

Determinación del flujo de agua para la biorremediación en sistemas acuícolas recirculados utilizando tapetes microbianos construidos

La cantidad de agua necesaria en los sistemas de producción aumenta con la intensificación; se han establecido tasas económicas de uso. Esta situación ha obligado a los productores a diseñar sistemas que les permitan seguir operando de manera eficiente, reduciendo la cantidad de agua requerida.

RICARDO JIMÉNEZ-MONTEALEGRE¹, JORGE ZAMORA-CASTRO² & GERARDO ZÚÑIGA-CALERO¹

Una propuesta práctica, de bajo costo y ambientalmente compatible que empieza a implementarse en la depuración de efluentes camaronícolas es el uso de tapetes microbianos. De manera natural, la biorremediación del agua es llevada a cabo por comunidades autótrofas y heterótrofas con una diversidad de cianobacterias, bacterias (púrpuras, reductoras y no reductoras de sulfato) y diatomeas. Estos organismos forman una biopelícula o tapete microbiano que actúa simultánea y sinérgicamente sobre los contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua.

En los sistemas de cultivo es posible inmovilizar a la comunidad de microorganismos que constituyen el tapete microbiano sobre una matriz inerte (no tóxica) de políester de baja densidad. Esta matriz está conformada por una estructura



Flujo (Tratamiento)	Salinidad (g L ⁻¹)	pH*	Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	Temperatura (°C)
A	28,25 ± 4,02 ^a	7,33 ± 0,16 ^a	4,98 ± 1,45 ^a	29,9 ± 1,8 ^a
B	24,22 ± 4,73 ^c	7,44 ± 0,23 ^a	5,70 ± 1,52 ^a	29,5 ± 1,9 ^a
C	31,53 ± 1,65 ^a	7,32 ± 0,16 ^a	5,16 ± 1,17 ^a	29,6 ± 1,8 ^a
D	27,69 ± 5,83 ^b	7,32 ± 0,17 ^a	5,42 ± 1,02 ^a	29,6 ± 1,8 ^a

Tabla 1. Valores promedio (± DE) de los principales parámetros del agua en los sistemas de recirculación. A: 1,5 ciclos h⁻¹, B: 2,0 ciclos h⁻¹, C: 2,5 ciclos h⁻¹, D: 3,5 ciclos h⁻¹. *Valores transformados por log (x) antes del análisis estadístico (P < 0,05). Las letras diferentes en la misma columna, indican que hay diferencia estadística (P < 0,05) (a > b > c).

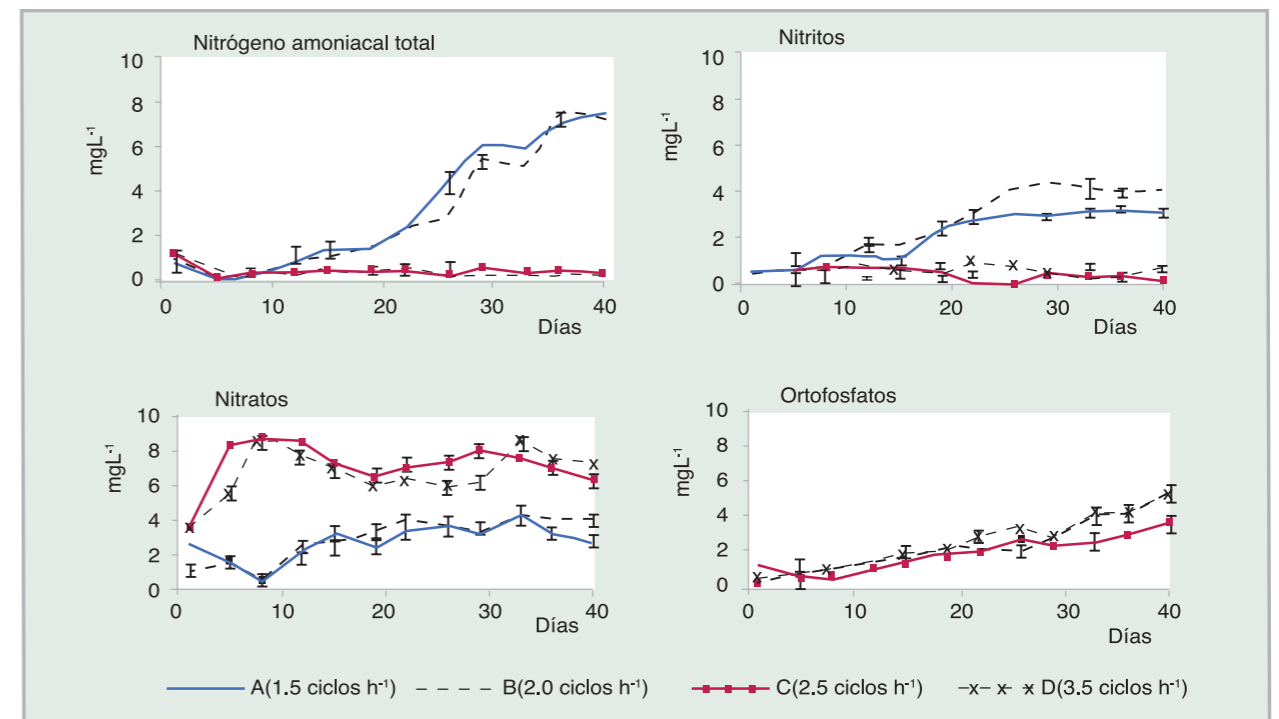


Figura 1. Fluctuación promedio (n = 3; ± DE) de las concentraciones de nitrógeno amoniacal total, nitritos, nitratos y ortofosfatos en sistemas de recirculación integrados con tapetes microbianos utilizando cuatro flujos de agua diferentes.

fibrosa de composición ligera y alta porosidad (con una alta relación superficie - volumen), que facilita la fijación estratificada de los microorganismos y el paso del agua residual a través del tapete microbiano. Esta tecnología, además de evitar el lava-

do de células del sistema, tiene también gran flexibilidad operacional a la hora de incorporarla al cultivo.

Materiales y métodos

Para el experimento se utilizaron 12 sistemas recirculados independien-

tes. Cada sistema consistió de un estanque principal unido al sistema de tratamiento conformado por dos estanques (A y B) de 80 L cada uno. En cada estanque se colocaron dos tapetes: uno con biomasa predominantemente algal (A) y otro con bio-

PROTEÍNAS Y GRASAS ANIMALES

con inmejorables características para alimentación de aves, cerdos, ganado de leche y carne, peces, camarones, mascotas, etc.

Alto contenido de energía
Alta digestibilidad de proteína
Alta disponibilidad de calcio y fósforo
Alta palatabilidad
Disponibilidad todo el año

NRA
NATIONAL RENDERERS
ASSOCIATION

Oficina para Latinoamérica
Sierra Candela 111 oficina 501
Lomas de Chapultepec
11000 México D.F., México

Tel: +(52 55) 5980-6080
Fax: +(52 55) 5980-6081
Correo electrónico: nramex@nralatinamerica.org

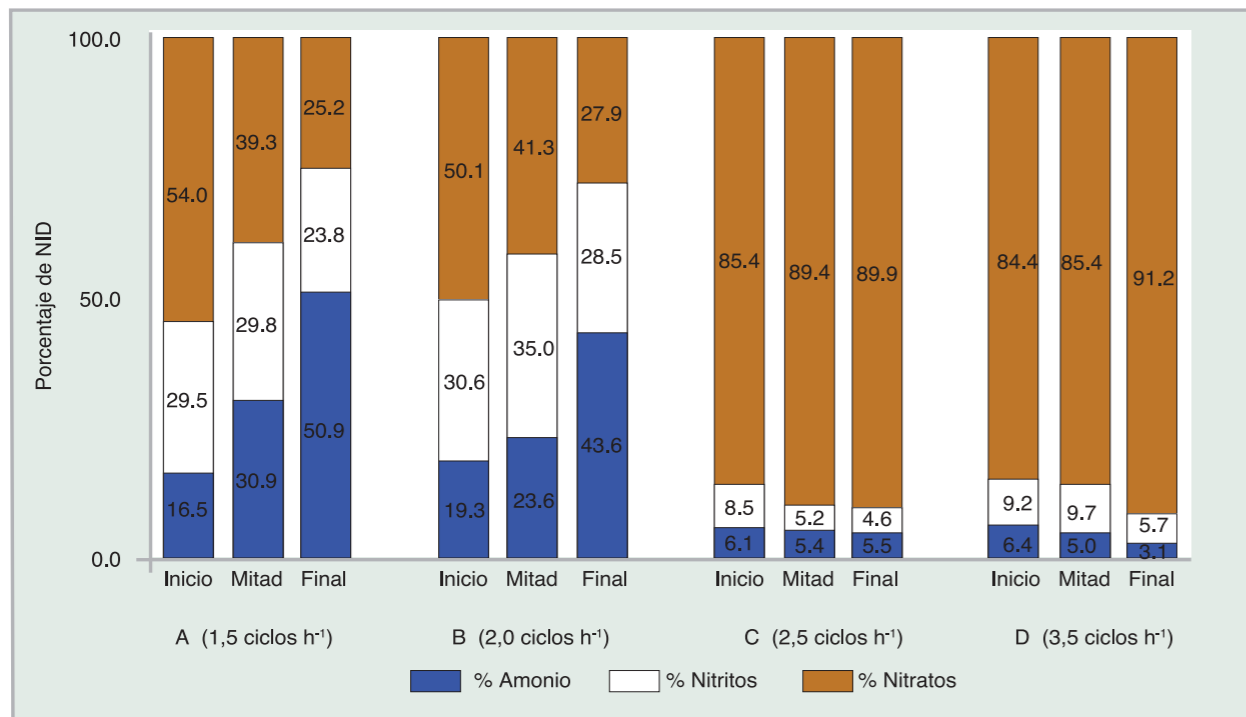


Figura 2. Porcentaje de las principales formas de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) al inicio (día 1 al 12), mitad (día 13 al 26) y final del experimento (día 27 a 40) en sistemas de recirculación integrados con tapetes microbianos utilizando cuatro flujos de agua diferentes.

El uso de tapetes microbianos para la eliminación de metabolitos en sistemas recirculados de acuicultura es una técnica novedosa y poco estudiada. La optimización de estos sistemas se podría lograr mediante la adaptación de condiciones físicas, químicas y biológicas que favorezcan a los microorganismos asociados.

masa predominantemente bacteriana (B). La recirculación del agua en el sistema se mantuvo mediante el uso de una bomba sumergible, colocada en el estanque principal.

Para la construcción de los tapetes microbianos algales (Tipo A) se colectaron muestras de suelo provenientes de fincas camaroneras alrededor del Golfo de Nicoya (Costa Rica). Simultáneamente, se colectaron muestras de biomasa algal provenientes de estanques de cultivo cercanos al laboratorio (Puntarenas, Golfo de Nicoya) utilizando una red de 80 µm de luz de malla. Una vez en el laboratorio, las muestras fueron resuspendidas en agua de mar estéril, filtradas, retrolavadas y resuspendidas en medio QA modificado, ya que con éste se obtuvieron los mejores crecimientos algales.

Los inóculos fueron sembrados en estanques al aire libre en los que se colocaron tiras de poliéster de baja densidad (Dacron®) de 70 cm de largo por 15 cm de ancho. Se prepararon 12 tapetes que fueron

fijados sobre una estructura de PVC en forma de "W". Cada uno de ellos fue colocado posteriormente en un estanque con flujo de agua constante de 8 L min⁻¹.

Para la preparación de los tapetes microbianos bacterianos (Tipo B), la colecta de microorganismos (cianobacterias y bacterias) se realizó mediante el raspado de sedimentos superficiales en los estanques donde se cultivan los camarones. Al igual que con los tapetes microbianos algales, las bacterias se sembraron sobre tiras de Dacron® y se colocaron sobre las estructuras de PVC. En este caso, los estanques se mantuvieron protegidos de la luz para favorecer el desarrollo de bacterias nitrificantes y evitar el crecimiento de organismos fotosintéticos.

Resultados

Las concentraciones de nitrógeno amoniacal total (NAT) aumentaron hasta casi 7.5 mg L⁻¹ en los tratamientos de menor flujo (A y B), y se mantuvieron con valores bajos

(siempre menores a 0.6 mg L⁻¹) en los tratamientos con flujos mayores (C y D). De manera similar, las concentraciones de nitritos aumentaron con el tiempo en los tratamientos A y B, llegando a tener valores superiores a 4.0 mg L⁻¹, mientras que en los tratamientos con mayores flujos la concentración final a los 40 días no superó los 0.7 mgL⁻¹.

La estructura de la comunidad microbiana incluyó microorganismos fotoautótrofos y heterótrofos (obligados y facultativos), así como una comunidad bacteriana de quimioautótrofos no cuantificada en este estudio. Los tapetes estuvieron dominados principalmente por cianobacterias de los géneros *Lyngbya* sp., *Trichodesmium* sp., y *Anabaena* sp. Las diatomeas de los géneros *Navicula* sp., *Pleurosigma* sp., *Skeletonema* sp., *Coccinodiscus* sp., *Thalassionema* sp., *Pseudo-nitzschia* sp., *Cylindrotheca* sp., *Thalassiosira* sp. y *Chaetoceros* sp., fueron el segundo grupo en importancia tanto en cantidad, número de especies,

ACUIPROCESOS

Diseño y Equipamiento de Proyectos Acuícolas

AQUA-LIFE PRODUCTS
BOMBA PARA TRANSFERIR JUVENILES DE CAMARÓN Y PECES; COSECHA PECES DE HASTA 600 GRAMOS

- Succión y descarga de 4" (100 mm)
- Cosecha de 1g hasta 9 kg
- Motor eléctrico de 7.5 HP
- Capacidad de 1 HP (0.75 kW)
- Gasto de 8 t/hr
- Máxima cabeza 370 gpm (1400 lpm)

La bomba y el contador se utilizan en conjunto

AquaScan Fishcounters
CONTADOR DE PECES

- Maneja tamaños de 1g a 1kg.
- Esta unidad es muy compacta y ligera y se puede mover fácilmente de un lugar a otro.
- Cada unidad puede contar aproximadamente 20.000 peces de 100 g por hora.
- El diámetro interno de la tubería es de 150 mm (6").

CSE 1600

FAIVRE
HELIOS 10 GRADER: PARA ALEVINES Y PECES PEQUEÑOS

HELIOS 10 tiene un alto grado de precisión con una enorme capacidad. Ligero y fácil de manejar, se adapta a cada situación. Hecho para satisfacer las necesidades de las granjas y/o criaderos. Compacto y ligero.

- 5 u 8 canales de clasificación de 1600 mm de longitud.
- Salidas de 8 x Ø 125 mm en ambos lados.
- Hecho de poliéster y acero inoxidable AISI 304L 316L/AISI.
- Un sistema de riego que se resuelve equipado con compuertas de regulación.
- Clasificador equipado con la tecnología SPS para trabajar a alta velocidad y sin ningún tipo de lesión.
- Velocidad ajustable de clasificaciones de manera electrónica.

CLASIFICADORA HELIOS 10

xpertSea
CUENTE Y MIDA ORGANISMOS ACUÁTICOS EN SEGUNDOS

XperCount 2
Simple. Rápido. Preciso.

Características. Balde robusto con tapa electrónica (pantalla táctil de 7 pgl); Dispositivo totalmente integrado; no requiere computador durante los conteos; Cuenta varios tipos de organismos.
Capacidad. Volúmenes de muestra desde 500 ml hasta 15 L; Mide organismos desde 1micra hasta algunos cm.
Material. Recubrimiento especial resistente al medio marino.
Electrónico. Batería de larga duración; No requiere toma de corriente en el campo; Adaptador de corriente universal (input 100 - 240V - output 5V, 1.2A).
Garantía. Un año; en piezas, mano de obra y asistencia técnica.

Sistema de gestión DataXpert™
Transferencia de datos. Sincronización con Bluetooth, Wifi & USB.
Información diaria. Conteo total de la muestra; Tamaño promedio; Distribución de las tallas; Población total (Calculadora); Foto detallada.
Análisis de series de tiempo. Tasas de crecimiento, de supervivencia y de eclosión de las poblaciones; Consumo de alimento; Correlaciones & informes personalizados.
Plataforma multi-usuarios. Acceso limitado o ilimitado para usuarios adicionales se puede conceder por el usuario principal.
Seguridad. Certificado SSL/HTTPS. Copias de seguridad automáticas & recuperación de los datos.

CATALOGO DE SERVICIOS DE ASESORÍA Y CONSULTORÍA

- ÁREA ACUACULTURA**
- Elaboración de Modelos de Negocio de proyectos acuícolas.
 - Elaboración de Proyectos y Planes de Inversión en proyectos acuícolas
 - Implementación y puesta en marcha de proyectos acuícolas
 - Diseños llave en mano de Proyectos para Centros de Investigación, Universidades, Unidades de producción, con garantía de funcionamiento.
 - Planes Maestros de Uso del Suelo
 - Diseño y Administración de Proyectos de Acuicultura Sustentable
 - Evaluación de Sitio para Desarrollos Urbanos, Habitacionales, Turísticos y Acuícolas

- ÁREA MEDIO AMBIENTE**
- Evaluación de Impactos Ambientales
 - Estudio y Elaboración de Manifestaciones de Impacto Ambiental (MIA)
 - Estudio y Elaboración de Informes Preventivos (IP) de Impacto Ambiental
 - Planeación y Desarrollo Sustentable de Cuentas Hidrológicas
 - Planeación y desarrollo Sustentable de Zonas Costeras

Acuicultura Servicios y Procesos, S.A. de C.V.

Agustín González Zaragoza
 ventas@acuiprocesos.com
 (asesoría, capacitación y ventas)
 contacto@acuiprocesos.com

Tel. +52 (33) 3632-4042
 Cel: (044) 33 1067 6563

Los tapetes construidos para este experimento tienen la capacidad de nitrificar el NAT, y esta capacidad puede verse mal aprovechada si el flujo de agua es bajo. Un flujo de agua mayor para lograr la efectiva eliminación de NAT implicaría un incremento en el gasto energético, lo cual deberá ser evaluado.

Grupo	Concentración inicial (x 10 ⁶ ind cm ⁻²)	Frecuencia relativa de individuos (%)	Concentración final (x 10 ⁶ ind cm ⁻²)	Frecuencia relativa de individuos (%)
Cianobacterias	0,38 ± 0,09	76	0,42 ± 0,07	79
Diatomeas	0,06 ± 0,02	14	0,11 ± 0,02	13
Clorófitas	0,02 ± 0,01	5	0,01 ± 0,01	4
Nemátodos	0,01 ± 0,01	3	0,03 ± 0,01	3
Otros	0,11 ± 0,02	2	0,09 ± 0,02	1

Tabla 2. Concentración inicial, final (± DE) y contribución relativa de los principales grupos de microorganismos asociados a los tapetes en un período de 40 días de cultivo.

como porcentaje relativo de células presentes en el tapete. Otros grupos como algunas clorofitas, nemátodos, ciliados y euglenoides, también estuvieron presentes durante todo el experimento.

Discusión

El nitrato es el producto final de la oxidación bacteriana del amonio – amoniaco. La oxidación de amonio a nitrito, y posteriormente a nitrato en el tapete B (microbiano bacteriano) estuvo probablemente relacionada con el proceso de nitrificación realizado por bacterias quimiolitotróficas de los géneros *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. En este sistema de cultivo, los nitratos debieron ser utilizados por los organismos fotosintéticos fijados en el tapete, sin embargo, su biomasa no fue sufi-

ciente como para provocar una disminución en su concentración. Por otro lado, se ha encontrado que algunas especies de cianobacterias y microalgas como *Synechococcus*, *Anabaena* y *Chlorella* utilizan el amonio primero que los nitratos, debido a la inhibición de la actividad de la enzima nitrito-reductasa.

En los sistemas de recirculación son frecuentes las altas concentraciones de nitratos, de hasta 300 - 400 mg L⁻¹. Se ha evaluado el efecto de altas concentraciones de nitrato en juveniles de *Penaeus vannamei* por períodos prolongados (5 - 6 semanas) encontrando que concentraciones de 435 - 440 mg L⁻¹ tienen un efecto negativo en la supervivencia y el crecimiento, siendo mayor este efecto en bajas salinidades. Por lo tanto, se deben buscar mecanismos

que permitan eliminar o al menos mantener su concentración baja. El uso de tapetes microbianos (como los utilizados en esta investigación) no parece ser una solución adecuada al problema de la eliminación de nitratos, por lo que deberán investigarse alternativas complementarias.

Los tapetes microbianos construidos constituyen comunidades biológicas que se desarrollan en un microgradiente ambiental que se modifica conforme se establecen los microorganismos constituyentes de la biopelícula. Durante la maduración del tapete es de esperar que se produzca una sucesión y estratificación de microorganismos de manera natural. Los aerobios obligados fotosintéticos han de establecerse en la superficie (primeros mm) y un conjunto de organismos diferentes,



Parámetro	Tratamiento			
	A	B	C	D
Pi (g)	4,75 ± 0,73 ^a	4,57 ± 0,75 ^a	4,57 ± 0,69 ^a	4,67 ± 0,84 ^a
Pf (g)	9,96 ± 1,51 ^a	10,65 ± 1,85 ^a	9,63 ± 1,57 ^a	9,20 ± 1,71 ^a
M (%)	32,2 ± 16,5 ^a	29,2 ± 18,7 ^a	32,0 ± 9,7 ^a	36,8 ± 19,0 ^a
GR(g d ⁻¹)	0,13 ± 0,01 ^a	0,15 ± 0,03 ^a	0,12 ± 0,01 ^a	0,11 ± 0,06 ^a
TEC (% peso d ⁻¹)	1,81 ± 0,15 ^a	2,09 ± 0,24 ^a	1,83 ± 0,06 ^a	1,66 ± 0,19 ^a
FCA (g g ⁻¹)	5,60 ± 0,6 ^a	4,70 ± 0,8 ^a	5,60 ± 0,3 ^a	6,50 ± 0,3 ^a

Tabla 3. Parámetros de crecimiento y alimentación de los camarones utilizados en el experimento (n = 3). A: 1,5 ciclos hr⁻¹; B: 2,0 ciclos hr⁻¹; C: 2,5 ciclos hr⁻¹; D: 3,5 ciclos hr⁻¹. Pi: peso inicial, Pf: peso final, M: mortalidad, GR: tasa de crecimiento, TEC: tasa específica de crecimiento, FCA: factor de conversión alimenticia. Las letras iguales en la misma fila, indican que no hay diferencia estadística (P > 0,05).

fundamentalmente en cuanto a sus requerimientos de energía metabólica y de oxígeno, han de formar un gradiente que finalizaría con organismos anaeróbicos reductores de sulfato, en las capas inferiores.

La biomasa microbiana del tapete crece, muere y resurge. Así se renueva. La cantidad de biomasa tiende a mantenerse relativamente constante una vez que se alcanza el equilibrio en cuanto a número y composición de especies. La composición de los tapetes microbianos construidos en este trabajo puede haber diferido en cuanto a las poblaciones fotosintéticas fijadas en la matriz ya que no se controló la composición de los inóculos. Sin embargo, eso suele permitir la pre-

sencia de procesos de mixotrofia o heterotrofia de manera simultánea y conlleva un eficiente reciclaje y utilización de nutrientes. Los microorganismos sometidos al experimento son frecuentes en la zona de colecta y siguen el mismo patrón de dominancia (cianobacterias, diatomeas y clorofitas) encontrado en otras investigaciones, sin embargo, en este trabajo la contribución relativa de microorganismos fotoautótrofos se mantuvo en una proporción 1.5 veces mayor a la señalada en otros estudios y cuatro veces menor en relación a las poblaciones de nemátodos.

En este trabajo se demostró que el flujo de agua posee un efecto importante en la capacidad

de transformación y asimilación de amonio y nitrito, pero no así en la disminución de las concentraciones de nitrato o fosfato. Es necesario cuantificar otras variables que podrían afectar el óptimo funcionamiento de los tapetes microbianos, tales como el tipo de organismos / especies presentes en el tapete, o la cantidad de biomasa microbiana requerida para eliminar una cantidad determinada de desechos.

*Los autores: 1Estación de Biología Marina, Escuela de Ciencias Biológicas Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 2Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla, México. Contacto: rjimenez@una.cr



ellos prosperan con YSI

YSI brinda Oxígeno Disuelto Óptico a la Industria Acuícola con el medidor manual **ProODO**. Sin membranas. Sin agitar. Sin tiempo de calentamiento. Sólo unas cuantas razones más por las que sus cultivos prosperarán con YSI.



YSI.com/proODO
+1 937 767 7241

YSI Incorporated es una marca de Xylem, cuyos 12,900 empleados resuelven los temas más complejos en el mercado acuícola global. ©2014 Xylem Inc.

xylem
Let's Solve Water