

Biológicos en Cultivos Hidropónicos: *Cómo los Microorganismos Beneficiosos Revolucionan la Agricultura Sin Suelo*

Por Domenico Pavone

La hidroponía y la agricultura en ambientes controlados representan una de las soluciones más eficientes ante la escasez de agua y tierra cultivable. Al prescindir del suelo, las plantas crecen en soluciones nutritivas acuosas o sustratos inertes (como fibra de coco, perlita o lana de roca). Estos cultivos permiten un ahorro de agua del 80% al 90% y una reducción de fertilizantes del 55% al 85% en comparación con la agricultura convencional en suelo, además de acelerar los ciclos de cultivo. A diferencia del suelo agrícola tradicional, que alberga una compleja red microbiana natural, los sistemas hidropónicos carecen de una microbiota autóctona que proteja las raíces. Así, la recirculación continua de la solución nutritiva en sistemas cerrados y la alta densidad de plantas crean un entorno idóneo para la propagación acelerada de patógenos vasculares y de raíz (como *Pythium spp.* o *Fusarium spp.*), donde una sola planta infectada puede comprometer toda la producción. La incorporación estratégica de microorganismos beneficiosos restablece la protección biológica natural en la rizosfera acuática, transformando un medio inerte en un ecosistema biológicamente activo y resiliente.

¿Qué microorganismos se pueden usar en cultivos hidropónicos?

Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR / PGPB)

Bacillus (*B. subtilis*, *B. velezensis*, *B. amyloliquefaciens*): Destacan por su capacidad de formar endosporas resistentes a condiciones adversas. Producen auxinas (AIA) y citoquininas que estimulan la elongación radicular, solubilizan fosfato y secretan lipopéptidos antimicrobianos (surfactina, fengicina e iturina) que destruyen las membranas de los patógenos.

Pseudomonas (*P. fluorescens*, *P. putida*, *P. chlororaphis*): Excelentes colonizadoras del rizoplaneo. Secretan sideróforos de alta afinidad (como la pioverdina) para secuestrar hierro y privar de este elemento a los hongos patógenos, inducen la Resistencia Sistémica Inducida y emiten compuestos orgánicos volátiles antimicrobianos.

Azospirillum (*A. brasilense*) y *Azotobacter* (*A. chroococcum*): Bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico que sintetizan fitohormonas inductoras del desarrollo de raíces secundarias y pelos radiculares, mejorando la absorción de agua y minerales.

Paenibacillus (*P. polymyxa*): Solubilizadores de fósforo que producen antibióticos peptídicos (polimixina, fusaricidina) y mitigan el estrés en la zona radicular.

Hongos Beneficiosos, Endófitos y Micorrizas

Trichoderma (*T. harzianum*, *T. asperellum*, *T. virens*): Hongos endófitos y rizosféricos altamente versátiles. Actúan mediante micoparasitismo directo, secretan enzimas líticas (quitinasas y glucanasas) que degradan la pared celular de patógenos, solubilizan P y Fe mediante enzimas y ácidos orgánicos e incrementan el rendimiento y la biomasa vegetal.

Hongos Micorrízicos Arbusculares (AMF) (*Glomus spp.*, *Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis mosseae*) y Endófitos

(*Serendipita indica*): Establecen simbiosis que extienden la red de absorción de agua y

macronutrientes (P y K), además de mejorar la tolerancia al estrés salino.



El investigador de la NASA Ray Wheeler revisando cebollas hidropónicas (centro), lechugas Bibb (izquierda) y rábanos (derecha). Imagen de: <https://en.wikipedia.org/wiki/Hydroponics>.

¿Qué Problemas Ayudan a Resolver los hongos y bacterias benéficos en cultivos hidropónicos?

Biocontrol de Patógenos:

Suprimen brotes devastadores de oomicetos y bacterias causantes de la podredumbre de raíz y marchitez, como *Pythium myriotylum*, *Pythium aphanidermatum*, *Fusarium oxysporum*, *Ralstonia solanacearum*, *Agrobacterium* (causante de la enfermedad de raíces cabelludas) y *Botrytis cinerea*. Entre los mecanismos para lograr este efecto están la competencia por nicho y nutrientes, antibiosis, producción de enzimas líticas e inducción de la inmunidad vegetal.

Mitigación del Estrés Salino u Osmótico:

La recirculación constante de nutrientes incrementa la conductividad eléctrica y la concentración de sodio y cloro. Así, las bacterias halotolerantes activan transportadores iónicos vegetales para mantener el equilibrio K/Na, producen

exopolisacáridos que atrapan los iones Na, sintetizan la enzima ACC deaminasa para reducir los niveles del etileno de estrés e inducen la acumulación de prolina osmoprotectora.

Optimización Nutricional y Reducción de Fertilizantes Químicos:

Solubilizan formas complejas de fósforo y potasio, y sintetizan sideróforos que incrementan la biodisponibilidad del hierro (Fe). De esta forma logran reducir la dosis de fertilizantes minerales sintéticos entre un 20% y un 80% sin comprometer el rendimiento ni la calidad comercial de los cultivos.

Mejora de la Calidad y Reducción de Nitratos:

En hortalizas de hoja (lechuga, rúcula, espinaca), la inoculación microbiana reduce la acumulación excesiva de nitratos foliares (un riesgo para la salud humana). También, incrementan los índices de clorofila, carotenoides, compuestos fenólicos

totales, capacidad antioxidante y contenido de aceites esenciales en plantas aromáticas como la albahaca.

En Tecnovita tenemos los Biológicos que hacen la diferencia



Los sideróforos de alta afinidad (como la pioverdina) secuestran hierro y privan de este elemento a los hongos patógenos, pero, ¿Qué hay de la planta?, ¿No se le priva a ella también de este elemento?

Pues no, la planta no se ve privada de este elemento; al contrario, los sideróforos bacterianos suelen incrementar sustancialmente la disponibilidad de hierro para el cultivo, ya que existe una marcada diferencia en la forma en que los hongos patógenos y las plantas superiores interactúan con los sideróforos bacterianos.

En el entorno acuoso de la hidroponía, el hierro libre tiende a oxidarse y precipitar fácilmente como hidróxido férrico insoluble (Fe^{3+}), volviéndose inaccesible, aquí es donde bacterias beneficiosas como *Pseudomonas* (productoras de pioverdina) y *Bacillus* (productoras de bacililbactina) secretan sideróforos de muy alta afinidad que atrapan el Fe^{3+} y lo mantienen disuelto en la solución nutritiva y la rizosfera.

El punto clave en todo esto es que algunos hongos y bacterias patógenas (como *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea* y *Alternaria* spp.) carecen de los receptores de membrana específicos para arrebatarse el hierro a estos complejos bacterianos, lo que limita severamente su crecimiento y capacidad infectiva. En el caso de la planta es diferente, ya que poseen mecanismos fisiológicos para asimilar el hierro de los sideróforos bacterianos, entre los cuales se pueden mencionar:

Reducción enzimática en la raíz: Las plantas dicotiledóneas activan enzimas quelato-reductasas y bombas de protones en la membrana de sus raíces y estas enzimas reducen el Fe^{3+} unido al sideróforo a su forma ferrosa (Fe^{2+}), liberando el mineral para que sea absorbido activamente por transportadores radicales.

Sinergia con exudados radicales: Compuestos orgánicos y fenólicos exudados por las raíces (como el ácido cafeico) cooperan con la microbiota estimulando la reducción del hierro y

facilitando su transporte hacia el interior del tejido vegetal.

Ciclo de rizofagia e intercambio: En la zona de absorción radicular, la planta puede absorber directamente complejos hierro-sideróforos o intercambiar el hierro mediante sus propios fitosideróforos.

En cultivos hidropónicos, en lugar de inducir deficiencias, la inoculación con bacterias productoras de sideróforos ha demostrado resolver problemas de clorosis férrica y aumentar la nutrición de las plantas. En pepino hidropónico, el uso de *Pseudomonas* productoras de pioverdina alivió eficazmente los síntomas de deficiencia de hierro. En lechuga en cultivo flotante, la inoculación con consorcios de *Pseudomonas* incrementó el contenido de Fe foliar en un 26% y multiplicó por 2 a 4 veces los niveles de clorofila y carotenoides. En tomate, fresa y trigo, las cepas de *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Azospirillum* secretoras de sideróforos incrementaron la acumulación de hierro tanto en raíz como en parte aérea.

Cómo aplicar biológicos de forma eficiente en cultivos hidropónicos

Para que la inoculación de bioinsumos en sistemas hidropónicos sea comercialmente viable y efectiva, es necesario considerar los siguientes factores técnicos:

Inoculación Temprana: Aplicar los microorganismos en las etapas iniciales (tratamiento de semillas / *biopriming* o inmersión de raíces de plántulas antes del trasplante). Esto permite que los microorganismos beneficiosos ocupen los nichos radiculares antes de que los patógenos logren colonizarlos.

Reinoculación: En sistemas hidropónicos de flujo continuo, las poblaciones bacterianas libres en la solución nutritiva pueden sufrir

un lavado rápido, disminuyendo su concentración incluso en 24 horas. Se recomienda realizar reinoculaciones periódicas programadas.

Tecnología de Encapsulación: El uso de microcápsulas o perlas de alginato (2-3 mm) protege a las células microbianas frente a fuerzas hidráulicas, variaciones bruscas de la conductividad eléctrica y agentes oxidantes, asegurando una liberación sostenida de propágulos durante 10 a 14 días.

Compatibilidad con Sistemas de Desinfección: La aplicación de biocidas (cloro, peróxido de hidrógeno) o radiación UV-C elimina tanto patógenos como microorganismos inoculados si se aplican de forma simultánea en la solución. La solución consiste en utilizar cepas encapsuladas y coordinar los ciclos mediante monitoreo, suspendiendo la inoculación durante picos oxidativos y activándola cuando los niveles de desinfectante caigan por debajo de los umbrales de compatibilidad.

Insectos plaga en cultivos hidropónicos

En los cultivos hidropónicos y en agricultura en ambientes controlados, la ausencia de suelo reduce ciertos patógenos, pero el ambiente cálido, húmedo y sin depredadores naturales favorece la rápida proliferación de plagas de insectos y ácaros:

Los pulgones (*Macrosiphum euphorbiae*) y Mosca Blanca (*Bemisia tabaci*): Succionan la savia de las hojas, debilitan la planta, secretan melaza que fomenta hongos e introducen virus fitopatógenos. Los trips causan plateado foliar, deformaciones y transmiten virus. Lepidópteros y Minadores como *Tuta absoluta* y orugas en general dañan el parénquima foliar y los frutos en cultivos como el tomate hidropónico. Los nemátodos agalladores de la raíz (*Meloidogyne incognita* y *M. javanica*) son

más comunes en suelo, pero pueden infectar sustratos inertes o propagarse a través de agua contaminada, destruyendo el

sistema radicular y obstruyendo la absorción de nutrientes.



Producción de lechuga mediante un sistema hidropónico vertical. Imagen de: [De Anda y Shear 2017](#).

Control biológico de insectos plaga en cultivos hidropónicos

Para evitar los pesticidas químicos que pueden provocar fitotoxicidad en el agua recirculante o generar resistencia rápidamente, se emplean diversas bacterias y hongos entomopatógenos.

Hongos Entomopatógenos y Endófitos como *Beauveria bassiana*, que actúa como un agente de doble biocontrol como hongo epífito y endófito, coloniza los tejidos de la planta y ataca activamente a pulgones (*Macrosiphum euphorbiae*) y otras plagas, al tiempo que mitiga el efecto de hongos patógenos foliares como *Botrytis cinerea* y *Alternaria alternata*. Por su parte *Metarhizium anisopliae* parasita larvas e insectos plaga (como *Tuta absoluta*) penetrando su cutícula.

Trichoderma, además de proteger las raíces, produce metabolitos secundarios y desencadena la Resistencia Sistémica

Inducida (ISR), alertando a las defensas de la planta contra el ataque de insectos y nematodos.

También hay bacterias con acción insecticida como *Bacillus thuringiensis* que sintetiza cristales proteicos (endotoxinas) que, al ser ingeridos por larvas de lepidópteros y dípteros, destruyen su tracto digestivo de forma selectiva e inofensiva para el ganado o consumidores. Otra bacteria es *Pseudomonas* spp. (*P. fluorescens*, *P. chlororaphis*) que producen cianuro de hidrógeno (HCN) y lipopéptidos cíclicos que ejercen un efecto insecticida y nematocida, además de activar vías defensivas (ácido jasmónico y salicílico) contra la mosca blanca. *Bacillus subtilis* mediante la liberación de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y surfactina, estimula la inmunidad vegetal frente a mosca blanca y trips en invernaderos.

Entre las estrategias de aplicación más efectivas para el control de insectos plaga

en cultivos hidropónico destacan la aspersión foliar que se recomienda para hongos entomopatógenos (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*) y *Bacillus thuringiensis*, asegurando un contacto directo sobre el cuerpo de los insectos o sobre el follaje donde se alimentan. También es posible el establecimiento del microorganismo como endófito donde la inoculación previa de las semillas o sumergimiento de plántulas permite que *B. bassiana* se instale dentro de los tejidos de la planta, ofreciendo una barrera protectora continua interna frente a plagas picadoras-chupadoras. Además, es posible la inoculación al depósito de nutrientes agregando las cepas en la solución o sustrato previniendo el establecimiento de nemátodos agalladores en el área radicular.

Uso de microorganismos en forrajes verdes hidropónicos

La aplicación de microorganismos en la producción de forraje verde hidropónico (cebada, trigo, maíz y avena) es una práctica en crecimiento que permite resolver uno de los mayores retos de este sistema: el control de mohos por alta humedad sin usar químicos tóxicos para el ganado, logrando a la vez aumentos significativos en la masa vegetal.

Un paso clave es el pre-tratamiento de semillas donde se remojan durante las 12-24 horas de pre-germinación con soluciones

inoculadas con *Bacillus subtilis*, *Trichoderma* o consorcios de Microorganismos Eficaces (EM) creando un escudo biológico inicial alrededor del grano.

Dada la alta densidad de siembra y constante humedad, el forraje es muy susceptible a hongos como *Fusarium* y *Aspergillus*. La inoculación microbiana inhibe estos patógenos de forma segura para la nutrición animal.

En ensayos con cebada y trigo mostraron que aplicaciones de Microorganismos Eficaces incrementaron significativamente la altura del brote, la masa radicular y el rendimiento total de forraje fresco por bandeja.

Además, el forraje enriquecido con microorganismos beneficiosos ha mostrado una mayor digestibilidad in vivo de la materia seca, la proteína cruda y la fibra cuando es consumido por el ganado o animales menores.

La co-inoculación hidropónica con *Azospirillum brasilense* y *Bacillus subtilis* incrementa la biomasa de las plántulas hasta en un 36%, optimizando el contenido nutricional y la masa seca radicular, mientras que la inoculación de plántulas de trigo con consorcios que combinan cianobacterias (*Anabaena cylindrica*, *Calothrix* sp.) y bacterias promotoras (*Pseudomonas fluorescens*, *Chryseobacterium balustinum*) aumenta la síntesis natural de auxinas (AIA), la altura del brote y el peso seco foliar.



Los forrajes verdes hidropónicos son una alternativa para la alimentación animal. Imagen de [Kazi Abdus Sobur et al., 2025.](#)

Biofilms en cultivos hidropónicos: Ventajas y desventajas

La presencia de biofilms por parte de microorganismos puede ser beneficiosa dependiendo de dónde se desarrollen.

En la superficie de las raíces: Esto es lo ideal ya que es altamente beneficioso. La producción de exopolisacáridos (EPS) y la formación de biofilms son procesos clave para que bacterias beneficiosas (como *Bacillus subtilis* o *Pseudomonas* spp.) logren adherirse a la superficie de las raíces y resistir el lavado provocado por el flujo continuo de la solución nutritiva. Las cepas que carecen de genes clave para la matriz de biofilm sufren reducciones drásticas en su capacidad de colonizar raíces.

Por otro lado, la matriz gelatinosa rica en EPS que conforma el biofilm atrapa físicamente los iones de sodio, reduciendo la toxicidad salina en la raíz y mejorando la retención de agua en la interfaz raíz-solución.

Además, el biofilm bacteriano actúa como un escudo físico y químico que ocupa los sitios de anclaje, impidiendo la colonización y penetración de hongos y oomicetos patógenos como *Pythium*, *Fusarium* o *Botrytis*.

En la infraestructura y equipos: Esto puede conllevar a su acumulación no controlada en las paredes de las tuberías de PVC, conductos y goteros de riego incrementando la resistencia hidráulica y obstruyendo los emisores. También se ha observado que los biofilms no patógenos formados en las tuberías de plástico facilitan la adherencia y persistencia de microorganismos no deseados o patógenos de plantas e incluso humanos (como *Salmonella*), que luego se diseminan mediante el agua recirculante. Además, un crecimiento excesivo de biomasa microbiana en los canales de flujo puede reducir la disponibilidad de oxígeno disuelto en la solución nutritiva y dificultar la absorción adecuada de nutrientes.

Biofilms probióticos autorregulados:

Equipos de investigación de la Universidad de Pensilvania (Penn State) han desarrollado cepas de microorganismos probióticos diseñados para formar un biofilm controlado que utiliza circuitos de quorum sensing. Este biofilm se autorregula para no obstruir los conductos y libera compuestos que previenen la fijación de patógenos y bacterias nocivas.

A diferencia del suelo donde la difusión es lenta, la supervivencia de las bacterias en

medios hidropónicos depende críticamente de la velocidad con la que producen adhesinas para formar el biofilm antes de ser arrastradas por el flujo hidráulico. Se ha estudiado la aplicación de oxidantes de bajo impacto o desinfectantes basados en plata/peróxido de hidrógeno aplicados periódicamente para disolver los biofilms incrustados en tuberías de riego sin eliminar la capa protectora microbiana ya establecida en las raíces de las plantas.

Ya ves la importancia que tienen los microorganismos en los cultivos hidropónicos, debes tener a los buenos antes que los malos aparezcan y causen estragos. Un plan coordinado de aplicación inteligente de estos microbios, podrán generar los máximos beneficios. Y tu ¿ya usas microorganismos en tus cultivos hidropónicos? Contáctanos para saber más.



Domenico Pavone es biólogo y especialista en protección vegetal. 20 años como profesor universitario y autor de artículos científicos en microbiología, biotecnología, biocontrol de plagas y enfermedades agrícolas.