientras que al inicio se comienza en los tanques con bajos niveles, las aguas de retorno inician con altos niveles y luego conforme transcurren las semanas de cultivo ocurre lo contrario.

6.4. Cultivo de tomate

El cultivo de tomate tuvo una producción de 29.6 ton/ha, con un peso individual de 110.6 g. Debido a los pesos individuales y la calidad del fruto obtenidos se tiene la capacidad de ser exportados. Al compararse el cultivo de tomate con los irrigados con el efluente del camarón, con solución nutritiva y con agua de pozo, se pudo observar que los tomates con solución nutritiva y con los del agua del tanque de camarón fueron los que tuvieron una mayor producción por ton/ha (Tabla 8).

Tabla 8. Datos de producción para tomate (*Lycopersicum esculentum*) obtenidos durante el cultivo acoplado de camarón -tomate, utilizando agua dulce de pozo.

Datos de producción	Tomates irrigados con efluentes de camarón	Tomates irrigados con solución nutritiva	Tomates irrigados con agua de pozo
Número de tomates por planta	7.0 ± 1.0	7.5 ± 0.9	6.0 ± 1.5
Producción por planta (kg/planta)	0.7 ± 0.2	0.8 ± 0.1	0.6 ± 0.2
Peso promedio individual del tomate (g)	110.6 ± 22.5	105.1 ± 27.7	94.8 ± 25.8
Producción de tomate (ton/ha)	36.1 ± 2.3 ^a	38.7 ± 1.9 ^a	27.6 ± 2.6 ^b

Letras diferentes entre las medias, se refiere a que son significativamente ($P < 0.05$) diferentes entre sí.

En general para la mayoría de los valores no existen diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los promedios de los tratamientos, solamente hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) en la producción de tomate, donde se tiene que tanto las líneas de producción irrigadas con el efluente del cultivo de camarón como con la solución nutritiva, tuvieron una producción mayor que la obtenida con el agua de pozo.

6.4.1. Resultados de los niveles de iones mayoritarios en tejidos de la planta de tomate y zeolita

En las gráficas siguientes (Figs. 19-22), se muestran las concentraciones encontradas de K, Mg, Ca y Na, en diferentes muestras (tejidos de la planta de tomate, camarón, lodo orgánico y zeolita) donde A.T, A.N, A.P se refieren a los diferentes tratamientos de riego que se utilizaron: A.T = agua del tanque de camarón, A.N = agua con solución nutritiva, A.P = agua de pozo.

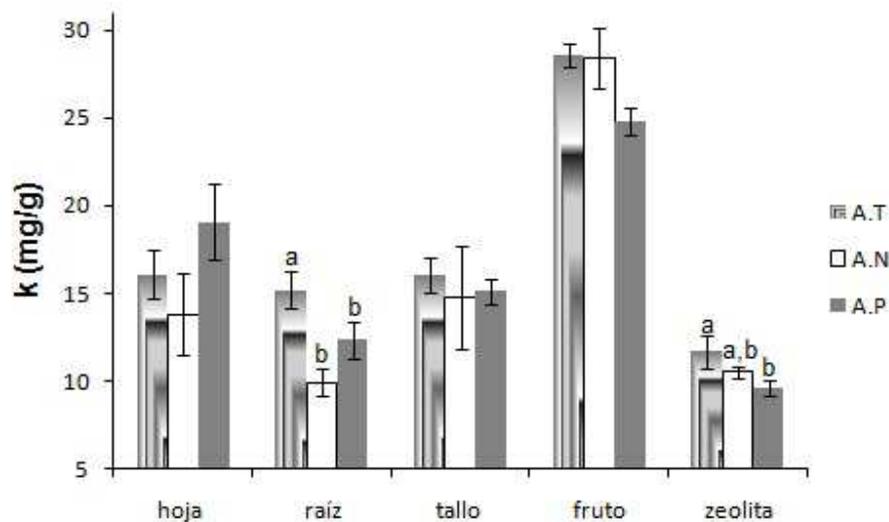


Fig. 19. Concentraciones de K en hoja, raíz, tallo, fruto (tomate) y zeolita (letras diferentes indica que hay diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las medias de los tratamientos).

La Fig.19 ilustra las concentraciones de K encontradas en diferentes muestras con los diferentes tratamientos anteriormente descritos. En esta se nota que la mayor concentración de K en hojas se encontró en el tratamiento de riego con agua de pozo y la menor con el riego con la solución nutritiva, sin embargo cuando se hace una comparación de las medias ninguna de ellas presentó una diferencia significativa ($P > 0.05$). En la raíz el comportamiento del K fue distinto, ya que la mayor concentración se observó en el tratamiento con el agua del tanque y la menor con la solución nutritiva. En las muestras de tallo se obtuvo una concentración muy semejante entre los tres tratamientos, siendo ligeramente mayor la del tratamiento con el agua del tanque. En el fruto (tomate) se observa una misma concentración entre aquellos regados con agua del tanque y la solución nutritiva, mientras que el tratamiento de riego con agua de pozo tuvo una concentración ligeramente menor, no obstante la prueba estadística mostró que tales medias no son significativamente diferentes entre sí. En el caso de la zeolita

se observa como la mayor concentración se presentó en el riego con agua del tanque y la menor se registró en el riego con el agua de pozo.

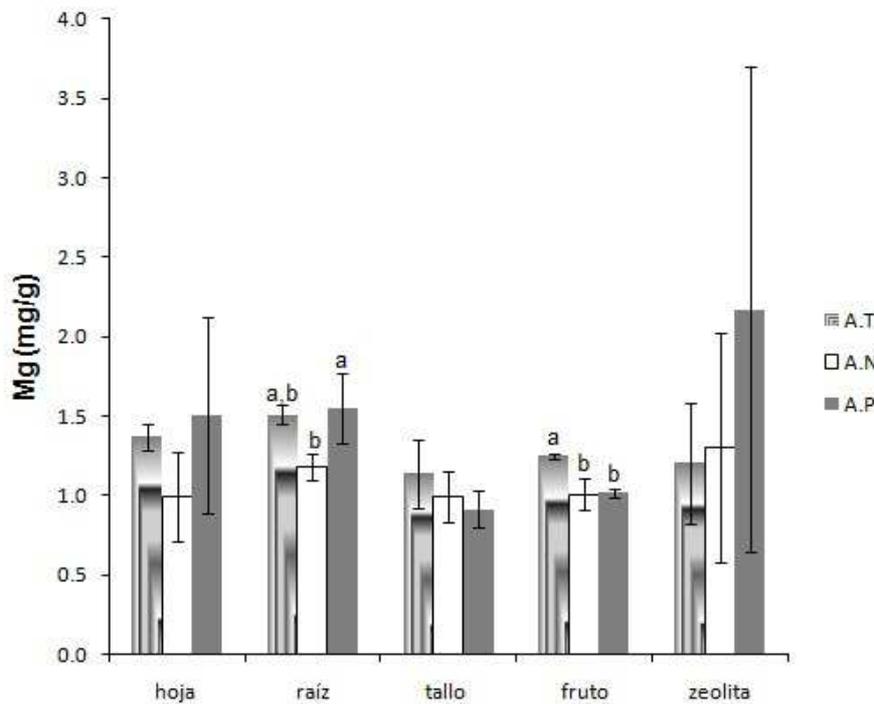


Fig. 20. Concentraciones de Mg en hoja, raíz, tallo, fruto (tomate) y zeolita (letras diferentes indica que hay diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las medias de los tratamientos).

La Fig. 20 ilustra las concentraciones de Mg encontradas en diferentes muestras con los diferentes tratamientos anteriormente descritos. Aquí se observa que las concentraciones encontradas en hoja y raíz fueron mayores en el tratamiento de riego con el agua del tanque de camarón y la menor concentración se dio con el tratamiento del agua con solución nutritiva, en el caso del tallo se registró la mayor concentración de Mg en las plantas regadas con el agua del tanque y la menor en el tratamiento de riego con el agua de pozo, sin embargo cuando se hizo la comparación de las medias de cada tratamiento no se encontraron diferencias significativas entre ellas. En la zeolita se observa un aumento en el riego con agua de pozo y la menor concentración de Mg se observó

en el tratamiento con el agua del tanque, como quiera que sea, por ser tan elevadas las desviaciones estándar las medias no fueron significativamente ($P>0.05$) diferentes.

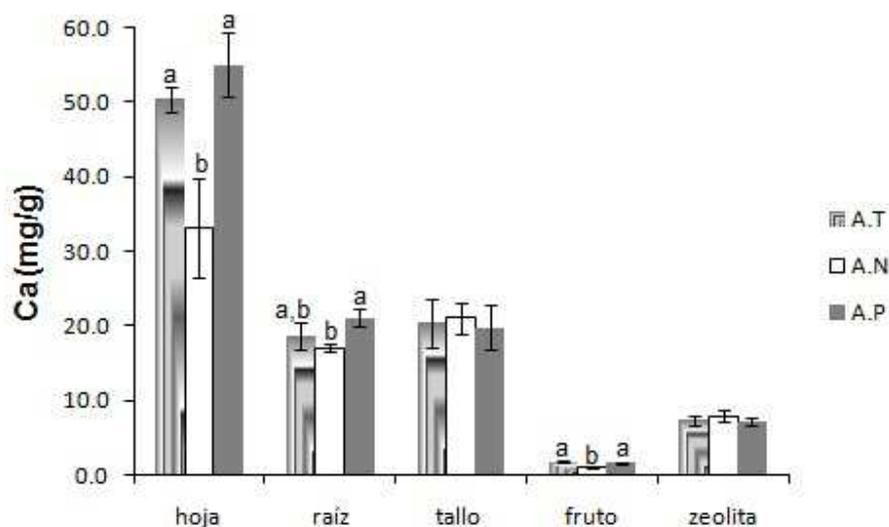


Fig. 21. Concentraciones de Ca en hoja, raíz, tallo, fruto (tomate) y zeolita (letras diferentes indica que hay diferencias significativas ($P<0.05$) entre las medias de los tratamientos).

La Fig. 21 muestra las concentraciones de Ca encontradas en diferentes materiales con los diferentes tratamientos anteriormente descritos, donde se nota como en el caso de la hoja y raíz se tuvieron las mayores concentraciones en el tratamiento con el agua de pozo, mientras que la menor se presentó con el riego de la solución nutritiva. En el caso del tallo y la zeolita, el Ca se encontró mayormente concentrado con el tratamiento de riego de solución nutritiva y la menor se registró con el agua de pozo, sin embargo la comparación múltiple de medias no evidenció diferencias significativas ($P>0.05$) entre ellas. En el caso del fruto, la mayor concentración se observa con el tratamiento de riego con el agua del tanque y la menor con el agua de solución nutritiva. La diferencia en la acumulación relativa de calcio en las diferentes partes de la planta debe a que

este elemento tiene funciones específicas por las cuales la planta lo acumula más en las hojas que en el fruto. El calcio es un constituyente de la lámina media de la pared celular y es cofactor de algunas enzimas involucradas en hidrólisis de ATP y de los fosfolípidos (Velazco-hernandez, *et al.* 2012). Los bajos niveles en el fruto pueden asociarse al hecho de que este elemento no tiene las funciones que se presentan en las demás partes de la planta.

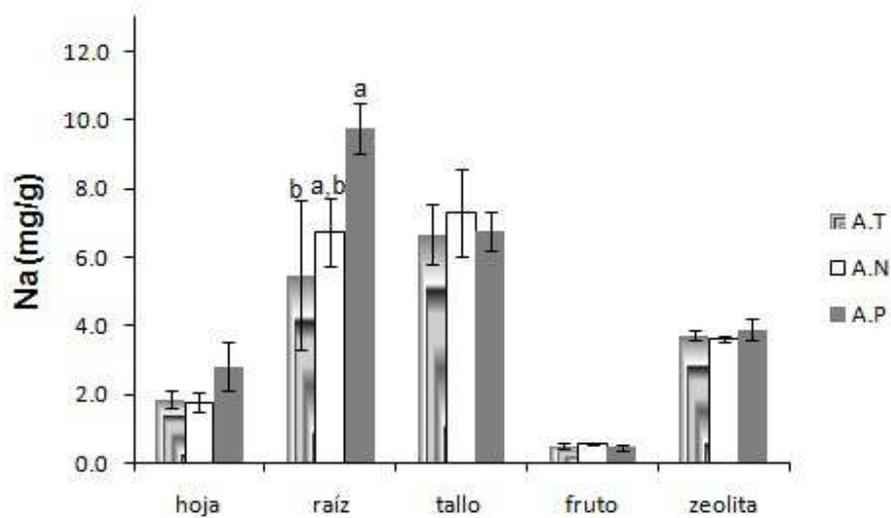


Fig. 22. Concentraciones de Na en hoja, raíz, tallo, fruto (tomate) y zeolita (letras diferentes indica que hay diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las medias de los tratamientos).

La Fig. 22 muestra las concentraciones de Na encontradas en diferentes muestras con los diferentes tratamientos anteriormente descritos, en el caso de las hojas y zeolita tuvieron una mayor concentración las que fueron regadas con el agua de pozo, siendo las de menor concentración las regadas con solución nutritiva, como quiera que sea la comparación múltiple de medias no evidencio diferencias significativas entre las medias involucradas. Para el caso de la raíz las más concentradas por Na fueron las plantas regadas con agua de pozo y las de menor las regadas con agua del tanque. Para los tallos la concentración mayor se encontró en los regados con la solución nutritiva y la menor en el tratamiento con

el agua del tanque y en el caso del fruto (tomate) la concentración de Na fue muy parecida con un ligero incremento en el tratamiento de riego con el agua de solución nutritiva, sin embargo en estos últimos dos casos, las medias no presentaron diferencias significativas ($P>0.05$) entre sí.

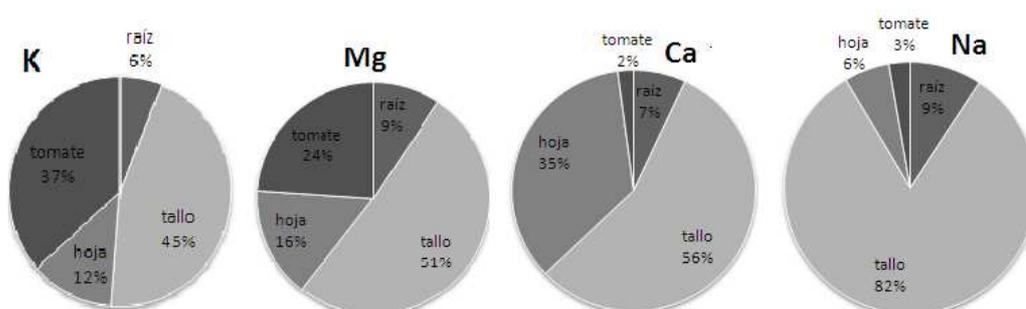


Fig. 23. Distribución de K, Mg, Ca y Na en raíz, tallo, hoja y fruto de la planta de tomate.

Al observar la figura 23 se muestra como el comportamiento del potasio se dio en mayor proporción en el tallo con un 45%, seguido del fruto (tomate) con un 37%, la hoja con 12%, y la raíz con solo 6%. En el caso del magnesio el mayor porcentaje se presentó en el tallo con 51%, y donde el tomate ocupó el segundo lugar con un 24%, mientras que la hoja se quedó con un 16% y la raíz con un 9% del total del magnesio capturado por la planta. La distribución del sodio dentro de los tejidos de la planta se registró con un 82% en el tallo, la raíz con un 9%, la hoja con un 6% y el tomate con un 3%. Los niveles relativamente bajos del sodio en el fruto se pueden deber a que este elemento no cumple con numerosas funciones como pudieran ser las demás partes de la planta. En la figura que representa el comportamiento del calcio se observa como el tallo contiene el 56%, la hoja un 35%, la raíz un 7% y el tomate un 2%.

6.4.1.1. Flujos y balance de masas de K, Mg, Ca y Na

Al hacer los balances de los iones mayoritarios se tomaron en cuenta los ingresos (alimento, fertilizante, agua de llenado, agua de reposición, cosecha,

lodo, plantas de tomate, zeolita) tanto de entrada como de salida. Los tanques tenían un volumen de agua de 31.1 m³ y una superficie de 28.27 m².

Suposiciones y fuentes de error del balance de masas:

- a) No se cuantificaron las tasas de evaporación de cada uno de los iones estudiados a lo largo del experimento.
- b) No se cuantificó el flujo de estos iones que pudo haberse asociado con el material particulado incluido el fitoplancton, cuando se efectuaron los recambios y durante el vaciado.
- c) Se asumió que una cantidad de tales iones se asoció con los lodos generados y otra fracción en aquellas sales que quedaron depositadas en las paredes del tanque. Ciertamente, las primeras sí se cuantificaron y las segundas no.
- d) No se consideró y calculó el flujo de K, Mg, Ca y Na, en las hojas y tallos que se podaron a lo largo del cultivo.

Los resultados del flujo de cada uno de los mayoritarios se calcularon de la manera que se describe a continuación.

6.4.1.2. Cálculos de los flujos y balances de masas de potasio

Alimento. Los flujos de potasio suministrado a través del alimento fueron calculados de la siguiente forma:

Tanque 1. Se agregaron 2.98 kg de alimento balanceado al 40% proteínas y una concentración de 1.06% de K obteniéndose una cantidad de 0.031 kg K (31 g K) del alimento. También se suministraron 14.87 kg de alimento al 35% con un contenido de potasio de 1.03% que equivale a 0.153 kg K (153 g K) sumando las cantidades de K en el alimento, fueron 184 g K/ciclo los suministrados.

Tanque 2. Se utilizaron 3.09 kg de alimento balanceado al 40%, considerando el contenido de potasio del alimento (40% proteínas; K=1.06%) esto corresponde a

0.032 kg K (32 g K) en alimento. Adicionalmente se suministraron 15.17 kg de alimento al 35% con un contenido de K de 1.03% que equivale a 0.156 kg K (156 g N) sumando las cantidades de K en el alimento, fueron entonces 188 g K/ciclo.

Tanque 3. Se utilizaron 3.0 kg de alimento balanceado al 40%, considerando el contenido de potasio del alimento (40% proteínas; K= 1.06%) esto corresponde a 0.031 kg K (31 g K) asociado al alimento. Además se suministraron 15.3 kg de alimento al 35% con un contenido de potasio de 1.03% que equivale a 0.157 kg K (157 g K) teniendo como resultado 188 g K/ciclo a través del alimento.

Fertilizante. Se utilizó nitrato de magnesio ($MgNO_3$) con 0.03% de potasio y se suministró a cada tanque 5, kg por lo tanto en términos de potasio serían 1.5 g K/ciclo. También se agregó cloruro de potasio (KCl) con 45.22 % de potasio y se suministraron a cada tanque 5 kg por lo tanto fueron 2.261 kg K/ciclo, obteniendo como resultado 2.262 kg/ciclo en el fertilizante.

Agua de llenado (AlI). El potasio suministrado a través del agua de pozo se calculó a partir del contenido de potasio del agua y del volumen de llenado, la concentración de potasio en el agua de pozo fue de 7.8 mg k/L multiplicando por el volumen del estanque ($31.1 m^3$) por lo tanto la cantidad de potasio en el estanque, al momento de llenado fue de 242.6 g K/ciclo. La cantidad de K que ingresó a través del agua de llenado fue igual en los 3 tanques.

Reposición de niveles de los tanques (Rn). Se obtuvo multiplicando el valor de evaporación promedio del estado de Sonora (CNA, 2008) por la superficie del estanque y por los días del cultivo. El valor de evaporación que se asumió durante 84 días de cultivo fue de 8 mm, en los últimos 49 días de cultivo la evaporación fue de 2 mm y la superficie del estanque era de $28.3 m^2$. Por lo tanto $8 mm \times 28.3 m^2 \times 84 \text{ días} / 1,000 = 19 m^3$ y $2 mm \times 28.3 m^2 \times 49 \text{ días} / 1,000 = 2.8 m^3$. Los volúmenes de evaporación por reposición de niveles fue de $21.8 m^3$ durante el cultivo y dado que la concentración de potasio en el agua de pozo fue de 7.8 mg K/L, por tanto el flujo de K por reposición de niveles estimado fue de 170.0 g K/ciclo, el resultado se asumió que fue igual para los 3 tanques.

Los flujos de salida del potasio asociados con los diferentes materiales se calcularon como a continuación se describe:

Agua de vaciado (Av). Se calculó con la concentración obtenida en la última semana del experimento y por el volumen del tanque (31.1 m³).

Tanque 1. El tanque tuvo una concentración de potasio de 20.26 mg/L que multiplicado por el volumen generó un flujo de potasio de 630.0 g K/ciclo.

Tanque 2. La última semana del cultivo tuvo una concentración de potasio de 32.5 mg/L x 31,100 L = 1012.1 g K/ciclo.

Tanque 3. Tuvo una concentración de potasio de 42.4 mg/L x 31,100 L = 1318.2 g K/ciclo.

Cosecha de camarón. El cálculo del flujo de potasio asociado a la biomasa cosechada se realizó considerando la producción total, el peso seco de la producción total y la concentración de potasio en el camarón.

Tanque 1. Se tuvo una cosecha de 11,297 g (11.3 kg) de camarón que equivale a 2,955.3 g en peso seco multiplicado por el contenido de potasio del camarón 9.76 mg/g el resultado fue de 28.8 g K/ciclo.

Tanque 2. La producción total fue de 11,144 g (11.14 kg), con un peso seco de 2,616.1 g, multiplicado por el contenido de potasio del camarón 9.75 mg/g en la cosecha, dio un resultado de 25.5 g K/ciclo.

Tanque 3. Se tuvo una producción de 11,176 g (11.17 kg) de camarón que tuvo un peso seco de 2781.5 g que al multiplicar por la concentración del camarón 9.26 mg/g se obtuvieron 25.7 g K/ciclo en la cosecha del camarón.

Lodo (Lo). El flujo de potasio en los materiales depositados durante el ciclo de cultivo se llevó a cabo pesando la cantidad de lodo obtenido al final del

experimento, y tomando en cuenta el equivalente en peso seco y la cantidad de potasio en el lodo.

Tanque 1. Se recolectaron 16.3 kg (16,300 g), con un peso seco de 23.13% y con un contenido de potasio de 8.08 mg/g, por lo tanto $16,300 \text{ g} \times 0.2313 = 3,770.2 \text{ g} \times 8.08 \text{ mg/g} = 30.5 \text{ g K/ciclo}$.

Tanque 2. La cantidad recolectada fue de 15.5 kg (15,500 g) de lodo, con un peso seco de 29.52% y con un contenido de potasio de 7.88 mg/g al efectuar el cálculo se tiene que $15,500 \text{ g} \times 0.2952 = 4,575.6 \text{ g} \times 7.88 \text{ mg/g} = 36.0 \text{ g K/ciclo}$.

Tanque 3. Se obtuvieron 13.7 kg (13,700 g) de lodo depositado durante el ciclo de cultivo, con un peso seco de 23.38% y un contenido de 9.3 mg/g en el lodo, al efectuar el cálculo se tiene que $13,700 \text{ g} \times 0.2338 = 3203.1 \text{ g} \times 9.3 = 29.8 \text{ g K/ciclo}$.

Con lo que respecta a las plantas se realizaron los siguientes cálculos para estimar el flujo de potasio asociado con sus diferentes tejidos:

Raíz, tallo, hoja. Para obtener los gramos de potasio, se tomó en cuenta el peso de la planta, el porcentaje de tejido respecto a la planta, el valor en peso seco y la cantidad de potasio de las partes de la hortaliza.

Módulo 1. El peso total de las plantas fue de 7,410 g (7.41 kg), para la raíz se obtuvo un 12.3% de peso seco de raíz respecto al total de la planta, el contenido de raíz en peso seco fue de 145.8 g y tuvo una concentración de 14.23 mg/g por lo tanto el potasio asociado con la raíz fue 2.07 g K/ciclo; con lo que respecta al tallo, 67.5% fue la proporción respecto al total de la planta, con un peso seco de 1,349.5 g y una concentración de 15.15 mg/g, con lo cual se obtuvieron 20.44 g K/ciclo; la hoja tuvo un equivalente del 20.2 % con respecto a la planta, que en peso seco fue de 382.4 g, con una concentración de 17.10 mg/g , por lo tanto la hoja se asoció con 6.53 g K/ciclo.

Módulo 2. El peso total de las plantas fue de 7,930 g (7.93 kg), con 12.3% de peso seco de raíz respecto a la planta, el contenido de raíz en peso seco fue de 212.3 g y tuvo una concentración de potasio de 15.0 mg/g por lo tanto el K asociado a la raíz fue 3.18 g K/ciclo; el tallo tuvo 67.5% con respecto a la planta de tomate, con un peso seco de 1,537.8 g y una concentración de potasio de 17.1 mg/g, por lo cual se obtuvieron 26.3 g K/ciclo. La hoja tuvo una equivalencia del 20.2 % con respecto a la planta, que en peso seco fue 382.4 g y con una concentración de potasio de 14.46 mg/g, dando 5.52 g K/ciclo en hoja.

Módulo 3. El peso total de las plantas fue de 8,110 g (8.11 kg), con 12.3% de peso seco de raíz respecto a la planta, el contenido de raíz en peso seco de 258.0 g y una concentración de potasio de 16.36 mg/g, por lo tanto el K asociado a la raíz fue de 4.22 g K/ciclo; el tallo tuvo 67.5% del total de la planta, que equivalía en peso seco a 1,634.0 g y con una concentración de potasio de 15.86 mg/g, dando como resultado un acumulado de K de 25.91 g K/ciclo. La hoja equivalía al 20.2 % con respecto a la planta, que en peso seco fueron 375.5 g y cuya concentración de potasio fue de 16.61 mg/g, dando un flujo de 6.23 g K/ciclo.

Fruto. Para obtener la cantidad de potasio transferida hacia el fruto (tomate), se utilizó el peso total de estos, su equivalente en peso seco y su concentración de K.

Módulo 1. Se obtuvo un peso total de tomates de 13,320 g (13.32 kg), que en peso seco fue 775.2 g, con una concentración de potasio de 27.80 mg/g obteniéndose con ello un acumulado de 21.55 g K en los tomates cosechados.

Módulo 2. La cosecha de tomate fue de 11,214 g (11.21 kg) equivalente a 632.5 g en peso seco con una concentración de potasio de 29.10 mg/g, obteniéndose 18.40 g K/ciclo.

Módulo 3. El peso total de los tomates fue de 8,736 g (8.73 kg) con una concentración de potasio de 28.70 mg/g y un peso seco de 521.57 g, por lo tanto se obtuvieron 14.96 g K/ciclo.

Zeolita. El K capturado por la zeolita se determinó multiplicando el peso seco de la zeolita por la cantidad de zeolita utilizada, posteriormente se multiplicó por la concentración de K que contenía la misma (se realizó una diferencia entre la zeolita nueva que tuvo 6 mg/g K y la zeolita utilizada al final del cultivo). El total de macetas fueron 15 y cada maceta contenía 3.1 kg de zeolita por lo tanto la cantidad total de zeolita utilizada fue de 46,500 g (46.5 kg) por tanque.

Módulo 1. Se multiplicó el peso de la zeolita (46,500g) por el porcentaje de peso seco de la zeolita (95.7%) obteniendo un peso seco de 44,500.5 g y con una concentración de K (12.03 mg/g de K en la zeolita utilizada – 6.0 mg/g de K en la zeolita nueva) dando como resultado un acumulado de K de 535.3 g.

Módulo 2. El peso total de la zeolita se multiplicó por 76.9 % de peso seco, teniendo un peso seco de 35 758.5 g, la zeolita contenía de K (10.59 mg/g de K en la zeolita utilizada – 6 mg/g de K en la zeolita nueva), dando un acumulado de K de 164.2 g de K.

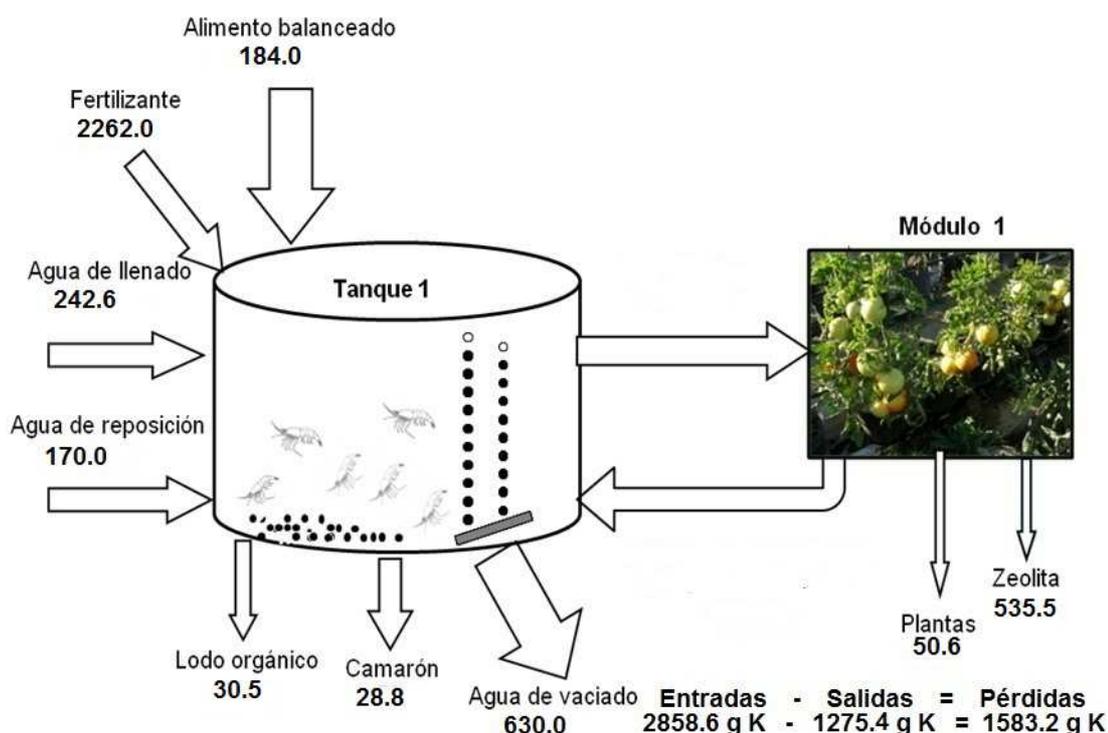


Fig. 24. Balance de potasio del tanque 1 y módulo 1 en g K/ciclo.

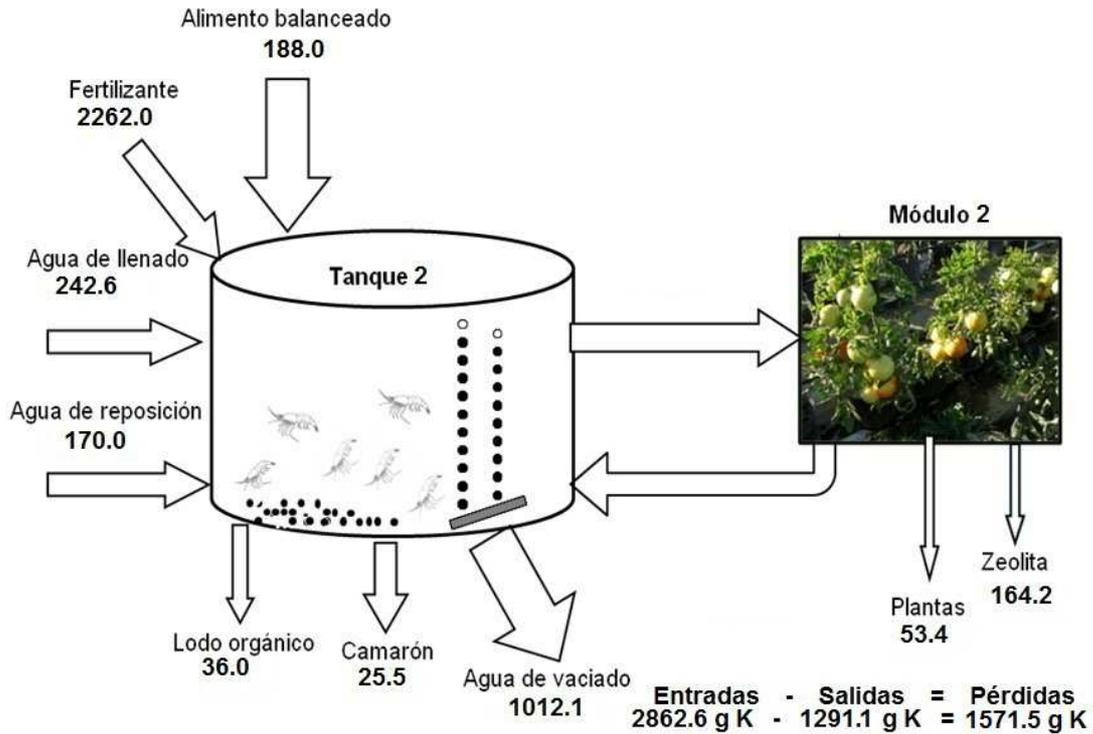


Fig. 25. Balance de potasio del tanque 2 y módulo 2 en g K/ciclo.

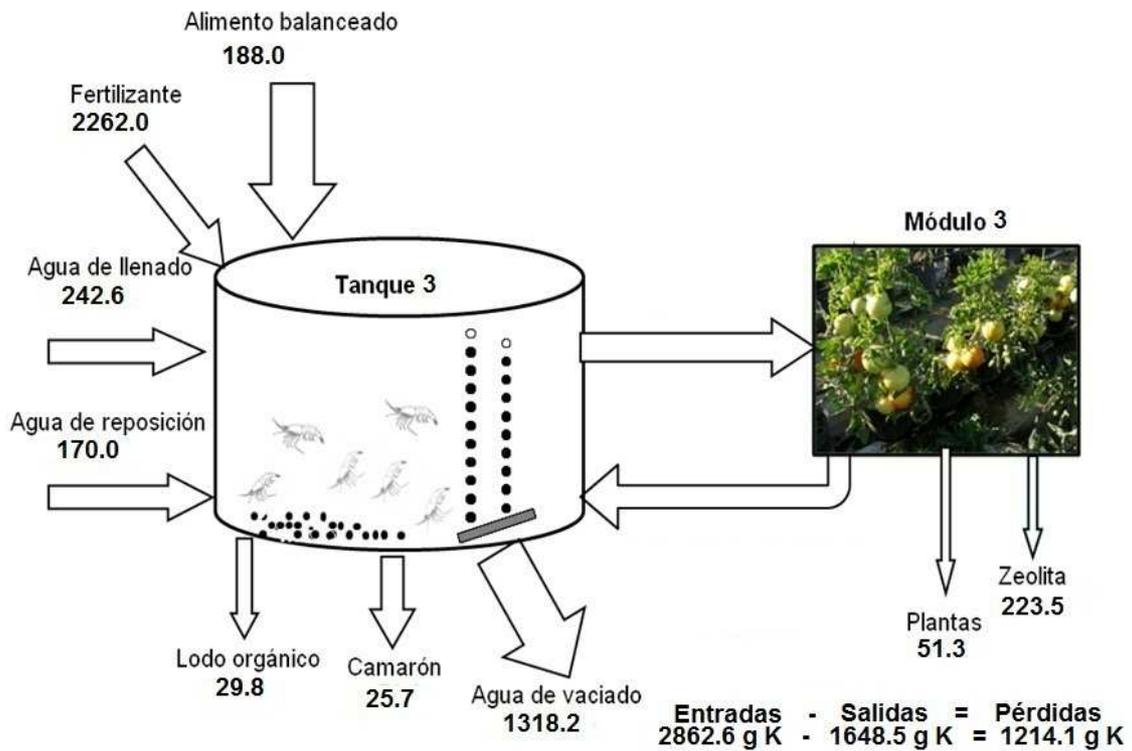


Fig. 26. Balance potasio del tanque 3 y módulo 3 en g K/ciclo.

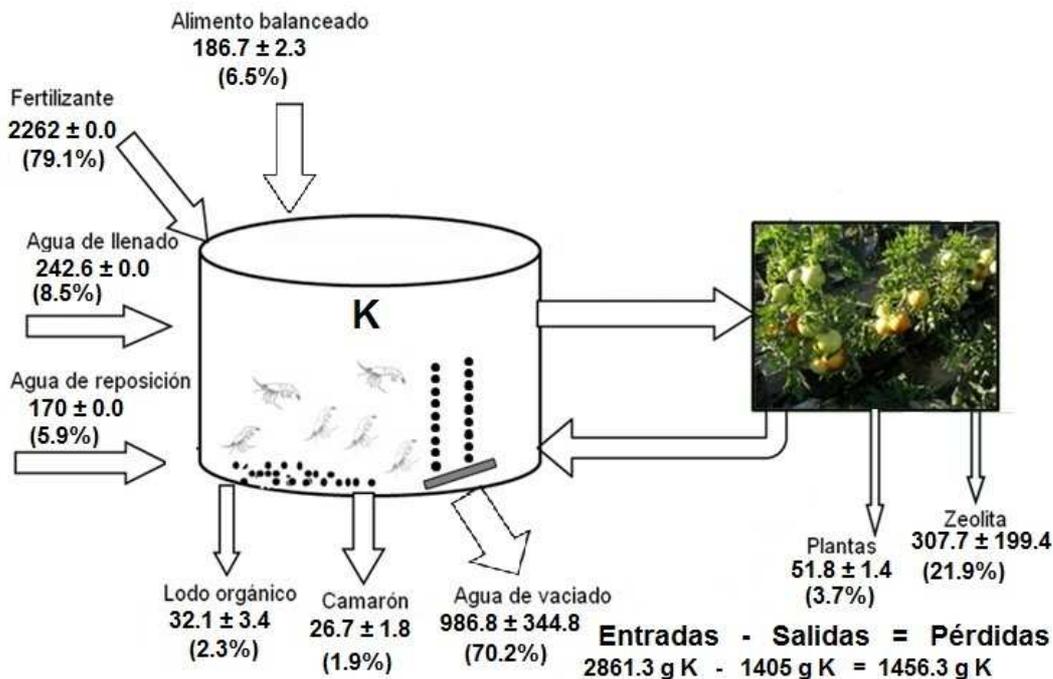


Fig. 27. Balance promedio de los 3 tanques y los 3 módulos de tomate en g K/ciclo. En paréntesis el porcentaje relativo al total que ingresa o egresa.

Módulo 3. Se multiplicó el peso total de zeolita por el porcentaje de peso seco (74.9%), obteniéndose 34,842.4 g de peso seco de zeolita y al multiplicar por la diferencia de la concentración de K entre la zeolita utilizada y la zeolita nueva (12.42 mg/g K – 6 mg/g K = 6.42 mg/g k), dio 223.5 g K.

6.4.1.2. Cálculos de los flujos y balances de masas de magnesio

Alimento. Los flujos de magnesio suministrado a través del alimento fueron calculados de la siguiente forma:

Tanque 1. Se agregaron 2.98 kg de alimento balanceado al 40% de proteínas, con un contenido de magnesio de 0.59%, da una cantidad de 17.58 g Mg del alimento, también se suministraron 14.87 kg de alimento al 35% de proteína con un contenido de magnesio de 1.14% que equivale a 169.51 g Mg, sumando las dos cantidades tenemos 187.1 g Mg/ciclo.

Tanque 2. Se utilizaron 3.09 kg de alimento balanceado al (40% de proteína) con un contenido de magnesio de 0.59% esto corresponde a 18.23 g de Mg en

alimento, también se suministraron 15.17 kg de alimento al 35% de proteína con un contenido de magnesio de 1.14% que equivale a 172.93 g Mg, sumando las dos cantidades de Mg tenemos 191.2 g Mg/ciclo.

Tanque 3. Se utilizaron 3.0 kg de alimento balanceado (al 40% de proteína) con un contenido de magnesio de 0.59% esto corresponde a 17.7 g Mg asociado al alimento, también se suministraron 15.3 kg de alimento al 35% de proteína con un contenido de magnesio de 1.14% que equivale a 174.42 g Mg, teniendo como resultado 192.1 g Mg/ciclo en el alimento.

Fertilizante. Se utilizó nitrato de magnesio ($MgNO_3$) con 9.1% de magnesio y se suministro a cada tanque 5 kg por lo tanto en términos de Mg serían 455 g Mg/ciclo. También se agregó cloruro de potasio (KCl) con 0.01 % de magnesio y se suministraron a cada tanque 5 kg por lo tanto fueron 0.5 g Mg/ciclo, obteniendo como resultado 455.5 g/ciclo en los dos fertilizantes. Sin embargo, el problema con la adición de estos fertilizantes, y particularmente el nitrato de magnesio fue su baja solubilidad, por lo que pudo ocurrir que solamente una fracción de lo añadido se solubilizó y se sumo al ciclaje del cultivo camarón-tomate. En los cálculos que se presentan se asumió que la solubilización fue completa.

Agua de llenado (Al). El magnesio suministrado a través del agua de pozo se calculó a partir del contenido de Mg del agua y del volumen de llenado, la concentración de magnesio en el agua de pozo fue de 5.7 mg Mg/L multiplicando por el volumen del tanque (31.1 m^3) por lo tanto la cantidad de magnesio en el estanque, al momento de llenado fue de 177.3 g Mg/ciclo. La cantidad de Mg que ingresó a través del agua de llenado fue asumido ser igual en los 3 tanques.

Reposición de niveles de los estanques (Rn). Se obtuvo multiplicando el valor de evaporación promedio del estado de Sonora (CNA, 2008) por la superficie del estanque y por los días del cultivo. El valor de evaporación que se asumió durante 84 días de cultivo fue de 8 mm, en los últimos 49 días de cultivo de 2 mm y la superficie del estanque era de 28.3 m^2 . Por lo tanto $8 \text{ mm} \times 28.3 \text{ m}^2 \times 84 \text{ días} / 1,000 = 19 \text{ m}^3$ y $2 \text{ mm} \times 28.3 \text{ m}^2 \times 49 \text{ días} / 1,000 = 2.8 \text{ m}^3$. Los volúmenes de

evaporación por reposición de niveles fue de 21.8 m³ durante el cultivo y dado que la concentración de magnesio en el agua de pozo fue de 5.7 mg Mg/L, por tanto el flujo de Mg ingreso por reposición de niveles fue de 124.3 g Mg/ciclo, el resultado se asumió ser igual en los 3 tanques.

Los flujos de salida del magnesio asociados con los diferentes materiales se calcularon como a continuación se presenta:

Agua de vaciado (Av). Se calculó con la concentración obtenida en la última semana del experimento, por el volumen del tanque (31.1 m³).

Tanque 1. El estanque tuvo una concentración de magnesio de 14.05 mg/L que multiplicado por el volumen generó un flujo de descarga de magnesio de 437.0 g Mg/ciclo.

Tanque 2. La última semana del cultivo tuvo una concentración de magnesio de 14.99 mg/L x 31,100 L = 466.2 g Mg/ciclo.

Tanque 3. Tuvo una concentración de magnesio de 14.97 mg/L x 31,100 L = 465.6 g Mg/ciclo.

Cosecha de camarón. El cálculo del flujo de magnesio asociado a la cosecha se realizó considerando la producción total, el peso seco de la producción total y la concentración de magnesio en el camarón.

Tanque 1. Se tuvo una cosecha de 11,300 g (11.3 kg) de camarón que equivale a 2,955.3 g en peso seco multiplicado por el contenido de magnesio del camarón 1.29 mg/g el resultado fue de 3.8 g Mg/ciclo.

Tanque 2. La producción total fue de 11,140 g (11.14 kg), con un peso seco de 2,616.1 g, multiplicado por el contenido de magnesio del camarón 1.46 mg/g en la cosecha, dio un resultado de 3.8 g Mg/ciclo.

Tanque 3. Se tuvo una producción de 11,180 g (11.17 kg) de camarón que tuvo un peso seco de 2781.5 g que al multiplicar por la concentración del camarón 1.40 mg/g se obtuvieron 3.9 g Mg/ciclo en la cosecha del camarón.

Lodo (Lo). El flujo de magnesio en los materiales depositados durante el ciclo de cultivo se llevó a cabo pesando la cantidad de lodo obtenido al final del experimento, y tomando en cuenta el equivalente en peso seco y la concentración de magnesio en el lodo.

Tanque 1. Se recolectaron 16.3 kg (16,300 g), con un peso seco de 23.13% y con un contenido de magnesio de 1.16 mg/g, por lo tanto $16,300 \text{ g} \times 0.2313 = 3,770.2 \text{ g} \times 1.16 \text{ mg/g} = 4.4 \text{ g K/ciclo}$.

Tanque 2. La cantidad recolectada fue de 15.5 kg (15,500 g) de lodo, con un peso seco de 29.52% y con un contenido de magnesio de 1.31 mg/g al efectuar el cálculo se tiene que $15,500 \text{ g} \times 0.2952 = 4,575.6 \text{ g} \times 1.31 \text{ mg/g} = 6.0 \text{ g Mg/ciclo}$.

Tanque 3. Se obtuvieron 13.7 kg (13,700 g) de lodo depositado durante el ciclo de cultivo, con un peso seco de 23.38% y un contenido de 1.08 mg/g Mg en el lodo, al efectuar el cálculo se tiene que $13,700 \text{ g} \times 0.2338 = 3203.1 \text{ g} \times 1.08 = 3.4 \text{ g Mg/ciclo}$.

Con lo que respecta a las plantas se realizaron los siguientes cálculos para obtener el flujo de magnesio en sus diferentes tejidos:

Raíz, tallo, hoja. Para obtener los gramos de magnesio, se tomó en cuenta el peso de la planta, el porcentaje de tejido respecto a la planta, el valor en peso seco y la cantidad de magnesio de las partes de la hortaliza.

Módulo 1. El peso total de las plantas fue de 7,410 g (7.41 kg), para la raíz se obtuvo un 12.3% de peso seco de raíz respecto a la planta, el contenido de raíz en peso seco de 145.8 g y una concentración de 1.54 mg/g por lo tanto el magnesio asociado con la raíz fue 0.22 g Mg/ciclo; con lo que respecta al tallo, 67.5% fue la proporción respecto a la planta, con un peso seco de 1,349.5 g y una

concentración de 1.29 mg/g en el cual se obtuvieron 1.74 g Mg/ciclo; la hoja equivalía al 20.2 % con respecto a la planta, que en peso seco fueron 382.4 g y con una concentración de 1.4 mg/g , por lo tanto el acumulado final que aportó la hoja fue de 0.53 g Mg/ciclo.

Módulo 2. El peso total de las plantas fue de 7,930 g (7.93 kg), con 12.3% de peso seco de raíz respecto a la planta, el contenido de raíz en peso seco fue de 212.3 g y una concentración de magnesio de 1.54 mg/g, por lo tanto el Mg asociado a la raíz fue 0.32 g Mg/ciclo; el tallo tuvo 67.5% con respecto a la planta de tomate, con un peso seco de 1,537.8 g y una concentración de magnesio de 0.89 mg/g, por lo cual se obtuvieron 1.36 g Mg/ciclo; la hoja tuvo una equivalencia del 20.2 % con respecto a la planta, que en peso seco fue 382.4 g y con una concentración de magnesio de 1.27 mg/g, dando un flujo de Mg en la hoja de 0.48 g Mg/ciclo.

Módulo 3. El peso total de las plantas fue de 8,110 g (8.11 kg), con 12.3% de peso seco de raíz respecto a la planta, el contenido de raíz en peso seco fue de 258.0 g y una concentración de magnesio de 1.44 mg/g, por lo tanto el flujo de Mg asociado a la raíz fue 0.37 g Mg/ciclo; el tallo tuvo 67.5% del total de la planta, que equivalía en peso seco a 1,634.0 g y con una concentración de magnesio de 1.23 mg/g, dando como resultado un flujo de 2.0 g Mg/ciclo; la hoja equivalía al 20.2 % con respecto a la planta, que en peso seco fueron 375.5 g y con una concentración de magnesio de 1.43 mg/g, dando un acumulado de 0.53 g Mg/ciclo.

Fruto. Para obtener la cantidad de magnesio en el fruto (tomate), se utilizó el peso total de los mismos, su equivalente en peso seco y su concentración de Mg.

Módulo 1. Se obtuvo un peso total de tomates de 13,320 g (13.32 kg), que en peso seco equivalía a 775.2 g, con una concentración de magnesio de 1.27 mg/g obteniendo 0.98 g Mg/ciclo en los tomates cosechados.

Módulo 2. La cosecha de tomates fue de 11,214 g (11.21 kg) equivalente a 632.5 g en peso seco y con una concentración de magnesio de 1.27 mg/g, obteniendo un resultado de 0.80 g Mg/ciclo.

Módulo 3. El peso total de los tomates fue de 8,736 g (8.73 kg) con una concentración de magnesio de 1.24 mg/g y un peso seco de 521.57 g, por lo tanto se obtuvo 0.64 g Mg/ciclo.

Zeolita. El magnesio capturado por la zeolita se determinó multiplicando el peso seco de la zeolita por la cantidad de zeolita utilizada, posteriormente se multiplicó por la concentración de Mg que contenía la misma (se realizó una diferencia entre la zeolita nueva al inicio del cultivo que tuvo 1.49 mg/g Mg y la zeolita utilizada hasta el final del cultivo). El total de macetas fueron 15 y cada maceta contenía 3.1 kg de zeolita por lo tanto la cantidad total de zeolita utilizada fue de 46,500 g (46.5 kg) por tanque.

Módulo 1. Se multiplicó el peso de la zeolita (46,500 g) por el porcentaje de peso seco de la zeolita (95.7%) obteniendo un peso seco de 44,500.5 g y con una concentración de Mg (1.04 mg/g de Mg en la zeolita utilizada – 1.49 mg/g de Mg en la zeolita nueva) dando como resultado un flujo negativo de Mg de -20.0 g Mg.

Módulo 2. El peso total de la zeolita se multiplicó por 76.9 % de peso seco, teniendo un peso seco de 35 758.5 g, la zeolita contenía de Mg (0.92 mg/g de Mg en la zeolita utilizada – 1.49 mg/g de Mg en la zeolita nueva) y el flujo de Mg fue de -20.4 g de Mg.

Módulo 3. Se multiplicó el peso total de zeolita por el porcentaje de peso seco siendo de 74.9%, obteniendo 34,842.4 g de peso seco de zeolita y al multiplicar por la diferencia de la concentración de Mg entre la zeolita utilizada y la zeolita nueva (1.64 mg/g Mg – 1.49 mg/g Mg = 0.15 mg/g Mg), dio un flujo de -5.22 g Mg.

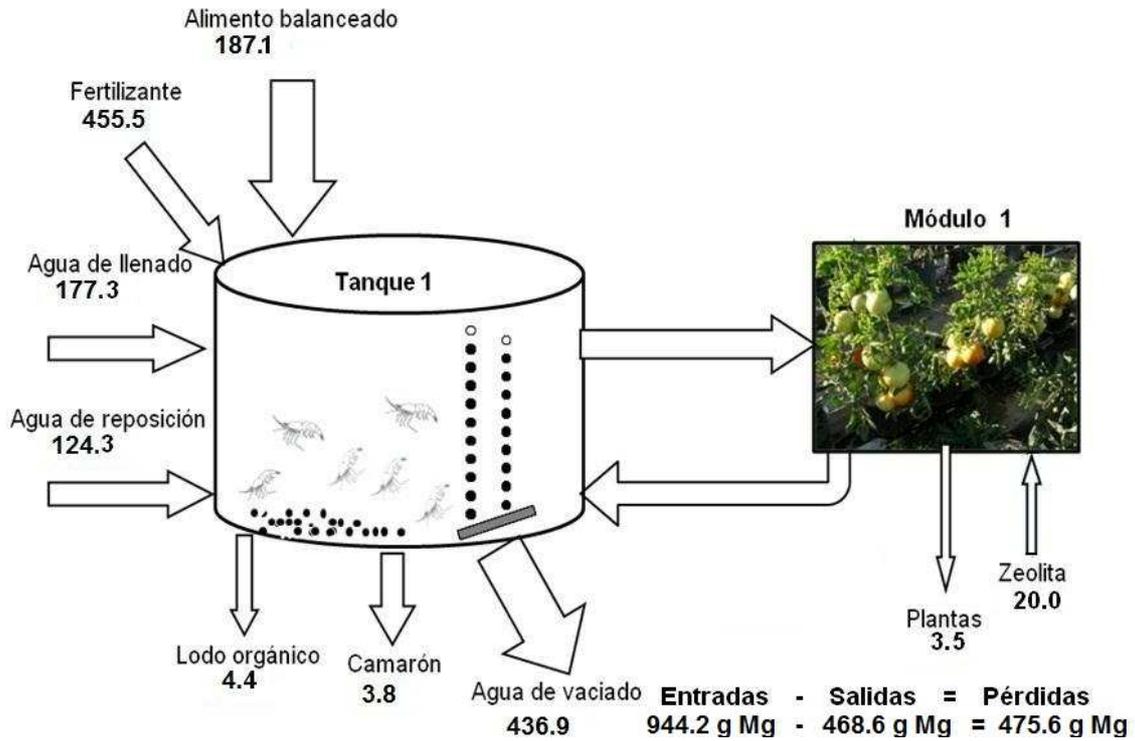


Fig. 28. Balance de magnesio del tanque 1 y módulo 1 en g Mg/ciclo.

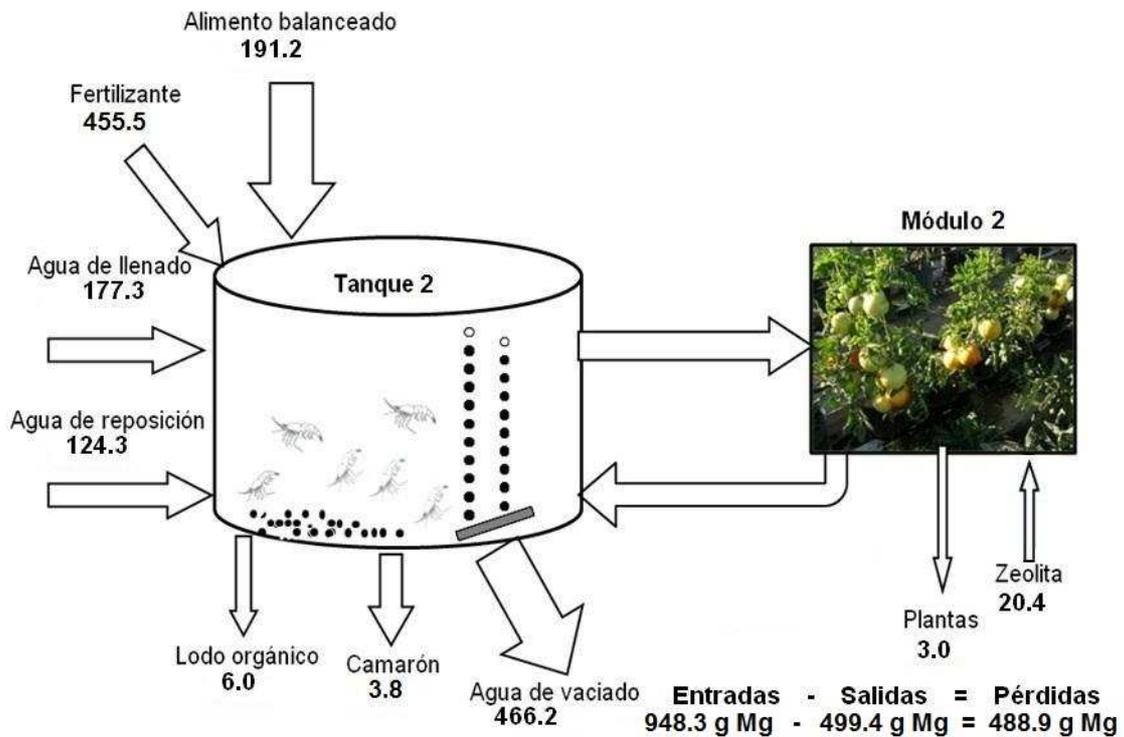


Fig. 29. Balance de magnesio del tanque 2 y módulo 2 en g Mg/ciclo.

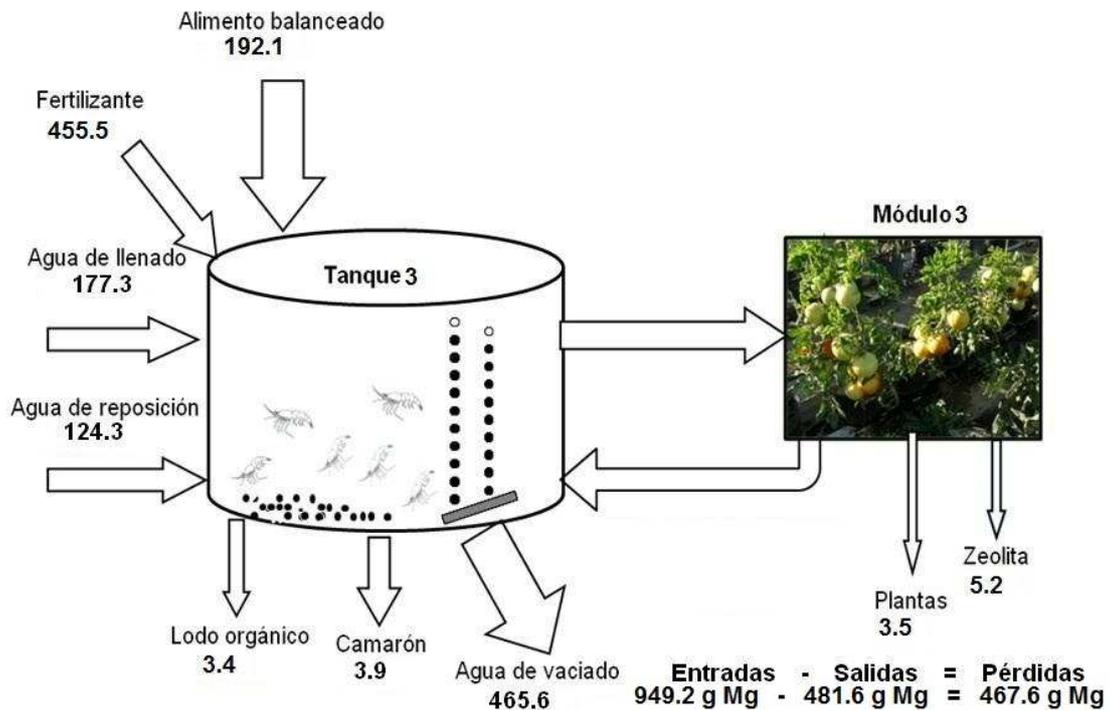


Fig. 30. Balance de magnesio del tanque 3 módulo 3 en g Mg/ciclo.

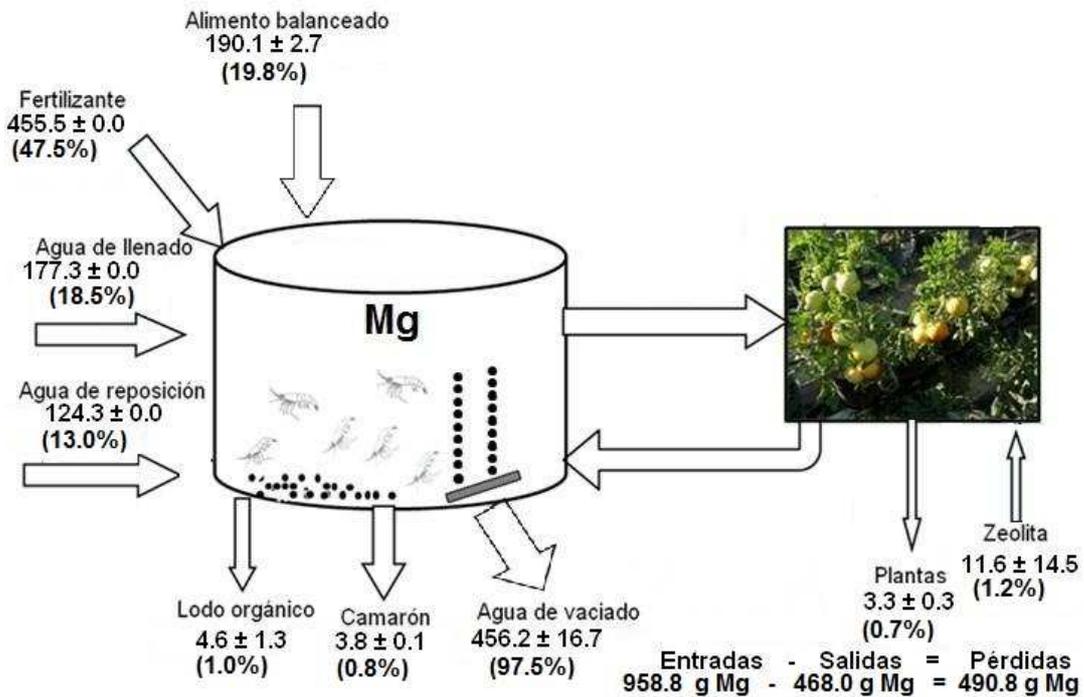


Fig. 31. Balance promedio de los 3 tanques y los 3 módulos de tomate en g Mg/ciclo. En paréntesis se incluyen a los porcentajes relativos al total de entradas o salidas.

6.4.1.3. Cálculos de los flujos y balances de masas de calcio

Alimento. Los flujos de calcio suministrado a través del alimento fueron calculados de la siguiente forma:

Tanque 1. Se agregaron 2.98 kg de alimento balanceado al 40% de proteínas, con un contenido de calcio de 1.47% obteniéndose una cantidad de 0.0438 kg Ca (43.8 g Ca) del alimento. También se suministraron 14.87 kg de alimento al 35% de proteínas con un contenido de calcio de 2.47 % que equivale a 0.3672 kg Ca (367.2 g Ca) sumando las cantidades de Ca en el alimento, fueron 411.0 g Ca/ciclo.

Tanque 2. Se utilizaron 3.09 kg de alimento balanceado al 40% proteínas, con un el contenido de calcio de 1.47% de proteínas esto corresponde a 0.045 kg Ca (45 g Ca) en alimento. También se suministraron 15.17 kg de alimento al 35% con un contenido de calcio de 2.47% que equivale a 0.374 kg Ca (375 g Ca) sumando las cantidades de Ca en el alimento, fueron 420.0 g Ca/ciclo.

Tanque 3. Se utilizaron 3.0 kg de alimento balanceado al 40% de proteína, considerando el contenido de calcio del alimento (40% proteínas; Ca = 1.47%) esto corresponde a 0.044 kg Ca (44 g Ca) asociado al alimento, también se suministraron 15.3 kg de alimento al 35% de proteína con un contenido de calcio de 2.47% que equivale a 0.378 kg Ca (378 g Ca) teniendo como resultado 422.0 g Ca/ciclo en el alimento.

Fertilizante. Se utilizó nitrato de magnesio ($MgNO_3$) con 0.07% de calcio y se suministró a cada tanque 5 kg por lo tanto en términos de calcio serían 3.5 g Ca/ciclo. También se agregó cloruro de potasio (KCl) como fertilizante con 0.03 % de calcio y se suministraron a cada tanque 5 kg por lo tanto fueron 1.5 g Ca/ciclo, obteniendo como resultado 5 g Ca/ciclo en el fertilizante por tanque.

Agua de llenado (All). El calcio suministrado a través del agua de pozo se calculó a partir del contenido de Ca del agua y del volumen de llenado, la

concentración de calcio en el agua de pozo fue de 72.6 mg Ca/L multiplicando por el volumen del tanque (31.1 m³) por lo tanto la cantidad de calcio en el estanque, al momento de llenado fue de 2257.9 g Ca/ciclo. La cantidad de Ca que ingresó a través del agua de llenado fue igual en los 3 tanques.

Reposición de niveles de los estanques (Rn). Se obtuvo multiplicando el valor de evaporación promedio del estado de Sonora (CNA, 2008) por la superficie del estanque y por los días del cultivo. El valor de evaporación que se asumió durante 84 días de cultivo fue de 8 mm, en los últimos 49 días de cultivo la evaporación fue de 2 mm y la superficie del estanque era de 28.3 m². Por lo tanto $8 \text{ mm} \times 28.3 \text{ m}^2 \times 84 \text{ días} / 1,000 = 19 \text{ m}^3$ y $2 \text{ mm} \times 28.3 \text{ m}^2 \times 49 \text{ días} / 1,000 = 2.8 \text{ m}^3$. Los volúmenes de evaporación por reposición de niveles fue de 21.8 m³ durante el cultivo y dado que la concentración de calcio en el agua de pozo fue de 72.6 mg Ca/L, por tanto el flujo de Ca por reposición de niveles fue de 1582.0 g Ca/ciclo, el resultado se asumió que fue igual en los 3 tanques.

Los flujos de salida del calcio asociados con los diferentes materiales se calcularon como a continuación se presenta:

Agua de vaciado (Av). Se calculó con la concentración obtenida en la última semana del experimento, por el volumen del tanque (31.1 m³).

Tanque 1. El estanque tuvo una concentración de calcio de 62.49 mg/L que multiplicado por el volumen generó un flujo de calcio de 1943.4 g Ca/ciclo.

Tanque 2. La última semana del cultivo tuvo una concentración de calcio de 71.2 mg/L x 31,100 L = 2214.3 g Ca/ciclo.

Tanque 3. Tuvo una concentración de calcio de 67.95 mg/L x 31,100 L = 2113.2 g Ca/ciclo.

Cosecha de camarón. El cálculo del flujo de calcio asociado a la cosecha se realizó considerando la producción total, el peso seco de la producción total y la concentración de calcio en el camarón.

Tanque 1. Se tuvo una cosecha de 11,297 g (11.3 kg) de camarón que equivale a 2,955.3 g en peso seco multiplicado por el contenido de calcio del camarón fue de 19.34 mg/g el resultado fue de 57.1 g Ca/ciclo.

Tanque 2. La producción total fue de 11,144 g (11.14 kg), con un peso seco de 2,616.1 g, multiplicado por el contenido de calcio del camarón 32.02 mg/g en la cosecha, dio un resultado de 83.8 g Ca/ciclo.

Tanque 3. Se tuvo una producción de 11,176 g (11.17 kg) de camarón que tuvo un peso seco de 2781.5 g que al multiplicar por la concentración del camarón 24.27 mg/g se obtuvieron 67.5 g Ca/ciclo en la cosecha del camarón.

Lodo (Lo). El flujo de calcio en los materiales depositados durante el ciclo de cultivo se llevó a cabo pesando la cantidad de lodo obtenido al final del experimento, y tomando en cuenta el equivalente en peso seco y el contenido de calcio en el lodo.

Tanque 1. Se recolectaron 16.3 kg (16,300 g), con un peso seco de 23.13% y con un contenido de calcio de 12.41 mg/g, por lo tanto $16,300 \text{ g} \times 0.2313 = 3,770.2 \text{ g}$ $\times 12.41 \text{ mg/g} = 46.8 \text{ g Ca/ciclo}$.

Tanque 2. La cantidad recolectada fue de 15.5 kg (15,500 g) de lodo, con un peso seco de 29.52% y con un contenido de calcio de 8.96 mg/g al efectuar el cálculo se tiene que $15,500 \text{ g} \times 0.2952 = 4,575.6 \text{ g}$ $\times 8.96 \text{ mg/g} = 42.6 \text{ g Ca/ciclo}$.

Tanque 3. Se obtuvieron 13.7 kg (13,700 g) de lodo depositado durante el ciclo de cultivo, con un peso seco de 23.38% y un contenido de calcio de 7.5 mg/g en el lodo, al efectuar el cálculo se tiene que $13,700 \text{ g} \times 0.2338 = 3203.1 \text{ g}$ $\times 7.50 = 24.0 \text{ g Ca/ciclo}$.

Con lo que respecta a las plantas se realizaron los siguientes cálculos para obtener el flujo de calcio en sus diferentes tejidos:

Raíz, tallo, hoja. Para obtener los gramos de calcio, se tomó en cuenta el peso de la planta, el porcentaje de tejido respecto a la planta, el valor en peso seco y la cantidad de calcio de las partes de la hortaliza.

Módulo 1. El peso total de las plantas fue de 7,410 g (7.41 kg), para la raíz se obtuvo un 12.3% de peso seco de raíz respecto a la planta, el contenido de raíz en peso seco fue de 145.8 g con una concentración de 16.9 mg/g por lo tanto el flujo de calcio asociado con la raíz fue 2.46 g K/ciclo; con lo que respecta al tallo, 67.5% fue la proporción respecto a la planta, con un peso seco de 1,349.5 g y una concentración de 17.70 mg/g con lo cual se obtuvieron 23.88 g K/ciclo; la hoja equivalía al 20.2 % con respecto a la planta, que en peso seco fueron 382.4 g y con una concentración de 52.37 mg/g , por lo tanto el flujo final que aportó la hoja fue de 20.02 g Ca/ciclo.

Módulo 2. El peso total de las plantas fue de 7,930 g (7.93 kg), con 12.3% de peso seco de raíz respecto a la planta, el contenido de raíz en peso seco fue de 212.3 g y una concentración de calcio de 20.40 mg/g por lo tanto el flujo de Ca asociado a la raíz fue 4.33 g Ca/ciclo; el tallo tuvo 67.5% con respecto a la planta de tomate, con un peso seco de 1,537.8 g y una concentración de calcio de 19.41 mg/g, por lo cual se obtuvieron 29.84 g Ca/ciclo; la hoja tuvo una equivalencia del 20.2 % con respecto a la planta, que en peso seco fue 382.4 g y con una concentración de calcio de 49.38 mg/g, dando un flujo de Ca en la hoja de 18.88 g Ca/ciclo.

Módulo 3. El peso total de las plantas fue de 8,110 g (8.11 kg), con 12.3% de peso seco de raíz respecto a la planta, el contenido de raíz en peso seco de 258.0 g y una concentración de calcio de 18.61 mg/g, por lo tanto el flujo de calcio asociado a la raíz fue 4.80 g Ca/ciclo; el tallo tuvo 67.5% del total de la planta, que equivalía en peso seco a 1,634.0 g y con una concentración de calcio de 24.06 mg/g, dando como resultado un flujo de Ca de 39.31g Ca/ciclo; la hoja equivalía al 20.2 % con respecto a la planta, que en peso seco fueron 375.5 g y con una concentración de calcio de 49.36 mg/g, dando un flujo de 18.53g K/ciclo.

Fruto. Para obtener la cantidad de calcio en el fruto (tomate), se utilizó el peso total de los tomates, su equivalente en peso seco y su concentración de Ca.

Módulo 1. Se obtuvo un peso total de tomates de 13,320 g (13.32 kg), que en peso seco equivale a 775.2 g, con una concentración de calcio de 1.73 mg/g obteniendo un flujo de 1.34 g Ca en los tomates cosechados.

Módulo 2. La cosecha de tomates fue de 11,214 g (11.21 kg) equivalente a 632.5 g en peso seco y con una concentración de calcio de 1.80 mg/g, obteniendo un resultado de 1.13 g Ca/ciclo.

Módulo 3. El peso total de los tomates fue de 8,736 g (8.73 kg) con una concentración de calcio de 1.80 mg/g y un peso seco de 521.57 g, por lo tanto se obtuvo un flujo de 0.94 g Ca/ciclo.

Zeolita. El Ca capturado por la zeolita se determinó multiplicando el peso seco de la zeolita por la cantidad de zeolita utilizada, posteriormente se multiplicó por la concentración de Ca que contenía la misma (se realizó una diferencia entre la zeolita nueva que tuvo 6 mg/g Ca y la zeolita utilizada hasta el final del cultivo). El total de macetas fueron 15 y cada maceta contenía 3.1 kg de zeolita por lo tanto la cantidad total de zeolita utilizada fue de 46,500 g (46.5 kg) por tanque.

Módulo 1. Se multiplicó el peso de la zeolita (46,500g) por el porcentaje de peso seco de la zeolita (95.7%) obteniendo un peso seco de 44,500.5 g y con una concentración de Ca (7.93 mg/g de Ca en la zeolita utilizada – 6.59 mg/g de Ca en la zeolita nueva) dando como resultado un flujo de Ca de 59.6 g.

Módulo 2. El peso total de la zeolita se multiplicó por 76.9 % de peso seco, teniendo un peso seco de 35 758.5 g, la zeolita contenía de Ca (7.50 mg/g de Ca en la zeolita utilizada – 6.59 mg/g de Ca en la zeolita nueva) y el flujo total de Ca fue de 32.5 g de Ca.

Módulo 3. Se multiplicó el peso total de zeolita por el porcentaje de peso seco siendo de 74.9%, obteniendo 34,842.4 g de peso seco de zeolita y al multiplicar

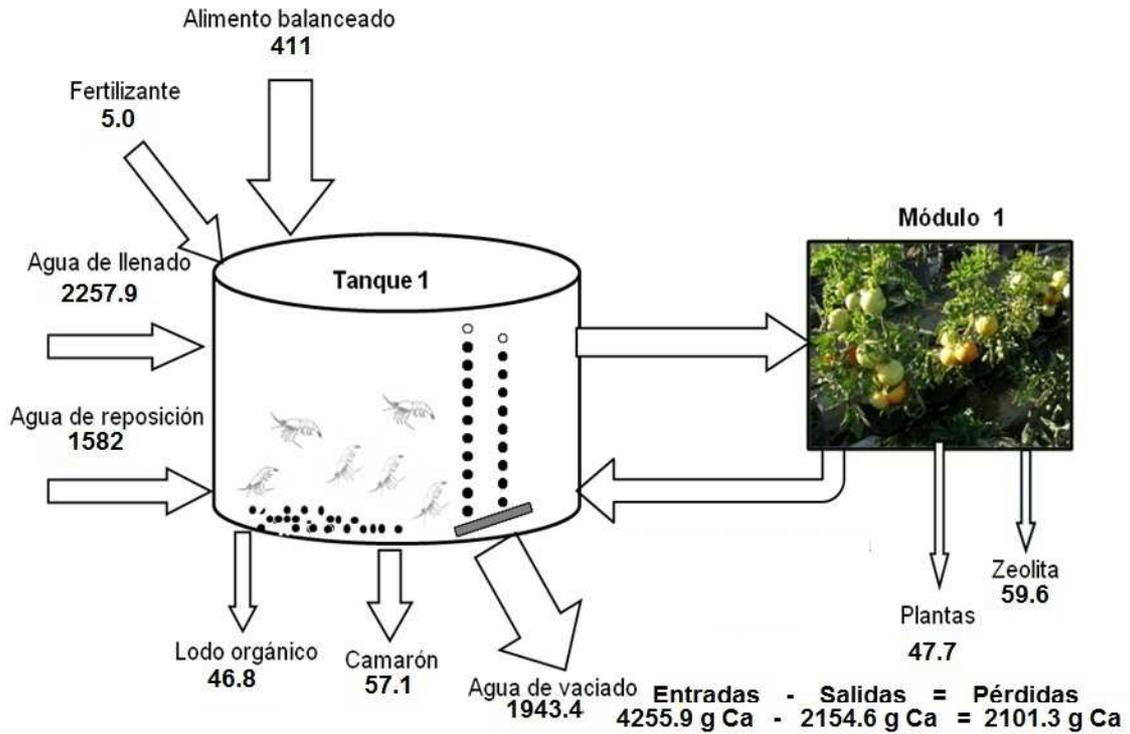


Fig. 32. Balance de calcio del tanque 1 y módulo 1 en g Ca/ciclo.

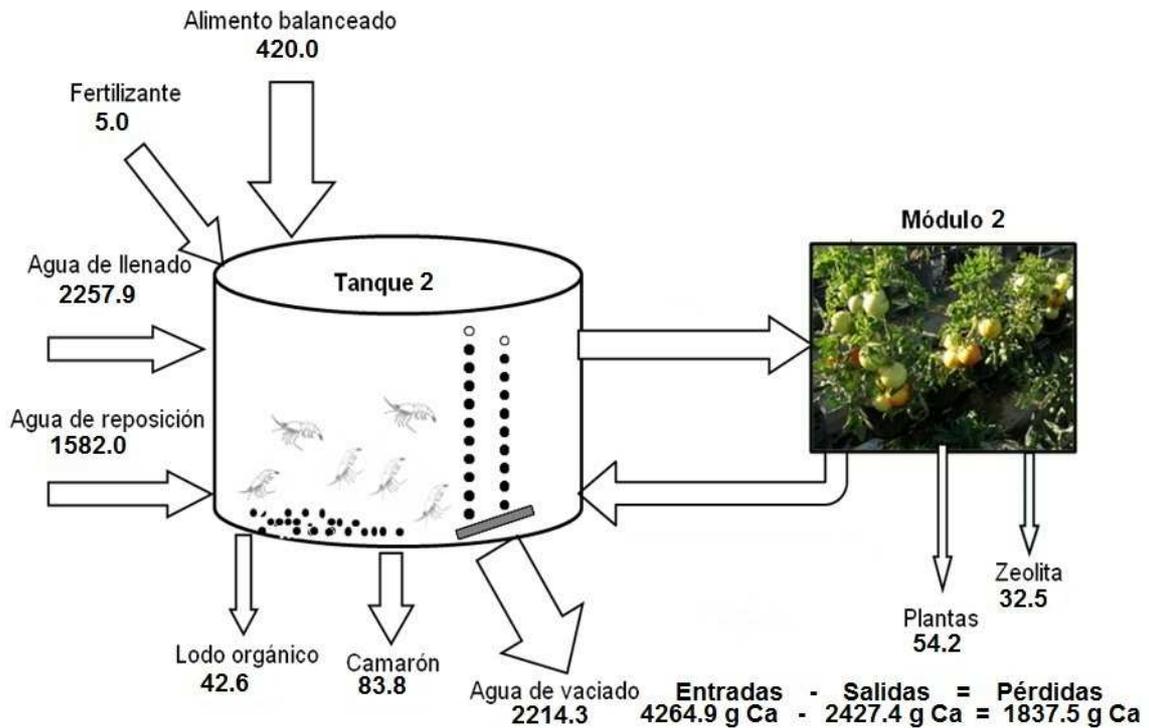


Fig. 33. Balance de calcio del tanque 2 y módulo 2 en g Ca/ciclo.

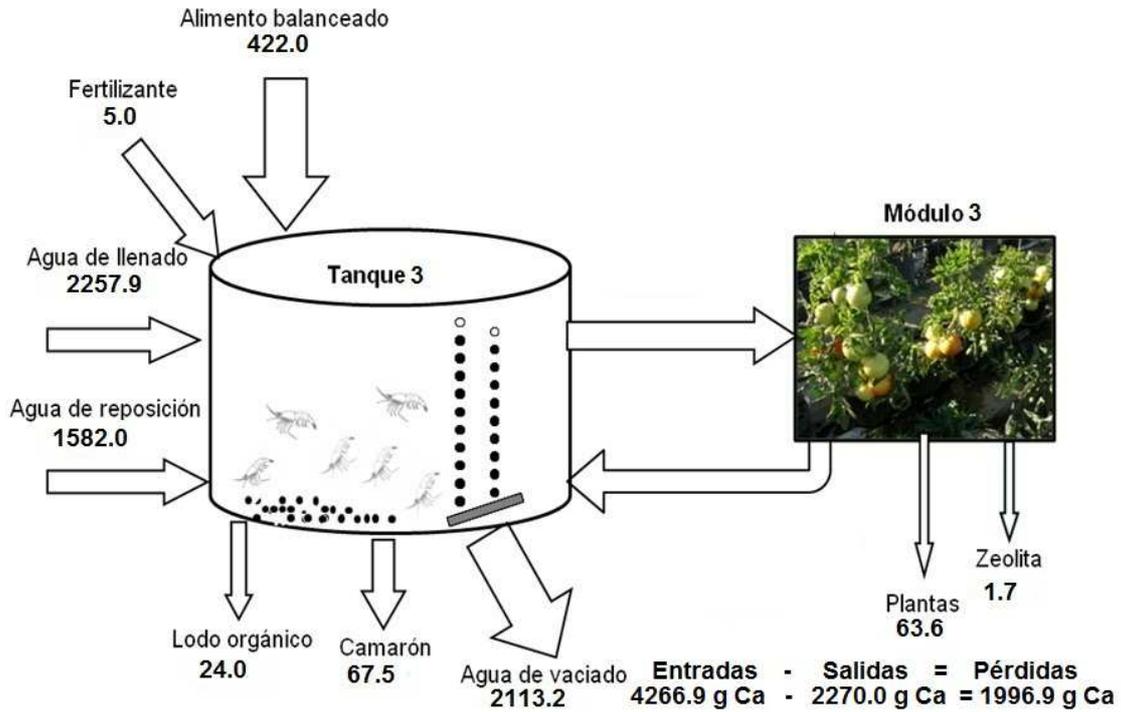


Fig. 34. Balance de calcio del tanque 3 y módulo 3 en g Ca/ciclo.

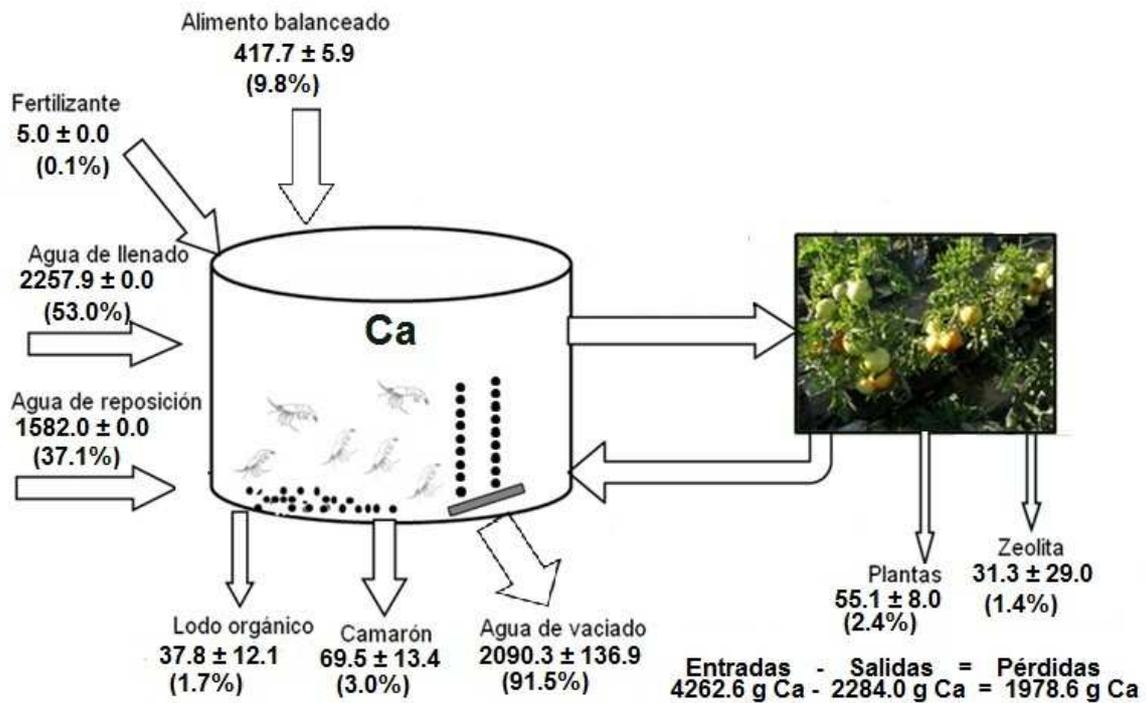


Fig. 35. Balance promedio de los 3 tanques y los 3 módulos de tomate en g Ca/ciclo. Se incluyen en paréntesis los porcentajes relativos con respecto a la suma de ingresos y egresos.

por la diferencia de la concentración de Ca entre la zeolita final y la zeolita inicial (6.64 mg/g Ca – 6.59 mg/g Ca = 0.05 mg/g Ca), dio 1.74 g Ca.

6.4.1.4. Cálculos de los flujos y balances de masas de sodio

Alimento. Los flujos de sodio suministrado a través del alimento fueron calculados de la siguiente forma:

Tanque 1. Se agregaron 2.98 kg de alimento balanceado al 40% de proteínas, donde se considera el contenido de sodio del alimento (40% proteínas; Na = 0.74%) obteniéndose una cantidad de 22.05 g Na del alimento, también se suministraron 14.87 kg de alimento al 35% de proteína con un contenido de sodio de 0.50 % que equivale a 74.35 g Na sumando las cantidades de Na en el alimento, fueron de 96.4 g Na/ciclo.

Tanque 2. Se utilizaron 3.09 kg de alimento balanceado al 40% de proteína, considerando el contenido de sodio del alimento (40% proteínas; Na = 0.74%) esto corresponde a 22.86 g Na en alimento, también se suministraron 15.17 kg de alimento al 35% de proteína con un contenido de sodio de 0.50% que equivale a 75.85 g Na sumando las cantidades de Na en el alimento, fueron de 98.7 g Na/ciclo.

Tanque 3. Se utilizaron 3.0 kg de alimento balanceado al 40% de proteína, considerando el contenido de calcio del alimento (40% proteínas; Na = 0.74%) esto corresponde a 22.2 g Na asociado al alimento, también se suministraron 15.3 kg de alimento al 35% de proteína con un contenido de sodio de 0.50% que equivale a 76.5 g Na teniendo como resultado 92.8 g Na/ciclo en el alimento.

Fertilizante. Se utilizó nitrato de magnesio ($MgNO_3$) con 0.02% de sodio y se suministro a cada tanque 5 kg por lo tanto en términos de sodio serían 1 g Na/ciclo. También se agregó cloruro de potasio (KCl) con 5.32 % de sodio y se suministraron a cada tanque 5 kg por lo tanto fueron 266 g Na/ciclo, obteniendo como resultado 267.0 g Na/ciclo en el fertilizante.

Agua de llenado (All). El sodio suministrado a través del agua de pozo se calculó a partir del contenido de sodio del agua y del volumen de llenado, la concentración de sodio en el agua de pozo fue de 174.8 mg Na/L multiplicando por el volumen del tanque (31.1 m^3) por lo tanto la cantidad de sodio en el estanque, al momento de llenado fue de 5436.3 g Na/ciclo. La cantidad de Na que ingresó a través del agua de llenado se consideró igual en los 3 tanques.

Reposición de niveles de los estanques (Rn). Se obtuvo multiplicando el valor de evaporación promedio del estado de Sonora (CNA, 2008) por la superficie del estanque y por los días del cultivo. El valor de evaporación que se asumió durante 84 días de cultivo fue de 8 mm, en los últimos 49 días de cultivo la evaporación fue de 2 mm y la superficie del estanque era de 28.3 m^2 . Por lo tanto $8 \text{ mm} \times 28.3 \text{ m}^2 \times 84 \text{ días} / 1,000 = 19 \text{ m}^3$ y $2 \text{ mm} \times 28.3 \text{ m}^2 \times 49 \text{ días} / 1,000 = 2.8 \text{ m}^3$. Los volúmenes de evaporación por reposición de niveles fue de 21.8 m^3 durante el cultivo y dado que la concentración de sodio en el agua de pozo fue de 174.8 mg Na/L, por tanto el flujo de Na por reposición de niveles fue de 3810.6 g Na/ciclo, el resultado se asumió que fue igual en los 3 tanques.

Los flujos de salida del sodio asociados con los diferentes materiales se calcularon como a continuación se presenta:

Agua de vaciado (Av). Se calculó con la concentración de sodio obtenido en la última semana del experimento, por el volumen del tanque (31.1 m^3).

Tanque 1. El estanque tuvo una concentración de sodio de 167.65 mg/L que multiplicado por el volumen generó un flujo de sodio de 5213.9 g Na/ciclo.

Tanque 2. La última semana del cultivo tuvo una concentración de sodio de 173.50 mg/L $\times 31,100 \text{ L} = 5395.8 \text{ g Na/ciclo}$.

Tanque 3. Tuvo una concentración de sodio de 172.43 mg/L $\times 31,100 \text{ L} = 5362.6 \text{ g Na/ciclo}$.

Cosecha de camarón. El cálculo del flujo de sodio asociado a la cosecha se realizó considerando la producción total, el peso seco de la producción total y la concentración de sodio en el camarón.

Tanque 1. Se tuvo una cosecha de 11,297 g (11.30 kg) de camarón que equivale a 2,955.3 g en peso seco multiplicado por el contenido de sodio del camarón 4.70 mg/g el resultado fue de 13.9 g Na/ciclo.

Tanque 2. La producción total fue de 11,144 g (11.14 kg), con un peso seco de 2,616.1 g, multiplicado por el contenido de sodio del camarón 4.46 mg/g en la cosecha, dio un resultado de 11.7 g Na/ciclo.

Tanque 3. Se tuvo una producción de 11,176 g (11.17 kg) de camarón que tuvo un peso seco de 2781.5 g que al multiplicar por la concentración de sodio del camarón 4.60 mg/g se obtuvieron 12.8 g Na/ciclo en la cosecha del camarón.

Lodo (Lo). El flujo de sodio en los materiales depositados durante el ciclo de cultivo se llevó a cabo pesando la cantidad de lodo obtenido al final del experimento, y tomando en cuenta el equivalente en peso seco y la cantidad de sodio en el lodo.

Tanque 1. Se recolectaron 16.3 kg (16,300 g), con un peso seco de 23.13% y con un contenido de sodio de 5.60 mg/g, por lo tanto $16,300 \text{ g} \times 0.2313 = 3,770.2 \text{ g} \times 5.60 \text{ mg/g} = 21.1 \text{ g Na/ciclo}$.

Tanque 2. La cantidad recolectada fue de 15.5 kg (15,500 g) de lodo, con un peso seco de 29.52% y con un contenido de sodio de 6.60 mg/g al efectuar el cálculo se tiene que $15,500 \text{ g} \times 0.2952 = 4,575.6 \text{ g} \times 6.60 \text{ mg/g} = 30.2 \text{ g Na/ciclo}$.

Tanque 3. Se obtuvieron 13.7 kg (13,700 g) de lodo depositado durante el ciclo de cultivo, con un peso seco de 23.38% y un contenido de sodio de 7.40 mg/g en el lodo, al efectuar el cálculo se tiene que $13,700 \text{ g} \times 0.2338 = 3203.1 \text{ g} \times 7.40 = 23.7 \text{ g Na/ciclo}$.

Con lo que respecta a las plantas se realizaron los siguientes cálculos para obtener el flujo de sodio en sus diferentes tejidos:

Raíz, tallo, hoja. Para obtener los gramos de sodio, se tomó en cuenta el peso de la planta, el porcentaje de tejido respecto a la planta, el valor en peso seco y la cantidad de sodio de las partes de la hortaliza.

Módulo 1. El peso total de las plantas fue de 7,410 g (7.41 kg), para la raíz se obtuvo un 12.3% de peso seco de raíz respecto a la planta, el contenido de raíz en peso seco de 145.8 g y una concentración de 8.00 mg/g por lo tanto el flujo de sodio asociado con la raíz fue 1.16 g Na/ciclo. Con lo que respecta al tallo, 67.5% fue la proporción respecto a la planta, con un peso seco de 1,349.5 g y una concentración de 7.64 mg/g en el cual se obtuvieron 10.31 g Na/ciclo; la hoja equivalía al 20.2 % con respecto a la planta, que en peso seco fueron 382.4 g y con una concentración de 2.01 mg/g , por lo tanto el flujo final que aportó la hoja fue de 0.76 g Na/ciclo.

Módulo 2. El peso total de las plantas fue de 7,930 g (7.93 kg), con 12.3% de peso seco de raíz respecto a la planta, el contenido de raíz en peso seco fue de 212.3 g y una concentración de sodio de 4.07 mg/g por lo tanto el flujo de Na asociado a la raíz fue 0.86 g Na/ciclo; el tallo tuvo 67.5% con respecto a la planta de tomate, con un peso seco de 1,537.8 g y una concentración de sodio de 6.00 mg/g, por lo cual se obtuvieron 9.23 g Na/ciclo; la hoja tuvo una equivalencia del 20.2 % con respecto a la planta, que en peso seco fue 382.4 g y con una concentración de sodio de 2.00 mg/g, dando un flujo de Na en la hoja de 0.76 g Na/ciclo.

Módulo 3. El peso total de las plantas fue de 8,110 g (8.11 kg), con 12.3% de peso seco de raíz respecto a la planta, el contenido de raíz en peso seco de 258.0 g y una concentración de sodio de 4.40 mg/g, por lo tanto el flujo de Na asociado a la raíz fue 1.13 g Na/ciclo; el tallo tuvo 67.5% del total de la planta, que equivalía en peso seco a 1,634.0 g y con una concentración de sodio de 6.40 mg/g, dando como resultado un flujo de Na de 10.45 g Na/ciclo; la hoja equivalía al 20.2 % con

respecto a la planta, que en peso seco fueron 375.5 g y con una concentración de sodio de 1.60 mg/g, dando un flujo de 0.60 g Na/ciclo.

Fruto. Para obtener la cantidad de sodio en el fruto (tomate), se utilizó su peso total, su equivalente en peso seco y su concentración de Na.

Módulo 1. Se obtuvo un peso total de tomates de 13,320 g (13.32 kg), que en peso seco equivalía a 775.2 g, con una concentración de sodio de 0.60 mg/g obteniendo un flujo de 0.46 g Na en los tomates cosechados.

Módulo 2. La cosecha de tomates fue de 11,214 g (11.21 kg) equivalente a 632.5 g en peso seco y con una concentración de sodio de 0.47 mg/g, obteniendo un resultado de 0.29 g Na/ciclo.

Módulo 3. El peso total de los tomates fue de 8,736 g (8.73 kg) con una concentración de sodio de 0.48 mg/g y un peso seco de 521.57 g, por lo tanto se obtuvo un flujo de 0.25 g Na/ciclo.

Zeolita. El Na capturado por la zeolita se determinó multiplicando el peso seco de la zeolita por la cantidad de zeolita utilizada, posteriormente se multiplicó por la concentración de Na que contenía la misma (se realizó una diferencia entre la zeolita nueva que tuvo 2.03 mg/g Na y la zeolita utilizada hasta el final del cultivo). El total de macetas fueron 15 y cada maceta contenía 3.1 kg de zeolita por lo tanto la cantidad total de zeolita utilizada fue de 46,500 g (46.5 kg) por tanque.

Módulo 1. Se multiplicó el peso de la zeolita (46,500 g) por el porcentaje de peso seco de la zeolita (95.7%) obteniendo un peso seco de 44,500.5 g y con una concentración de Na (3.87 mg/g de Na en la zeolita al final del cultivo – 2.03 mg/g de Na en la zeolita al inicio) dando como resultado un flujo de 81.9 g Na/ciclo.

Módulo 2. El peso total de la zeolita se multiplicó por 76.9 % de peso seco, teniendo un peso seco de 35 758.5 g, la zeolita contenía de Na (3.71 mg/g de Na en la zeolita utilizada – 2.03 mg/g de Na de la zeolita al inicio) y el flujo total fue de 65.3 g de Na/ciclo.

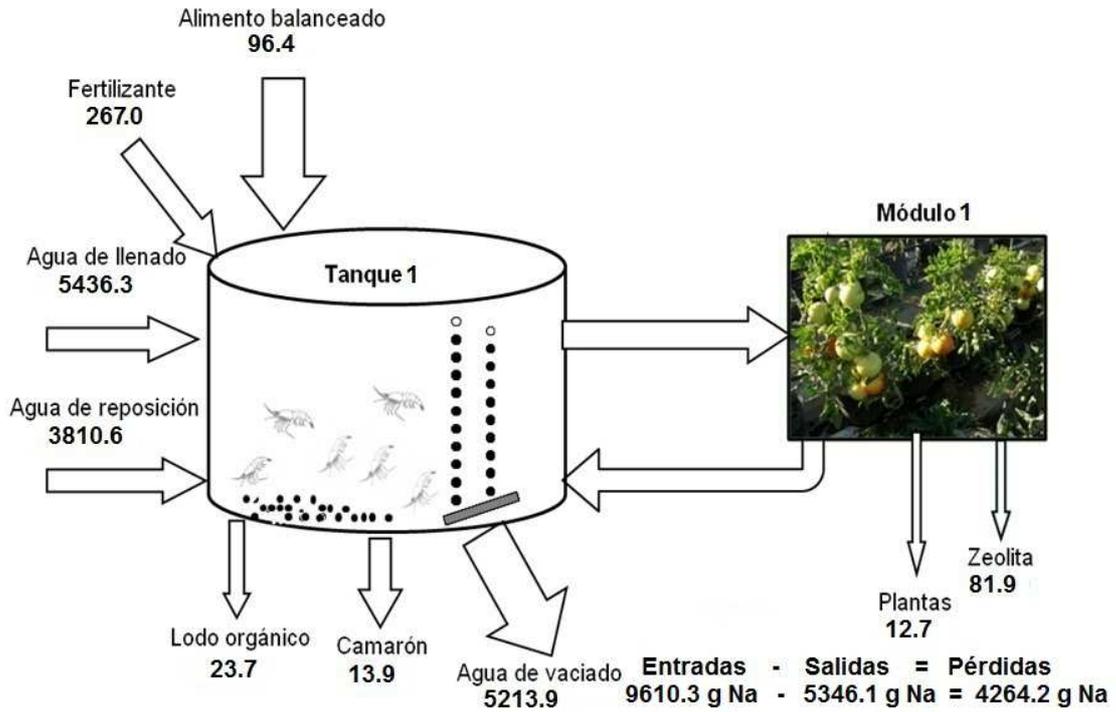


Fig. 36. Balance de sodio del tanque 1 y módulo 1 en g Na/ciclo.

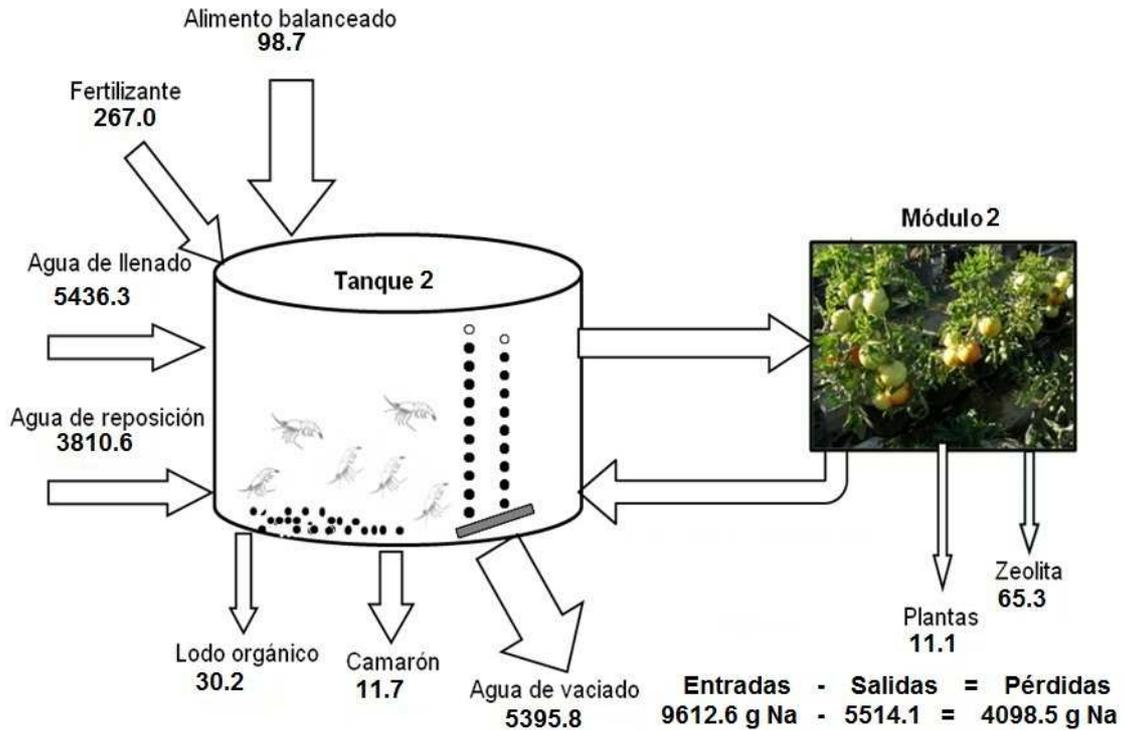


Fig. 37. Balance de sodio del tanque 2 y módulo 2 en g Na/ciclo.

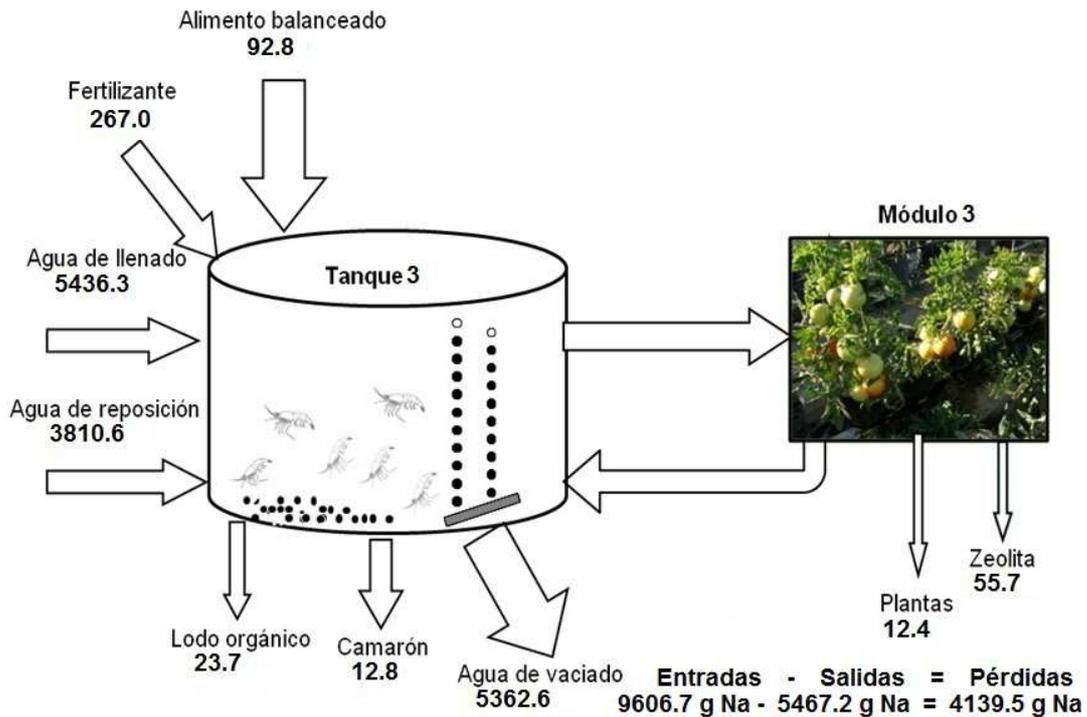


Fig. 38. Balance de sodio del tanque 3 y módulo 3 en g Na/ciclo.

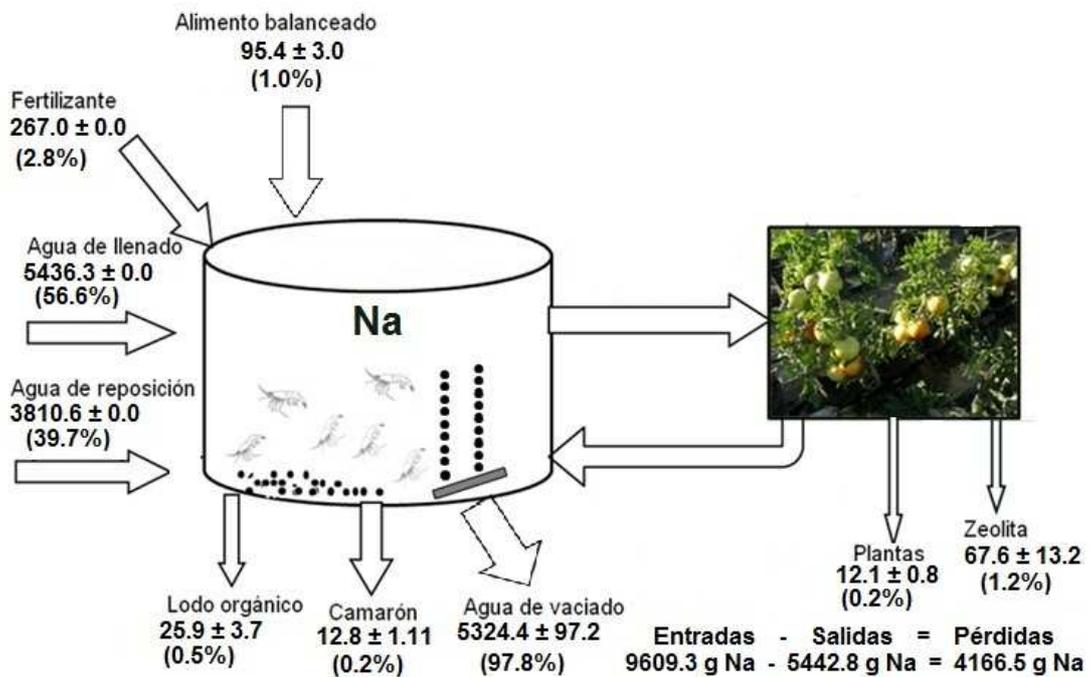


Fig. 39. Balance promedio de los 3 tanques y 3 módulos de tomate en g Na/ciclo. En paréntesis se incluyen los porcentajes relativos.

Módulo 3. Se multiplicó el peso total de zeolita por el porcentaje de peso seco siendo de 74.9%, obteniendo 34,842.4 g de peso seco de zeolita y al multiplicar por la diferencia de la concentración de Na entre la zeolita utilizada y la zeolita al inicio ($3.63 \text{ mg/g Na} - 2.03 \text{ mg/g Na} = 1.6 \text{ mg/g Na}$), dio 55.7 g Na/ciclo.

Balance de masas de potasio, magnesio, calcio y sodio

El monitorear las concentraciones de los iones mayoritarios (K, Mg, Ca y Na) dentro de un cultivo integrado (camarón-tomate), es de gran importancia para comprender y saber cuantitativamente la eficiencia del sistema en cuanto al presupuesto que ingresa y egresa. Nos permite también conocer la calidad del agua y entender los procesos biogeoquímicos involucrados en los cultivos a bajas salinidades y que tienen que ver con estos elementos.

Existen algunos estudios donde se menciona la importancia de los iones mayoritarios en el cultivo de camarón, trabajando con agua de mar diluida o con agua de pozo agregando algunos fertilizantes por la deficiencia de estos iones ya que los fertilizantes son importantes para incrementar la productividad primaria siendo los que constituyen el segundo ingreso en importancia después de los nutrientes. El gran reto en este tema es que las concentraciones mínimas y proporciones aceptables precisas de los iones mayoritarios para el cultivo de camarón marino aún se desconocen (Boyd y Thunjai, 2003).

Las concentraciones de sales de potasio, magnesio y sulfatos en aguas de pozo son relativamente bajas comparadas con el agua de mar, por tal razón en regiones como Alabama (Estados Unidos) es común agregar fertilizantes como muriato de potasio (cloruro de potasio) y Kmag® (magnesio, sulfato y potasio) para incrementar las salinidades a 2 y hasta 8 g/L, además de incrementar la supervivencia y la producción de camarón el potasio es proveedor de diversos beneficios para el buen desarrollo del cultivo (McNevin *et al.*, 2004).

La principal ruta de entrada de K y Mg en el presente estudio estuvo determinada por los fertilizantes agregados, los cuales comprendieron un 76% y un 44%, respectivamente. Mientras que la biomasa cosechada en camarón de cada ión fue del orden de 1.7 y 0.6%, respectivamente. La biomasa cosechada en plantas de tomate representó por su parte un 3.3% y 0.6% de estos iones.

Los flujos químicos de K, Mg, Ca y Na asociados al agua de vaciado representaron un 62.3%, 77.3%, 72.6 y 80.8%, respectivamente; siendo esta la principal ruta de salida de los mayoritarios, dichos porcentajes al ser relativamente elevados pueden constituir un problema para los suelos receptores de estos efluentes al exponerlos a estas concentraciones de sales, esto aunado a que algunos estudios registran que la salida más importante de nutrientes de las estanquerías de camarón es a través de los efluentes de descarga enriquecidos con nitrógeno y fosforo (Páez-Osuna, 2001).

Existe -en la literatura científica disponible- un estudio de un balance de potasio en un cultivo de baja salinidad realizado en Alabama, Estados Unidos donde se observó como la principal ruta o vía de entrada del potasio fue por medio de los fertilizantes (cloruro de potasio y sulfato de magnesio) con un 80%, mientras que la mayor ruta de salida del potasio fue a través de la infiltración en los estanques de suelos con un 44.7%, siguiéndole después el agua de vaciado con un 34.1%. Respecto a la biomasa cosechada en dicho estudio se obtuvo un 0.52% del potasio añadido (Boyd *et al.*, 2007).

7. CONCLUSIONES

(1) El desarrollo del cultivo integrado camarón-tomate tuvo resultados promisorios en cuanto al aprovechamiento del agua, recurso limitante en algunas regiones del mundo y que se ha vuelto más crítico su óptimo aprovechamiento con el cambio climático. El camarón cosechado alcanzó una talla de 13.9 g, el FCA fue de 1.6, y

se tuvo una supervivencia de 56.3%. Se obtuvieron 4 tallas del camarón cosechado (en número de individuos por libra): 41-50 (el 25% de la cosecha), 51-60 (64%), 61-70 (9%) y 71-90 (2%) y una producción equivalente a 3.9 ton/ha.

(2) Los parámetros físico-químicos principales responsables de la calidad del agua estuvieron dentro de los niveles óptimos propuestos por diversos autores (e.g., Boyd y Fast, 1992; Van Wyk *et al.*, 1999; Boyd, 2002), la temperatura del agua estuvo dentro del intervalo de 20.4 y 32.3 °C, el OD fue relativamente constante (9.07 ± 0.08 mg/L a las 6 hr y 8.99 ± 0.10 mg/L a las 18 hr) ya que el cultivo se mantuvo con un aireador, el pH varió como se esperaba su comportamiento por las mañanas con niveles más bajos que en las tardes debido a las tasas de fotosíntesis-respiración.

(3) Al realizar el cultivo integrado camarón-tomate se pudo observar lo efectivo del riego de esta planta por medio del efluente del cultivo de camarón rico en nitrógeno y fósforo con una producción de tomate comparable a aquella obtenida mediante un riego con solución nutritiva.

(4) Respecto al balance de potasio y magnesio la principal ruta de entrada de estos iones se dio a través de los fertilizantes contribuyendo con un 76.4% en el caso del potasio y con un 44.6% en el caso del magnesio. El potasio transformado convertido en biomasa del camarón cosechado representó apenas un 1.7% y el magnesio 0.6%. La mayor salida o pérdida de estos iones se dio a través del agua de descarga o vaciado con un 62.3% para el potasio y un 76.2% para el magnesio.

(5) Los resultados obtenidos en los balances de calcio y sodio muestran como las principales entradas de estos iones se dieron a través del agua de llenado junto con el agua de reposición de niveles superando estas el 80% del total de las entradas. El fertilizante y el alimento contribuyeron con un porcentaje menor al 1%, mientras que las mayores salidas de estos iones se asociaron con en el agua de vaciado, cuyos porcentajes oscilaron entre el 75% y 80%.

(6) El volumen de agua utilizado en el cultivo de camarón fue de 4.7 m³ de agua/kg de camarón. Al incluir la producción de ambos cultivos, tomate y camarón, el consumo se redujo a más de la mitad siendo de 2.1 m³ de agua/kg de camarón + tomate. Esto ilustra cómo se pueden producir dos productos de alta demanda haciendo un mejor aprovechamiento del agua; lo cual puede ser muy importante en zonas donde es escasa el agua y se dispone solamente de aguas subterráneas que no se aprovechan o explotan.

(7) Respecto a la distribución de cada elemento mayoritario en el camarón, se observó que el potasio, magnesio y sodio se concentraron con un porcentaje superior al 65% en el tejido muscular, mientras que el calcio mostró lo contrario, ya que con un porcentaje superior al 90% este elemento se concentró en la cabeza y el exoesqueleto, teniendo el músculo un carga de 7%.

(8) La distribución de los iones mayoritarios en los principales tejidos de la planta fue como sigue: el mayor porcentaje lo presentó el tallo (K, 45%; Mg, 51%; Ca, 56%; y Na, 82%), respecto al fruto, los iones que mostraron el mayor porcentaje fueron el potasio (37%) y el magnesio (24%). En la hoja solamente el calcio tuvo una carga importante (35%), mientras que la raíz no acumuló ninguno de los iones por arriba del 10%.

(9) La hipótesis planteada en esta investigación es aceptada ya que al trabajar el cultivo integrado camarón-tomate con agua de pozo, añadiendo magnesio y potasio se obtiene un resultado aceptable y promisorio, aprovechando de una manera más eficiente el agua; contribuyendo con ello a la sustentabilidad de la acuicultura.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, D.D., Boyd, C.E., Rouse, D.B., (2005). Effects of potassium, magnesium and age on growth and survival of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in inland low salinity well waters in west Alabama, *Journal of the World Aquaculture Society* 36 (3), pp. 416-419.
- Balbi, F., Rosas, J., Velásquez, A., Cabrera, T., Maneiro, C. (2005). Aclimatación a baja salinidad de camarón marino (*Litopenaeus vannamei*) provenientes de criaderos comerciales. *Revista de Biología Marina y Ocenografía* 40,109-115 p.
- Boyd, C., Boyd, C.E., Rouse, D.B. (2007). Potassium adsorption by bottom soils in ponds for Inland culture of marine shrimp in Alabama. *Journal of the World Aquaculture Society* 38, 85-91 p.
- Boyd, C., Boyd, C.E., Rouse, D.B. (2007). Potassium budget for inland, saline water shrimp ponds in Alabama. *Aquacultural Engineering* 36, 45-50 p.
- Boyd, C.E. (2001). Inland shrimp farming and the environment. *World Aquaculture* 32, 10-12 p.
- Boyd, C.E. (1990). *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Alabama: Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, 482 p.
- Boyd C.E., Tucker, C.S. (1998). *Pond Aquaculture Quality Management*. Dordrecht. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 720 p.
- Boyd C.E., D. Teichert-Coddington. (1995). Dry matter, ash and elemental composition of pond culture *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris*. *Journal of the World Aquaculture Society* 26, 165-173 p.
- Browdy, C.L., Bratvold, D., Hopkins, J.S., Stokes, A.D. (1998). Progressive pond management strategies for improving sustainable shrimp production. In: Jory, D.E., (1998), editor. *Proceedings of the first Latin American Shrimp Farming Congress*. Grupo de Ferias, Congresos y Eventos, Panama.
- Calvo, L. (1998). Use of feed trays to control pollution in shrimp culture pond and to reduce F.C.R. In: *Proceedings of the first Latin American shrimp farming*

- congress. Grupo de Ferias, Congresos y Eventos, Panama. Jory, D.E (Editor).
- Casillas, H.R., Magallón, B.F, Portillo, C.G., Páez-Osuna, F. (2006). Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds form Sonora, Mexico using two feeding strategies: trays and mechanical dispersal. *Aquacultural Engineering* 258, 289-298 p.
- Casillas, H.R., Nolasco, S.H., García G.T., Páez-Osuna, 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 p.
- Castille, F.L., Lawrence, A.,L. (1980). The effect of salinity on the osmotic, sodium and chloride concentrations in the hemolymph of euryhaline shrimp of the genus *Penaeus*, *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 64, 75-80.
- CESASIN 2008. Resumen de siembras y cosechas ciclo de producción, 2008.
- Cho, C., J. Hynes, K. Wood, Yoshida, H. (1994). Development of high-nutrient dense, low population diets and prediction of aquaculture wastes using biological approaches. *Aquaculture* 124, 293-305.
- Cruz, B, A., 2007. México: casi 70% del camarón que se produce es de acuicultura. *Aquahoy*. www.jornada.unam.mx.
- Davis, D.A., Arnold, C.R., (1998). The design management and production of a recirculating raceway system for the production of marine shrimp, *Aquacultural Engineering* 17, 193-211 p.
- Davis, D.A., Saoud, I.P., Boyd, C.E., Rouse, D.B., 2005. Effects of potassium, magnesium, and age on growth and survival of *Litopenaeus vannamei* post-larvae reared in inland low salinity well waters in west Alabama. *Journal of the World Aquaculture Society* 36, 403–406 p.
- Davis, D. A., Samocha, T.M., Boyd, C.E. (2004). Acclimating Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, to Inland, low-salinity waters. Southern Regional Aquaculture Center; SRAC Publication No. 2601.

- Ferraris, R.P., Parado-Esteba, F.D., Ladia, J.M., (1986). Effect of salinity on the osmotic, chloride, total protein and calcium concentrations in the hemolymph of the prawn *Penaeus monodon* (Fabricius), *Comparative Biochemistry and Physiology* 83A (49), pp. 701-708.
- Global study of shrimp fisheries. FAO Fisheries Technical Paper. No. 475. Rome, FAO. 2008. 331 p.
- Gutiérrez-Venegas, J.L. (2005). La industria del cultivo de camarón en México su historia, presente y proyección al futuro. *Industria Acuícola* 1, 16-22 p.
- Hajek, B.F., Boyd, C.E. (1994). Rating soil and water information for aquaculture. *Aquacultural Engineering* 13, 115-128 p.
- Hopkins, J.S., Sandifer, P.A., Browdy, C.L. (1995). A review of water management regimes which abate the environmental impacts of shrimp farming: In Browdy, C.L., y Hopkins, J.S., editors. *Swimming through trouble water*, proceedings of the especial session on shrimp farming, World Aquaculture Society, Baton Rouge, USA. 157-166 p.
- Industria acuícola (2009). Producción de camarón de acuicultura en México durante el 2008. 26-29 p.
- Kirkby, E. A., Mergel, K. (1967). Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition, Department of Agricultural Chemistry, the University, Leeds, 2, England.
- Lawrence, A.L., Velasco, M., Montoya, R., Samocha, T.M. (1998). Shrimp feed management effect on effluent water quality. *In: Jory, D.E. (Editor). Proceedings of the first Latin American shrimp farming congress. Grupo de Ferias, Congresos y Eventos, Panama.*
- Lucu, C., Towle, D.W., (2003). $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ -ATPase in gills of aquatic crustacea, *Comparative Biochemistry and Physiology part A* 135, 195-214.
- Mantel, L.H., Farmer, L.L. (1983). Osmotic and ionic regulation. *In: Mantel, L.H. (Ed.), The Biology of Crustacea, Volume 5, Internal Anatomy and Physiological Regulation. Academic Press, New York, USA, 54–162 p.*
- Mariscal-Lagarda, M.M., Páez-Osuna, F., Esquer-Méndez, J.L., Guerrero-Monroy., Romo del Vivar., Félix-Gastelum, R. 2012. Integrated culture of White shrimp

(*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) with low salinity groundwater: Management and production. *Aquaculture* 366-367 76-84 p.

McGraw, W.J., J. Scarpa (2003). Minimum Environmental potassium for survival of Pacificwhite shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) in freshwater. *Journal of Shellfish Research* 22, 263-267 p.

McGraw, W.J., D.A. Davis, D. Teichert-Coddington, D.B. Rouse. (2002). Acclimation of *Litopenaeus vannamei* post-larvae to low salinity: Influence of age, salinity endpoint and rate of salinity reduction. *Journal of the World Aquaculture Society* 33, 78-84 p.

McIntosh, R.P., Fitzsimmons, K. (2003). Characterization of effluent from an inland, low salinity shrimp farm: what contribution could this water make if use for irrigation. *Aquacultural Engineering* 27, 147-156 p.

McMurtry, M.R., Sanders, D.C., Hodson, R.G., Haning, B.C., Amand, P.C. (1997). Efficiency of water use of a integrated fish/vegetable co-culture system, *Journal of the World Aquaculture Society* 28, 420-428 p.

McNevin, A.A., Boyd, C.E., Silapajarn, O., Silapajarn, K. (2004). Ionic supplementation of pond waters for inland culture of marine shrimp. *Journal of the World Aquaculture Society* 35, 460–467 p.

Meraz, B.Y. (2008). Evaluación de la Calidad del Agua y Flujos Químicos Durante el Cultivo Semi-intensivo de Camarón Blanco (*Litopenaeus vannamei*) Utilizando Agua de Pozo con Baja Salinidad y Tasa De Recambio Cero. Universidad Nacional Autónoma de México. Unidad Académica Mazatlán.

Metcalf, F., Eddi, E. (1997). Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización, Ed. McGraw Hill, tercera edición, México, D.F., 1423 p.

Montgomery, C.D. (2002). Diseño y análisis de experimentos, Segunda edición, ed. Limusa Willey, México, D.F. 686 p.

Moss, M.S. (2002). Marine shrimp farming in the western hemisphere: Past problems, presents solutions and future visions, *Fisheries Science* 10, 1-20 p.

Moss, M.S, Arce, M.S., Argue, J.B., Ootshi, A.C., Calderon, O.R.F., Tacon, J.G.A. (2001). Greening of the blue revolution: efforts toward environmentally

- responsible shrimp culture. In: Proceedings of the special session on sustainable shrimp culture. Baton Rouge, USA. 1-19 p.
- Nunes, A., Velásquez, C. (2002). Baja salinidad, cultivo tierra adentro en Brazil y Ecuador. (2002). *Nicovita* 7, 4-7 p.
- Ogbonna, J. (2001). Reducing the impact of tropical shrimp trawling fisheries on the living marine resources through the adoption of environmentally friendly techniques and practices in Nigeria. In *Tropical shrimp fisheries and their impact on living resources*. FAO Fisheries Circular 974. Rome, FAO.
- Páez-Osuna, F. (2001a). The environmental impact of shrimp aquaculture: causes, effects, and mitigating alternatives. *Environmental Management* 28,131-140 p.
- Páez-Osuna, F. (Editor). (2001b). *Camaronicultura y Medio Ambiente*. México: U.N.A.M., ICML, PUAL y El Colegio de Sinaloa, 451 p.
- Páez-Osuna, F., Guerrero, S.R., Ruíz-Fernández, A.C., Espinoza-Angulo, R. (1997). Fluxes and mass balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farm in North-West Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 34, 290-207 p.
- Páez-Osuna, F., Guerrero, G.S., Ruiz, F.A. (1999). Discharge of nutrients from shrimp farming to coastal waters of the Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin* 38, 585-592 p.
- Páez-Osuna, F., Ramírez-Reséndiz, G., Ruiz-Fernández, A.C., Soto-Jiménez, M.F. (2007). La contaminación por nitrógeno y fósforo en Sinaloa: flujos, fuentes, efectos y opciones de manejo. México: U.N.A.M., El Colegio de Sinaloa, 304 p. (Serie: Lagunas Costeras).
- Páez-Osuna, F., Ruiz, F.A. (2005). Environmental load of nitrogen and phosphorus from extensive, semiintensive, and intensive shrimp farms in the Gulf of California Ecoregion. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology* 74, 681–688 p.
- Rakocy, J.E., Losordo, T.M., Masser M.P. (1992). Recirculating aquaculture tank production systems: integrating fish and plant culture, Southern Regional Aquaculture Center, 452, 1-6 p.
- Reid, B., Arnold, C.R. (1992). The intensive culture of the penaeid shrimp *Penaeus*

- vannamei Boone in a recirculating raceway system. *Journal of the World Aquaculture Society* 23, 146-153 p.
- Roy, L.A., Davis, D.A., Saoud, I.P., Boyd, C., Pine, H.J., Boyd, C.E. (2010). Shrimp culture in land low salinity waters. *Reviews in Aquaculture* 2, 191-208 p.
- Samocha, T.M., Hamper, L., Emberson C.R., Davis, A.D., McIntosh, D., Lawrence, A.L., Van Wyk, P.M. (2002). Review of some recent developments in sustainable shrimp farming practices in Texas, Arizona and Florida, *Journal of Applied Aquaculture* 12, 1-42 p.
- Samocha, T.M., Lawrence, A.L., Collins, C.A., Castille, F.L., Bray, W.A., Davies, C.J., Lee, P.G., Wood, G.F. (2004), Production of the pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in high density greenhouse enclosed raceways using low salinity groundwater. *Journal of Applied Aquaculture* 15, 1-19 p.
- Samocha, T.M., Lawrence, A.L., Collins, C.R., Emberson, C.R., Harvin, J.L., Van Wyk, P.M. (2001). Development of integrated, environmentally sound, inland shrimp production technologies for *Litopenaeus vannamei*. 64-75 p. In: *The New Wave Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Farming*. Browdy, C.L. and Jory, D.E. (Editors). Baton Rouge, USA.
- Samocha, T.M., Lawrence, A.L., Pooser, D. (1998). Growth and survival of juvenile *Penaeus vannamei* in low salinity water in a semi-closed recirculating system, *The Israeli Journal of Aquaculture* 50, 55-59 p.
- Sampeiro, R.G., (1999), *Hidroponia básica*, ed. DIANA, México, D.F., 153 p.
- Sampeiro, R.G., (1999), *Hidroponia comercial*, ed. DIANA, México, D.F., 106-107 p.
- Saoud, I. P., D. A. Davis, and D. B. Rouse. 2003. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture. *Aquaculture* 217, 373-383 p.
- Sowers, A.D., Tomasso, J.R. (2006). Production Characteristics of *Litopenaeus vannamei* in Low-salinity Water Augmented with Mixed Salts. *Journal of the World Aquaculture Society* 37, 214-217 p.
- Van Wyk, P.M., (1999). Economics of shrimp culture in recirculating aquaculture systems, Florida Department of Agriculture and Consumer Services (eds.), USA, 179-208 p.

- Van Wyk, P.M. (1999). Principles of recirculating system design. In: Farming marine shrimp in recirculating freshwater system, Florida Department of Agriculture and consumer Services (eds.), USA, 59-97 p.
- Vázquez, G.I., Tapia, B.A., Ramírez, R.D., Escobar, F.G., Velázquez, M.I., Parada, M.J., Arias, R.A., Ortiz, H.J., López, N.E., (2010), Manejo de cultivos hidropónicos bajo invernadero, México, D.F., 120-122 p.
- Zendejas, H. J. (1999). Manual para la alimentación y manejo del camarón, Purina, S.A de C.V., México, D.F., 20 p.
- Zhu, C., Dong, S., Wang, F., Huang, G., (2004). Effects of Na/K ratio in sea water on growth and energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei*, Aquaculture 234, 485-496.