



Guía Técnica de Producción de fresas en Sistemas Hidropónicos en Ambientes Controlados



CIPAC AIP

Centro de Investigación y Producción en
Ambiente Controlado AIP

PRESENTACIÓN

El Centro de Investigación de Agricultura en Ambiente Controlado (CIPAC-AIP), reconocido por su liderazgo en innovación y tecnología agrícola, se dedica a impulsar la producción sostenible y de alta calidad mediante el uso de sistemas controlados. Como institución clave en la modernización del sector agrícola, el CIPAC-AIP tiene como objetivo fomentar prácticas avanzadas que permitan incrementar la productividad, optimizar el uso de los recursos naturales y fortalecer la competitividad de los productos agrícolas a nivel nacional e internacional.

En este contexto, el cultivo de fresas en sistemas hidropónicos representa una de las alternativas más eficientes y rentables dentro de la agricultura de ambiente controlado. La fresa es un fruto altamente valorado en los mercados debido a su sabor, contenido nutricional y versatilidad en la industria alimentaria. Sin embargo, su producción tradicional enfrenta desafíos como la estacionalidad, el manejo de plagas y enfermedades, y la degradación del suelo.

El cultivo en sistemas hidropónicos ofrece soluciones innovadoras para superar estas limitaciones, proporcionando un entorno controlado donde las plantas pueden desarrollarse en condiciones óptimas, maximizando su rendimiento y calidad. En particular, el sistema NGS (New Growing System) ha demostrado ser una de las mejores opciones para la producción de fresas, permitiendo un uso eficiente del agua y los nutrientes, así como una mayor productividad en comparación con otros métodos hidropónicos.

Las principales ventajas de la producción de fresas en sistemas hidropónicos incluyen:

- **Eficiencia en el uso de recursos:** Los sistemas hidropónicos reducen significativamente el consumo de agua y fertilizantes mediante la recirculación de soluciones nutritivas.
- **Calidad homogénea y mayor rendimiento:** El control preciso de las condiciones ambientales permite obtener frutos uniformes en tamaño, color y sabor, asegurando una producción estable y de alta calidad.
- **Producción durante todo el año:** La capacidad de regular factores clave como la luz, temperatura y humedad permite evitar la estacionalidad, garantizando un suministro continuo para los mercados.
- **Menor incidencia de plagas y enfermedades:** Al eliminar el contacto directo con el suelo y mantener un ambiente controlado, se reduce significativamente la presencia de patógenos y plagas.

Este manual técnico está diseñado para productores, técnicos agrícolas, investigadores y profesionales del sector interesados en implementar sistemas hidropónicos para la producción de fresas en ambientes controlados. A través de este documento, se proporcionará información detallada sobre el diseño del sistema, selección de materiales, manejo agronómico, control de plagas y enfermedades, nutrición, cosecha y estrategias de optimización.

El objetivo final del CIPAC-AIP con esta guía es brindar a los productores las herramientas necesarias para mejorar su rentabilidad y sostenibilidad, promoviendo el uso de tecnologías innovadoras que contribuyan al desarrollo de una agricultura más eficiente y competitiva.

Al adoptar las prácticas descritas en este manual, los productores no solo incrementarán su productividad y calidad, sino que también fortalecerán su resiliencia ante los desafíos del cambio climático y las exigencias del mercado global, consolidando un modelo de producción sostenible para el futuro de la agricultura.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de fresas (*Fragaria x ananassa*) es una de las actividades agrícolas de mayor importancia económica en la producción hortofrutícola a nivel mundial. Su alto valor en el mercado se debe a sus propiedades nutricionales, su demanda creciente y su versatilidad en la industria alimentaria. Sin embargo, la producción convencional enfrenta desafíos significativos, como la degradación del suelo, el uso ineficiente de recursos hídricos, la alta incidencia de plagas y enfermedades, y la estacionalidad del cultivo.

En respuesta a estos desafíos, los sistemas hidropónicos en ambientes controlados han surgido como una alternativa eficiente y sostenible para la producción de fresas. Estos sistemas permiten optimizar el uso de agua, nutrientes y espacio, garantizando condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas y reduciendo el impacto ambiental. Entre los diversos enfoques hidropónicos, el sistema NGS (New Growing System) destaca como una de las opciones más avanzadas y eficientes para el cultivo de fresas, debido a su diseño modular, capacidad de recirculación y eficiencia en el uso de insumos.

Los sistemas hidropónicos ofrecen múltiples ventajas para la producción de fresas:

- **Mayor eficiencia en el uso del agua:** Se reduce hasta un 90% del consumo hídrico en comparación con los métodos tradicionales de cultivo en suelo.
- **Mayor control sobre las condiciones de crecimiento:** Permiten regular parámetros como temperatura, humedad, pH, oxígeno y nutrientes, optimizando el desarrollo de las plantas.
- **Producción sin limitaciones estacionales:** Gracias al control ambiental, es posible cultivar fresas durante todo el año con una oferta estable para el mercado.
- **Reducción de plagas y enfermedades:** Al no estar en contacto con el suelo, disminuye la proliferación de patógenos y la necesidad de agroquímicos.
- **Mayor rendimiento y calidad uniforme:** Las fresas cultivadas en sistemas hidropónicos presentan tamaño homogéneo, mejor sabor y mayor vida postcosecha en comparación con las producidas en suelo.

Este manual tiene como objetivo proporcionar a productores, investigadores, técnicos y profesionales del sector agrícola una guía técnica detallada para la implementación de sistemas hidropónicos en ambientes controlados para la producción de fresas. A lo largo del documento, se abordarán los aspectos clave del cultivo, desde los requerimientos básicos de las plantas hasta el diseño del sistema hidropónico, manejo agronómico, control fitosanitario y estrategias de optimización para maximizar la eficiencia y rentabilidad del sistema.

El desarrollo de este manual responde a la necesidad de modernizar la producción de fresas y adaptarla a los desafíos actuales de la agricultura, promoviendo sistemas sostenibles, eficientes y altamente productivos que permitan consolidar este cultivo como una alternativa viable para el futuro de la producción hortofrutícola.

*Las fresas contienen una **enzima llamada fragarina**, que les da su característico aroma dulce. Esta enzima, combinada con compuestos volátiles como el **furaneol**, es responsable del intenso olor y sabor que distingue a las fresas maduras. Además, el **furaneol** también se encuentra en piñas y otras frutas tropicales, lo que explica la similitud en ciertas notas aromáticas.*



Importancia Económica y Comercial

El cultivo de fresas en sistemas hidropónicos no solo representa una solución agrícola eficiente, sino también una gran oportunidad económica. Su alto valor en el mercado y su creciente demanda internacional hacen que la producción en ambientes controlados sea una alternativa viable y rentable para los productores.

1. Demanda Global y Nacional de Fresas

La fresa es una de las frutas más consumidas en el mundo, con una demanda en constante crecimiento en mercados como Estados Unidos, Europa y Asia. Su uso en la industria de alimentos procesados, repostería y jugos ha impulsado su comercialización. En Panamá, el consumo de fresas depende en gran medida de las importaciones, lo que genera una oportunidad para la producción local.

2. Rentabilidad del Cultivo en Hidroponía

- **Mayor rendimiento por metro cuadrado:** Los sistemas hidropónicos permiten una densidad de plantación más alta y un uso eficiente del agua y los fertilizantes.
- **Reducción de costos por plagas y enfermedades:** Al estar en un ambiente controlado, se minimizan las pérdidas por enfermedades del suelo y ataques de insectos.
- **Cosecha continua:** La producción de fresas en hidroponía no está limitada por las estaciones, lo que permite una oferta constante y estabilidad en los ingresos del productor.

3. Oportunidades de Mercado y Nichos de Alto Valor

- **Producción local para sustituir importaciones:** Panamá importa una gran cantidad de fresas cada año. La producción local en sistemas hidropónicos puede suplir parte de esta demanda, reduciendo costos de importación y ofreciendo fresas más frescas.
- **Mercado de fresas orgánicas e hidropónicas:** Los consumidores están cada vez más interesados en productos sin pesticidas y cultivados de manera sostenible, lo que abre oportunidades para los productores que implementen certificaciones y prácticas agroecológicas.
- **Exportaciones a mercados especializados:** Con el adecuado manejo postcosecha y certificaciones de calidad, la producción panameña de fresas hidropónicas podría abrirse paso en mercados internacionales de alto valor.

La creciente demanda de fresas y el interés por métodos de producción sostenibles hacen de la hidroponía una estrategia clave para el desarrollo del sector agrícola en Panamá y la región.

Ventajas de la Producción en Indoor Farming



El cultivo de fresas en sistemas hidropónicos en ambientes controlados ofrece numerosas ventajas que contribuyen a mejorar la eficiencia y rentabilidad de la producción. A continuación, se detallan los beneficios más importantes:

Producción sin estacionalidad y mayor estabilidad en el mercado

Los sistemas de cultivo en ambientes controlados permiten **regular las condiciones climáticas**, eliminando las limitaciones impuestas por las estaciones. Esto posibilita una **producción continua durante todo el año**, garantizando una oferta estable y permitiendo a los productores acceder a mercados en cualquier época sin depender de temporadas específicas.

Eficiencia en el uso de agua y nutrientes

- **Reducción del consumo de agua:** Los sistemas hidropónicos en ambientes controlados pueden reducir hasta un **90% el uso de agua**, ya que el recurso es recirculado y reutilizado de manera eficiente.
- **Optimización de la absorción de nutrientes:** Al suministrar soluciones nutritivas directamente a las raíces, se evita el desperdicio de fertilizantes y se mejora la absorción de los elementos esenciales para el crecimiento.
- **Reducción de la contaminación ambiental:** Al minimizar el uso de agroquímicos y fertilizantes, se disminuye la lixiviación y contaminación de suelos y cuerpos de agua.

Control de plagas y enfermedades sin uso excesivo de agroquímicos

- **Menor incidencia de patógenos:** Al eliminar el suelo del proceso productivo, se reducen significativamente los problemas relacionados con plagas y enfermedades transmitidas por el suelo.
- **Ambiente controlado:** Factores como la humedad, temperatura y ventilación pueden ajustarse para evitar condiciones favorables para la proliferación de hongos, bacterias y plagas.

- **Reducción en el uso de pesticidas:** La aplicación de control biológico y el manejo integrado de plagas permiten minimizar el uso de agroquímicos, lo que hace que la producción sea más sostenible y segura para el consumo humano.

Calidad homogénea y mayor vida postcosecha

- **Frutos uniformes:** El control preciso de las condiciones de crecimiento permite obtener fresas de **tamaño, color y sabor homogéneos**, lo que aumenta su atractivo en los mercados.
- **Mayor tiempo de conservación:** Las fresas cultivadas en ambientes controlados presentan **una vida postcosecha más larga**, ya que se reducen los factores de deterioro como la contaminación por microorganismos y los daños físicos.
- **Mayor competitividad en el mercado:** La posibilidad de ofrecer un producto de alta calidad y libre de residuos químicos favorece el acceso a mercados de exportación y nichos especializados como el de productos orgánicos e hidropónicos.

La implementación de sistemas hidropónicos en ambientes controlados no solo **mejora la rentabilidad del cultivo**, sino que también **reduce el impacto ambiental y garantiza un suministro constante de fresas de alta calidad**. Estas ventajas hacen que esta técnica sea una de las más eficientes y sostenibles dentro del sector agrícola moderno.

Contexto Regional

El sector de fresas en Panamá enfrenta diversos desafíos debido a factores ambientales, tecnológicos y económicos. A pesar del creciente interés en la producción local, la infraestructura y el acceso a tecnología avanzada siguen siendo limitantes importantes. A continuación, se detallan los principales retos:

Dificultades del sector de la fresa en Panamá:

1. Clima Tropical:

- **Descripción:** La fresa es un cultivo que prospera en climas templados. En Panamá, las elevadas temperaturas y la alta humedad dificultan su producción en campo abierto, afectando la calidad y el rendimiento de los frutos.

2. Escasez de Tecnología Especializada:

- **Descripción:** La implementación de invernaderos, sistemas hidropónicos y control ambiental es aún incipiente en comparación con otros países productores. Esta falta de infraestructura limita la capacidad de los productores para optimizar las condiciones de cultivo.
- **Referencia:** El MIDA ha reconocido la necesidad de impulsar el agroturismo y la actividad agrícola mediante la facilitación de trámites y apoyo a los productores locales. mida.gob.pa

3. Costos de Inversión Inicial Elevados:

- **Descripción:** La instalación de sistemas controlados requiere infraestructura avanzada, capacitación técnica y acceso a insumos especializados, lo que representa una barrera significativa para pequeños y medianos productores.

-

4. Dependencia de Importaciones y Contrabando:

- **Descripción:** La mayoría de las fresas consumidas en el país son importadas, lo que genera fluctuaciones de precios y limita la oferta local. Además, el contrabando de productos agropecuarios, incluidas las fresas, afecta negativamente a los productores nacionales al introducir mercancías sin controles sanitarios adecuados. mida.gob.pa
- **Referencia:** Según el MIDA, en 2022 se registraron 80 retenciones de casos agrícolas relacionados con contrabando, incluyendo fresas, con una valoración de 149,527.43 balboas. mida.gob.pa

5. Dificultad en la Adaptación de Variedades:

- **Descripción:** Las variedades tradicionales de fresa no siempre se adaptan a las condiciones locales de Panamá, lo que requiere experimentación y selección de genotipos óptimos para garantizar una producción eficiente y rentable.

6. Limitaciones en Extensión y Capacitación Técnica:

- **Descripción:** La falta de programas de extensión agrícola y capacitación técnica limita la adopción de prácticas modernas y tecnologías avanzadas entre los productores de fresas.
- **Referencia:** El MIDA, a través de su programa PROAGROTUR, busca otorgar supervisión técnica y asesoramiento en materia agropecuaria y turística para el beneficio de los productores, lo que indica la necesidad de fortalecer estas áreas. mida.gob.pa+2mida.gob.pa+2mida.gob.pa+2

7. Infraestructura y Logística Deficientes:

- **Descripción:** Las deficiencias en infraestructura vial y sistemas logísticos dificultan la distribución eficiente de las fresas desde las zonas de producción hasta los mercados, afectando la frescura y calidad del producto.

8. Acceso Limitado a Financiamiento:

- **Descripción:** Los productores de fresas en Panamá enfrentan dificultades para acceder a financiamiento adecuado que les permita invertir en tecnologías modernas y expandir sus operaciones.

9. Competencia Internacional:

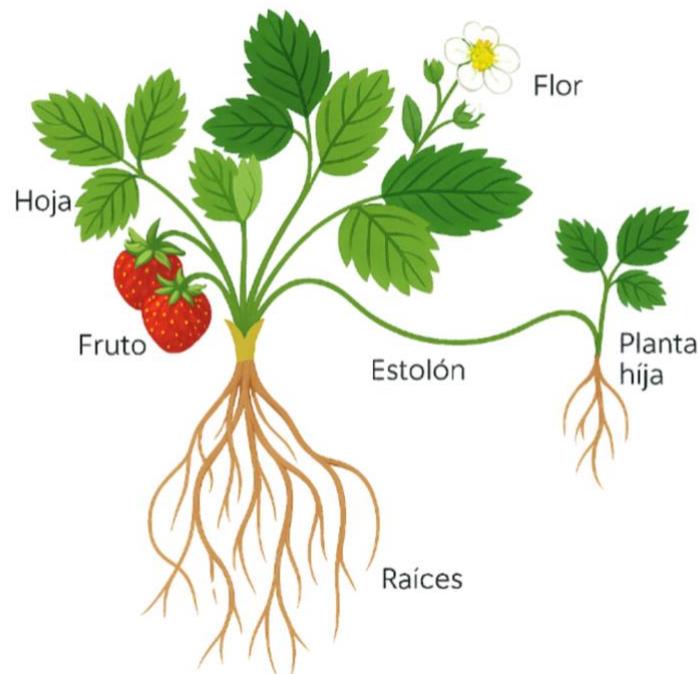
- **Descripción:** La competencia con países que tienen una producción de fresas más establecida y costos de producción más bajos representa un desafío para los productores panameños en términos de precios y calidad.

10. Sensibilidad a Plagas y Enfermedades:

- **Descripción:** La fresa es susceptible a diversas plagas y enfermedades que pueden afectar significativamente la producción si no se implementan medidas de manejo integradas y efectivas.

Abordar estos desafíos requiere una estrategia integral que incluya inversión en infraestructura, capacitación técnica, políticas públicas de apoyo, investigación y desarrollo, y fortalecimiento de las cadenas de valor. La colaboración entre el sector público y privado es esencial para transformar la producción de fresas en Panamá en una actividad sostenible y competitiva

Características de la Planta: Botánica y Morfología de la fresa



La fresa (*Fragaria × ananassa*) pertenece a la familia botánica Rosaceae y es uno de los frutos rojos más apreciados en el mundo debido a su sabor característico, atractivo visual, contenido nutricional y beneficios para la salud. Técnicamente, la fresa es considerada una planta herbácea perenne de ciclo corto, aunque en cultivo comercial generalmente se maneja como anual para maximizar su productividad y calidad.

Botánica General

- Nombre científico: *Fragaria × ananassa* Duchesne
- Familia botánica: Rosaceae
- Origen: Es un híbrido surgido de la combinación natural entre dos especies americanas: *Fragaria virginiana* (originaria de Norteamérica) y *Fragaria chiloensis* (originaria de Sudamérica, principalmente Chile).
- Ciclo de vida: Perenne con manejo generalmente anual en sistemas comerciales.

Morfología y Características de la Planta

1. Raíces: La planta posee un sistema radicular fibroso, poco profundo pero muy denso y ramificado, lo que permite una alta eficiencia en la absorción de nutrientes. Esta característica la hace particularmente apta para sistemas hidropónicos donde las raíces se benefician de soluciones nutritivas altamente oxigenadas.

2. **Corona o Cuello:** Es la parte más importante y sensible de la planta de fresa, desde donde emergen las raíces hacia abajo y las hojas, flores y estolones hacia arriba. Mantener esta zona en buenas condiciones sanitarias es fundamental para prevenir enfermedades y asegurar un crecimiento vigoroso.

3. **Hojas:** Las hojas son trifoliadas, es decir, cada hoja está compuesta por tres folíolos ovalados y dentados. Las hojas jóvenes suelen ser de color verde claro, tornándose verde oscuro conforme maduran. La actividad fotosintética de las hojas determina en gran medida el rendimiento productivo del cultivo, especialmente bajo condiciones controladas.

4. **Estolones:** Son tallos modificados (runners) que crecen horizontalmente a partir de la corona de la planta y generan nuevas plantas (plántulas). En la producción comercial, el manejo adecuado de los estolones es clave: frecuentemente se eliminan para evitar que la planta madre consuma demasiada energía en su producción, aunque pueden usarse estratégicamente para propagar nuevas plantas.

5. **Flores:** Las flores de la fresa son blancas con cinco pétalos, hermafroditas (tienen órganos masculinos y femeninos en la misma flor), y suelen agruparse en inflorescencias. La calidad de la polinización (que puede ser manual o mediante insectos polinizadores en ambientes controlados) determina el tamaño, forma y desarrollo uniforme del fruto.

6. **Fruto:** Aunque comúnmente se piensa que el fruto es la fresa entera, botánicamente la fresa es un "falso fruto" o infrutescencia, ya que el verdadero fruto son los pequeños aquenios (semillas visibles) que cubren la superficie. La parte roja, carnosa y jugosa es en realidad el receptáculo floral maduro. La calidad del fruto depende de factores como la nutrición equilibrada, manejo adecuado del agua, temperatura, iluminación y protección contra enfermedades.

Importancia en la Producción Hidropónica

Debido a sus características morfológicas particulares, la planta de fresa es especialmente apta para sistemas hidropónicos avanzados como el NGS (New Growing System):

- Las raíces fibrosas absorben con eficiencia nutrientes en soluciones altamente oxigenadas.
- El manejo controlado de estolones y hojas permite optimizar el crecimiento vegetativo y reproductivo, maximizando rendimientos.
- La sensibilidad de la corona al exceso de humedad y patógenos es mucho más controlable en ambientes hidropónicos cerrados y bien oxigenados.

En resumen, un conocimiento detallado de la botánica y morfología de la planta de fresa es fundamental para ajustar el manejo técnico y asegurar el máximo rendimiento y calidad en sistemas de cultivo hidropónico

Condiciones Óptimas para el Crecimiento

El éxito del cultivo de fresas en sistemas hidropónicos depende de la gestión precisa de los factores ambientales y agronómicos.

- **pH del sustrato y solución nutritiva:** Se recomienda un pH entre 5.5 y 6.5, ya que fuera de este rango se reduce la absorción de nutrientes esenciales.

- **Sustratos recomendados:** La hidroponía permite prescindir del suelo, pero es necesario un medio de soporte adecuado. Los más utilizados incluyen fibra de coco, perlita y mezclas de turba, debido a su capacidad de retención de humedad y aireación.
- **Densidad de plantación:** Se recomienda establecer entre 8 a 12 plantas por metro cuadrado, dependiendo del sistema utilizado y de la variedad cultivada.

Las fresas cultivadas en sistemas hidropónicos en ambientes controlados suelen tener niveles más altos de vitamina C y antioxidantes en comparación con aquellas cultivadas en campo abierto. Esto se debe a la precisión con que se pueden ajustar los nutrientes y las condiciones ambientales, optimizando las propiedades nutricionales y organolépticas del fruto..



Factores Ambientales Clave

El control preciso de las variables ambientales en la producción hidropónica de fresas es esencial para garantizar un crecimiento óptimo y la producción de frutos de alta calidad.

Temperatura

- Óptima: 15°C - 25°C.
- Límites críticos: >30°C puede inducir estrés térmico, afectando la floración y el cuajado del fruto.
- Estrategias de control: Uso de sistemas de refrigeración o ventilación, especialmente en climas cálidos.

Humedad Relativa

- Rango recomendado: 65% - 80%.
- Impacto: Un ambiente demasiado seco puede causar deshidratación en los tejidos vegetales, mientras que un exceso de humedad favorece la proliferación de enfermedades fúngicas.
- Manejo: Sistemas de nebulización y ventilación para regular la humedad en el ambiente de cultivo.

Luz

- Fotoperiodo óptimo: 12 a 16 horas de luz diurna.
- Intensidad: 250 - 450 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (recomendada para producción óptima en sistemas hidropónicos con iluminación LED).
- Manejo lumínico: Uso de luces LED de espectro ajustable en sistemas de invernadero para optimizar la fotosíntesis y el desarrollo vegetativo.

Dióxido de Carbono (CO₂)

- Concentración ideal: 700 a 1,000 ppm en sistemas cerrados.
- Beneficio: Un nivel adecuado de CO₂ mejora la eficiencia fotosintética, aumentando la tasa de crecimiento y la producción de frutos.
- Control: Implementación de inyección de CO₂ en cultivos protegidos para optimizar el rendimiento.

El éxito de la producción de fresas en sistemas hidropónicos en ambientes controlados depende del manejo preciso de los factores ambientales, la selección de variedades óptimas y la implementación de estrategias de monitoreo y ajuste continuo.



Diseño del Sistema hidropónico



CIPAC AIP

Centro de Investigación y Producción en
Ambiente Controlado AIP

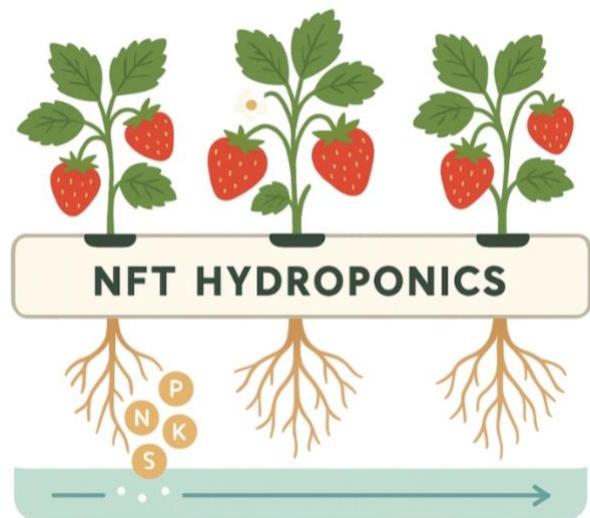
Selección del Sistema Hidropónico para la Producción de Fresas

La selección correcta del sistema hidropónico es fundamental para garantizar el éxito y la sostenibilidad en la producción de fresas en ambientes controlados. Existen diversas opciones tecnológicas que pueden utilizarse, cada una con sus propias ventajas y desventajas. Para elegir el sistema más adecuado es importante evaluar factores como la eficiencia en el uso de agua y nutrientes, rendimiento productivo, facilidad de manejo, costos y la adaptabilidad a distintas condiciones climáticas.

A continuación, profundizamos en el análisis comparativo de los sistemas más utilizados actualmente para el cultivo de fresas: el NFT (Nutrient Film Technique), el NGS (New Growing System), DWC (Deep Water Culture o raíz flotante), Aeroponía, y cultivo en sustrato con fertirrigación por goteo.

Comparativa Detallada de los Principales Sistemas Hidropónicos

1. Sistema NFT (Nutrient Film Technique)



El sistema NFT es uno de los métodos clásicos en hidroponía, que consiste en circular continuamente una película muy fina de solución nutritiva por canales o tubos, donde las raíces de las plantas permanecen expuestas y reciben oxígeno directamente del aire.

Ventajas Detalladas:

- **Alta eficiencia hídrica:** Se estima que usa hasta un 80% menos agua que el cultivo tradicional en suelo, gracias a la recirculación constante del agua.
- **Espacio optimizado:** Se puede implementar verticalmente o en varios niveles, mejorando el aprovechamiento del espacio en ambientes cerrados.

- Buena calidad sanitaria del cultivo: Al eliminar el contacto con el suelo, reduce considerablemente el riesgo de plagas y enfermedades.
- Ciclos productivos acelerados: Al contar con nutrientes disponibles continuamente, las plantas pueden acelerar su crecimiento, permitiendo varias cosechas al año.

Desventajas y limitaciones:

- Necesidad de control estricto: La interrupción del flujo por fallas eléctricas o mecánicas puede afectar rápidamente la salud de las plantas, por lo que requiere vigilancia constante.
- Sensibilidad climática: La solución nutritiva puede calentarse o enfriarse rápidamente según las condiciones externas, necesitando sistemas adicionales para controlar la temperatura del agua.

2. Sistema NGS (New Growing System)

El sistema NGS es una innovación reciente que mejora significativamente el sistema NFT tradicional. Utiliza un diseño vertical con varios niveles internos que permiten un flujo de agua en cascada, mejorando la oxigenación y distribución de nutrientes.



Ventajas Detalladas):

- Optimización superior del espacio: Puede multiplicar por dos o tres la producción por metro cuadrado respecto a sistemas convencionales, gracias al cultivo vertical.
- Altísima eficiencia en recursos: Se reportan ahorros de hasta un 80% en agua y fertilizantes respecto a otros métodos, debido a su diseño cerrado y recirculante.
- Alta productividad: El entorno perfectamente oxigenado y nutrido incrementa considerablemente el rendimiento productivo, obteniendo frutos uniformes, firmes y de calidad premium.
- Menos riesgos de enfermedades: El diseño cerrado y oscuro del sistema reduce el crecimiento de algas y hongos en las raíces, disminuyendo notablemente el riesgo fitosanitario.

Desventajas y limitaciones:

- Alta inversión inicial: Requiere infraestructura especializada y de mayor complejidad técnica, incluyendo bombas, sistemas automatizados y material de construcción específico.
- Manejo técnico avanzado: Exige capacitación continua para garantizar el control exacto de variables como el flujo del agua, nutrientes y saneamiento del sistema.



3. Sistema DWC (Deep Water Culture o Raíz Flotante)



El DWC es un sistema sencillo en el cual las raíces están constantemente sumergidas en una solución nutritiva que se mantiene oxigenada mediante burbujeo continuo.

Ventajas Detalladas:

- **Simplicidad estructural:** Bajo costo inicial y muy pocos componentes móviles, lo que facilita el mantenimiento, especialmente en pequeñas escalas.
- **Alta eficiencia en el uso de agua y nutrientes:** El agua se reutiliza constantemente con pérdidas mínimas.
- **Crecimiento acelerado:** En condiciones ideales, permite un desarrollo rápido debido a la continua disponibilidad de nutrientes y oxígeno.

Desventajas y limitaciones:

- **Dificultad de manejo a grandes escalas:** Puede ser complicado controlar condiciones uniformes de nutrientes y temperatura en estanques muy grandes.
- **Riesgo de baja oxigenación:** Especialmente en climas cálidos, puede presentarse falta de oxígeno en las raíces, afectando negativamente la producción.

3. Sistema Aeropónico



En este método, las raíces crecen suspendidas en una cámara de aire y se pulverizan periódicamente con una niebla muy fina de solución nutritiva.

Ventajas Detalladas:

- **Máxima eficiencia en uso de recursos:** Utiliza la mínima cantidad de agua y nutrientes necesarios, siendo ideal en situaciones donde el recurso hídrico es escaso.
- **Crecimiento intensivo:** La óptima oxigenación radicular acelera significativamente el desarrollo vegetal, obteniendo cosechas más rápidas.
- **Alta calidad de frutos:** Permite una concentración superior de sólidos solubles, mejorando la calidad organoléptica del producto (sabor más dulce).

Desventajas y limitaciones:

- **Altísima complejidad técnica:** Requiere sistemas muy sofisticados y una vigilancia continua.
- **Alta vulnerabilidad:** Cualquier problema en el sistema de pulverización o bomba puede provocar daños rápidos y significativos al cultivo.

5. Cultivo en Sustrato con Fertirrigación por Goteo

Este sistema, aunque no es estrictamente hidropónico en agua, utiliza sustratos inertes (fibra de coco, perlita) regados por goteo con solución nutritiva.



Ventajas Detalladas:

- **Muy alto rendimiento por planta:** Las raíces tienen gran estabilidad, proporcionando condiciones óptimas para un alto rendimiento productivo.
- **Fácil manejo y escalabilidad:** Es sencillo de operar y tiene una gran capacidad de expansión a gran escala.

- Excelente adaptabilidad climática: Funciona bien en diversas condiciones ambientales con ajustes mínimos en el manejo.

Desventajas y limitaciones:

- Eficiencia hídrica variable: Si no se realiza recirculación, se generan desperdicios de agua y nutrientes.
- Costo recurrente en sustrato: Requiere renovación frecuente del sustrato, aumentando costos operativos.

Implementación Técnica y Operativa del Sistema NFT



El sistema NFT (Nutrient Film Technique) es uno de los métodos hidropónicos más populares debido a su eficiencia, simplicidad y excelente rendimiento en la producción de fresas. A continuación, se explican detalladamente los pasos y consideraciones técnicas esenciales para instalar y operar exitosamente este sistema, asegurando así un ambiente óptimo para el desarrollo de las plantas.

Instalación del Sistema NFT

La instalación correcta del sistema NFT es clave para maximizar la productividad. Los siguientes aspectos técnicos deben ser cuidadosamente considerados:

1. Estructura Física y Ubicación:

- Los canales NFT deben colocarse sobre estructuras firmes y estables que soporten su peso y faciliten el mantenimiento.
- Ubicar el sistema en un área con fácil acceso al agua y electricidad, así como buena ventilación e iluminación natural o artificial.

2. Inclinación de los Canales:

- Los canales deben tener una inclinación suave entre 1% a 2% (es decir, 1-2 cm de pendiente por cada metro lineal), permitiendo un flujo continuo y uniforme de la solución nutritiva.
- Una pendiente incorrecta puede ocasionar acumulación de agua o deficiencia en la entrega de nutrientes.

3. Selección de Materiales:

- Utilizar canales de PVC grado alimenticio, de color blanco o tonos claros que reduzcan el calentamiento y crecimiento de algas.
- Considerar materiales resistentes a la corrosión y fáciles de limpiar y desinfectar.

Manejo Operativo y Mantenimiento

Un manejo eficiente y rutinario del sistema NFT garantiza un ambiente saludable para el crecimiento radicular y óptima nutrición de las plantas:

1. Caudal y Profundidad del Agua:

- Mantener una película fina y constante de solución nutritiva, con un caudal recomendado entre 1 a 2 litros por minuto, dependiendo del tamaño del canal.
- Evitar que las raíces permanezcan completamente sumergidas, asegurando una adecuada oxigenación.

2. Monitoreo Regular:

- Revisar diariamente el correcto funcionamiento de las bombas, flujo del agua y calidad general de la solución nutritiva.
- Verificar constantemente los canales para detectar posibles bloqueos, raíces acumuladas o presencia de residuos.

3. Higiene del Sistema:

- Realizar limpiezas periódicas cada 2-4 semanas, dependiendo del crecimiento radicular y condiciones ambientales.
- Utilizar productos desinfectantes autorizados y seguros para eliminar algas, bacterias y hongos que puedan afectar la salud de las plantas.

Prevención y Manejo de Emergencias

Para minimizar riesgos asociados con cortes de energía o fallas técnicas en el sistema, se recomiendan las siguientes acciones preventivas:

1. Sistemas de Respaldo:

- Contar con fuentes de energía alternativas (generadores eléctricos o baterías) que garanticen la circulación continua de agua ante emergencias eléctricas.

2. Inspecciones de Emergencia:

- Desarrollar un protocolo de inspección rápida para actuar inmediatamente frente a bloqueos, fugas o fallas en el sistema hidráulico.
- Capacitar al personal para que puedan reconocer y solucionar rápidamente los problemas técnicos más comunes.

Recomendaciones Finales para un Manejo Óptimo

- Capacitar constantemente al personal encargado del sistema NFT en aspectos técnicos y operativos.
- Llevar un registro detallado del monitoreo y mantenimiento preventivo para identificar patrones o problemas recurrentes.
- Realizar ajustes periódicos en la infraestructura física según la evolución y crecimiento del cultivo.

Siguiendo estas indicaciones técnicas y operativas, el sistema NFT permitirá alcanzar un excelente rendimiento productivo, frutos de alta calidad y una operación altamente eficiente y rentable.

MANEJO DEL CULTIVO

Establecimiento del Cultivo

El éxito de una plantación hidropónica de fresas comienza con la selección de plántulas de alta calidad y su correcto establecimiento en el sistema de producción. Existen tres métodos principales de establecimiento: propagación por semillas, micropropagación y trasplante de plántulas enraizadas o tipo "frigo".

Propagación por Semillas



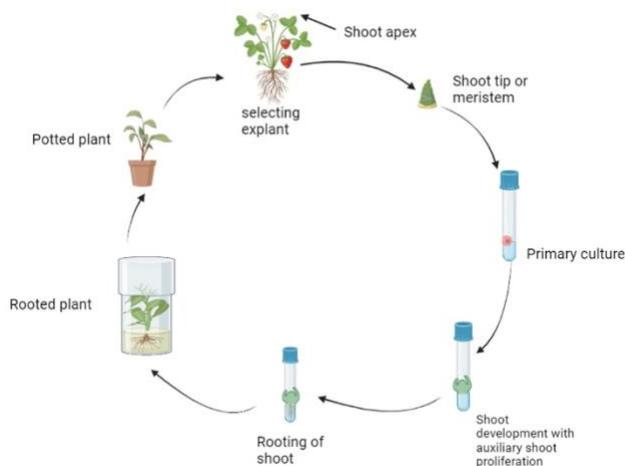
La propagación por semillas se usa principalmente en programas de mejoramiento genético y producción de nuevas variedades, ya que las plantas pueden presentar variabilidad genética.

La germinación requiere estratificación fría para romper la dormancia, manteniendo las semillas a 4°C por cuatro a seis semanas antes de la siembra. Se recomienda un medio aireado como

turba y perlita con un pH de 5.5 a 6.0 y temperatura de 18°C a 22°C. Las plántulas emergen entre 10 y 21 días después de la siembra.

Debido a la heterogeneidad genética, este método no es el más común en producción comercial.

Micropropagación de Fresas



La micropropagación in vitro es ampliamente utilizada para la producción comercial de fresas de alta calidad, ya que permite generar plántulas uniformes, libres de patógenos y con alto vigor.

El proceso consta de cuatro fases principales. En la fase de establecimiento se cultivan tejidos meristemáticos en condiciones estériles. En la fase de multiplicación se utilizan reguladores de crecimiento como citocininas y auxinas para estimular la generación de nuevos brotes. Luego, en la fase de enraizamiento, se promueve el

desarrollo radicular mediante el ajuste hormonal del medio de cultivo. Finalmente, en la fase de aclimatación, las plantas son adaptadas progresivamente a condiciones semicontroladas antes de su trasplante al sistema hidropónico.

Este método es ideal para garantizar la homogeneidad genética y alta sanidad en la producción de fresas.

Selección de Plántulas

Para establecer un cultivo exitoso en hidroponía, es esencial utilizar plántulas certificadas, con raíces bien desarrolladas y sin enfermedades. Existen dos tipos principales de plántulas utilizadas en la producción hidropónica de fresas.



Las plántulas enraizadas en sustrato son producidas en vivero y están listas para el trasplante inmediato. Su uso facilita una rápida adaptación y crecimiento en sistemas hidropónicos.

Las plántulas tipo "frigo" han sido cultivadas en campo abierto, extraídas en invierno y sometidas a almacenamiento en frío, generalmente entre -1°C y 2°C, para romper la dormancia y sincronizar

la producción.

El uso de plántulas tipo "frigo" ofrece diversas ventajas en hidroponía. Favorece un crecimiento rápido y vigoroso después del trasplante, reduciendo el tiempo hasta la producción de frutos. Permite sincronizar la floración y cosecha, facilitando la planificación comercial. Mejora el control sobre el ciclo productivo, optimizando la oferta en mercados estratégicos. Además, minimiza la incidencia de enfermedades en comparación con plántulas propagadas en campo.

Las plántulas tipo "frigo" se utilizan en cultivos comerciales intensivos, especialmente en sistemas hidropónicos donde se busca maximizar el rendimiento y la calidad de los frutos.

Trasplante de Plántulas

El trasplante debe realizarse cuando las plántulas tengan cuatro a seis hojas verdaderas y raíces bien desarrolladas. La densidad recomendada es de ocho a doce plantas por metro cuadrado, dependiendo del sistema de producción.

Para evitar enfermedades, las raíces deben ser introducidas en el sustrato sin enterrar la corona de la planta. Luego del trasplante, se recomienda mantener una alta humedad relativa durante los primeros días para facilitar la adaptación de las plántulas.

Manejo del Riego y Nutrición

En hidroponía, la frecuencia y composición de la solución nutritiva deben estar precisamente calculadas para garantizar un crecimiento óptimo sin deficiencias ni acumulaciones de sales.

Frecuencia y Volumen de Riego



- Riego intermitente con aplicaciones cortas y frecuentes durante el día para mantener un nivel óptimo de humedad sin saturar las raíces.
- Volumen estimado por planta: 0.5 a 1.5 litros por día, dependiendo de la etapa fenológica y condiciones ambientales.

8.2.2 Formulación Nutricional Recomendada

Nutriente	Estado de crecimiento	Concentración (ppm)
Nitrógeno (N)	Etapa inicial	100-150
	Fase vegetativa	150-200
	Fase de fructificación	100-150
Fósforo (P)	Todas las etapas	50-80
Potasio (K)	Todas las etapas	150-200
Calcio (Ca)	Todas las etapas	100-150
Magnesio (Mg)	Todas las etapas	50-80
Azufre (S)	Todas las etapas	50-80
Hierro (Fe)	Todas las etapas	1-2
Manganeso (Mn)	Todas las etapas	0,5-1
Zinc (Zn)	Todas las etapas	0,1-0,5
Cobre (Cu)	Todas las etapas	0,1-0,5
Boro (B)	Todas las etapas	0,5-1
Molibdeno (Mo)	Todas las etapas	0,05-0,1

Es fundamental monitorear semanalmente la conductividad eléctrica y el pH, ajustándolos según las necesidades del cultivo.



Polinización y Floración

En ambientes controlados, la polinización puede verse limitada, lo que puede afectar la calidad y uniformidad de los frutos.

Para mejorar la polinización, se recomienda la introducción de abejorros (*Bombus spp.*) o abejas melíferas (*Apis mellifera*). Como alternativa, se pueden utilizar ventiladores para simular el viento y mejorar la dispersión del polen. En casos donde no se disponga de polinizadores naturales, se puede recurrir a la polinización manual con pinceles suaves.

Las condiciones ambientales óptimas para la floración incluyen temperaturas entre 18°C y 24°C, humedad relativa entre 65% y 80%, y un fotoperiodo de 12 a 16 horas de luz.

Poda y Control de Estolones

Las fresas generan estolones que, si no se manejan correctamente, pueden reducir la producción de frutos.

Para optimizar la producción, se recomienda realizar podas periódicas de los estolones cada dos a tres semanas, redirigiendo la energía de la planta hacia la producción de frutos en lugar de nuevas plántulas. La eliminación de hojas viejas o dañadas mejora la circulación de aire y reduce la incidencia de enfermedades.

Estrategias para Maximizar la Producción

Existen diversas estrategias para incrementar el rendimiento en sistemas hidropónicos de fresas.

El manejo del estrés controlado mediante aplicaciones leves de déficit hídrico puede inducir una mayor producción de frutos en algunas variedades. La inducción floral con frío, con temperaturas de 4 a 10°C, puede ser útil para sincronizar la floración en determinadas variedades.

El uso de bioestimulantes y aminoácidos mejora la eficiencia metabólica de la planta y potencia el desarrollo del fruto. La cosecha en el punto óptimo de maduración garantiza una mejor calidad y mayor vida postcosecha.

El manejo del cultivo de fresas en hidroponía requiere la integración de técnicas agronómicas y un control ambiental preciso para optimizar la producción. Desde la selección de plántulas hasta la cosecha, cada etapa debe ser monitoreada cuidadosamente para garantizar altos rendimientos y una calidad homogénea en la producción.

GESTIÓN DE NUTRICIÓN Y AGUA

La producción de fresas en sistemas hidropónicos en ambientes controlados requiere una administración precisa de la nutrición y el agua para garantizar un crecimiento óptimo, una alta calidad del fruto y una eficiencia en el uso de los recursos. La solución nutritiva debe ser formulada de manera que proporcione los elementos esenciales en las concentraciones adecuadas y se debe mantener un equilibrio constante en la absorción de nutrientes y agua.

Requerimientos Nutricionales del Cultivo

Las fresas requieren un suministro balanceado de macro y micronutrientes para su desarrollo.

El nitrógeno (N) es fundamental para la formación de hojas y tallos, y debe mantenerse entre 120 y 180 ppm. El fósforo (P), necesario para el crecimiento radicular y la floración, debe estar en un rango de 30 a 50 ppm. El potasio (K), esencial para la calidad del fruto y la regulación osmótica, debe mantenerse entre 180 y 250 ppm.

El calcio (Ca) juega un papel clave en la estructura celular y la resistencia a enfermedades, debiendo mantenerse entre 120 y 150 ppm. El magnesio (Mg), componente central de la clorofila, debe encontrarse

en concentraciones de 40 a 60 ppm. El hierro (Fe), vital para la síntesis de clorofila y la respiración celular, debe mantenerse entre 2.0 y 5.0 ppm.

La solución nutritiva debe mantenerse con un pH entre 5.5 y 6.5 para una óptima absorción de los nutrientes y una conductividad eléctrica (CE) entre 1.2 y 2.5 mS/cm.

Preparación y Manejo de la Solución Nutritiva

La formulación de la solución nutritiva debe ajustarse según la etapa fenológica del cultivo. Durante la fase vegetativa, es necesario un mayor suministro de nitrógeno para promover el crecimiento foliar. En la etapa de floración y fructificación, el potasio debe incrementarse para mejorar la calidad y tamaño del fruto.

La solución nutritiva debe prepararse con agua de alta calidad, libre de contaminantes y con baja salinidad. Se recomienda utilizar fuentes de nutrientes de alta solubilidad para evitar precipitaciones en el sistema.

El monitoreo constante de la solución es esencial para ajustar las concentraciones de nutrientes y evitar acumulaciones o deficiencias.

Sistema de Riego y Estrategias de Aplicación

El riego en sistemas hidropónicos debe garantizar un suministro uniforme de agua y nutrientes. La frecuencia y volumen de riego dependen de factores como la temperatura, la humedad y la etapa de desarrollo de la planta.

En sistemas como el NGS, el riego intermitente es una estrategia eficiente para evitar la acumulación de sales y mantener un balance adecuado de oxígeno en la zona radicular.

El volumen de riego recomendado por planta varía entre 0.5 y 1.5 litros por día, dependiendo de las condiciones ambientales. Se recomienda ajustar el riego según la conductividad eléctrica y el pH de la solución drenada.

Control de Sales y Prevención de Deficiencias Nutricionales

El monitoreo constante de la conductividad eléctrica permite evaluar la acumulación de sales en el sistema y evitar problemas de toxicidad. Un aumento excesivo de la CE puede indicar acumulación de sales, mientras que una disminución puede reflejar deficiencias nutricionales.

Los síntomas de deficiencia nutricional deben ser corregidos rápidamente. La deficiencia de calcio, por ejemplo, se manifiesta en la necrosis apical de los frutos y puede prevenirse con un adecuado suministro de calcio y un control de la humedad relativa. La deficiencia de hierro provoca clorosis en hojas jóvenes y se corrige mediante la aplicación de quelatos de hierro.

Optimización del Uso del Agua

El uso eficiente del agua es una ventaja clave de la hidroponía en comparación con la agricultura convencional. La recirculación de la solución nutritiva permite reducir el consumo de agua en hasta un 90 %.

El control de la humedad relativa dentro del ambiente de producción también influye en la eficiencia del uso del agua. Una humedad relativa superior al 80 % puede generar problemas de condensación y favorecer enfermedades fúngicas, mientras que niveles inferiores al 50 % pueden aumentar la transpiración y el consumo de agua.

Conclusión

El manejo adecuado de la nutrición y el agua es determinante para la productividad del cultivo de fresas en hidroponía. La formulación equilibrada de la solución nutritiva, el monitoreo constante de la conductividad eléctrica y el pH, y la implementación de estrategias de riego eficientes aseguran el máximo rendimiento y calidad del fruto.

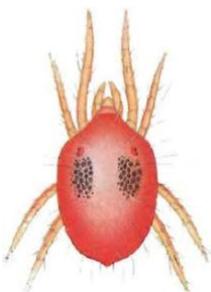
MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

El cultivo de fresas en sistemas hidropónicos en ambientes controlados reduce la incidencia de muchas enfermedades y plagas asociadas al suelo. Sin embargo, es fundamental establecer estrategias de manejo integrado para prevenir y controlar los agentes patógenos y plagas que pueden afectar la producción.

10.1 Principales Plagas del Cultivo de Fresas en Hidroponía

Las plagas en ambientes controlados pueden proliferar rápidamente si no se implementan medidas preventivas. Entre las principales plagas que afectan a la fresa se encuentran:

Araña roja (*Tetranychus urticae*)



Este ácaro se desarrolla en condiciones de baja humedad y temperaturas cálidas. Su ataque provoca un amarillamiento en las hojas y la presencia de telarañas en el envés. Para su control se recomienda el uso de control biológico con depredadores naturales como *Phytoseiulus persimilis*, la pulverización de extractos botánicos y la aplicación de **polvo de diatomeas** en las zonas afectadas, lo que deshidrata a los ácaros y reduce su población de forma natural.



Pulgones (*Aphididae*)

Los pulgones se alimentan de la savia y pueden transmitir virosis. Se recomienda la introducción de enemigos naturales como *Aphidius colemani*, aplicaciones de aceites esenciales y la espolvoreada de **polvo de diatomeas** sobre las hojas y tallos, creando una barrera física contra estos insectos.

Trips (*Frankliniella occidentalis*)



Provocan deformaciones en los frutos y hojas. Pueden ser controlados con el uso de trampas adhesivas azules, la liberación de insectos benéficos como *Orius spp.* y la aplicación de polvo de diatomeas sobre la superficie de las hojas y el sustrato, lo que dificulta su desarrollo y reproducción.



Mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*)

Este insecto se alimenta de la savia de la planta y excreta melaza, lo que facilita el desarrollo de hongos como la fumagina. Para su control se recomienda la introducción de *Encarsia formosa*, el uso de trampas cromáticas amarillas y la aplicación de **polvo de diatomeas en las hojas y en el suelo del invernadero**, lo que reduce las poblaciones de ninfas y adultos.

10.2 Principales Enfermedades en Sistemas Hidropónicos de Fresas

Las enfermedades en hidroponía están relacionadas principalmente con la alta humedad y la densidad de plantación. Las más comunes son:

Botrytis o Moho Gris (*Botrytis cinerea*)



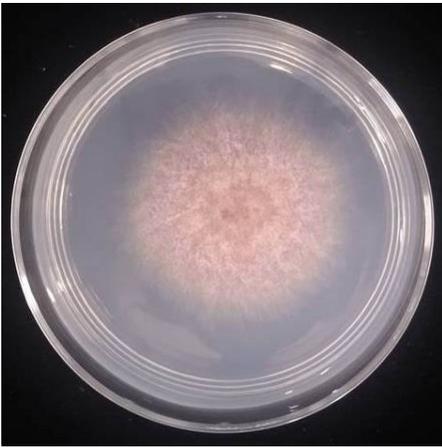
Es una de las enfermedades más frecuentes en cultivos protegidos, afectando flores y frutos. Se manifiesta con manchas marrones y la aparición de un moho gris. Se recomienda mejorar la ventilación, reducir la humedad relativa y aplicar biofungicidas a base de *Trichoderma spp.*

Mildiú Polvoriento (*Podosphaera aphanis*)



Se presenta como un polvo blanquecino en las hojas y frutos. Para su prevención se recomienda mantener niveles de humedad adecuados, aplicaciones de azufre en polvo o extractos de ajo y canela, así como **uso de polvo de diatomeas**, que ayuda a reducir la proliferación del hongo al alterar la estructura de su micelio.

Fusariosis (*Fusarium oxysporum*)



Provoca marchitamiento de las plantas y afecta el sistema radicular. En hidroponía, se puede controlar mediante la desinfección de los sistemas de riego y la aplicación de microorganismos benéficos como *Bacillus subtilis*

Rhizoctonia (*Rhizoctonia solani*)



Causa pudrición de raíces y tallos en condiciones de alta humedad. Se recomienda utilizar sustratos bien drenados, aplicar biocontroladores como *Trichoderma harzianum* y espolvorear **polvo de diatomeas en la base de las plantas**, lo que crea un ambiente menos propicio para el desarrollo del hongo.

10.3 Estrategias de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades

Para minimizar la aparición de plagas y enfermedades en sistemas hidropónicos, es esencial implementar un manejo integrado basado en prevención, monitoreo y control biológico.

- **Prevención:**
 - Uso de material vegetal certificado y libre de patógenos.
 - Control de la humedad relativa y temperatura en el invernadero.
 - Desinfección periódica de estructuras y herramientas.
 - Aplicación preventiva de **polvo de diatomeas en el sustrato y en las partes bajas de la planta.**

- **Monitoreo:**
 - Inspección regular de las plantas para detectar síntomas tempranos.
 - Uso de trampas cromáticas para evaluar la presencia de plagas voladoras.
 - Análisis de agua y sustratos para evitar acumulación de patógenos.

- **Control biológico:**
 - Introducción de insectos benéficos para el control de plagas.
 - Aplicación de biofungicidas y bacterias antagonistas.

- **Control físico y químico:**
 - Uso de mallas anti-insectos en ventilaciones y accesos.
 - Aplicaciones de extractos botánicos como neem o ajo.
 - Uso de **polvo de diatomeas como tratamiento natural para insectos y hongos**, ya que su acción mecánica afecta a la estructura externa de los organismos sin generar resistencia.
 - En casos extremos, empleo de agroquímicos de baja toxicidad bajo estricta supervisión.

El manejo de plagas y enfermedades en hidroponía debe basarse en estrategias preventivas y sustentables. La combinación de buenas prácticas agrícolas, monitoreo constante y el uso de biocontroladores permite minimizar la incidencia de problemas fitosanitarios sin comprometer la producción ni la seguridad del cultivo.

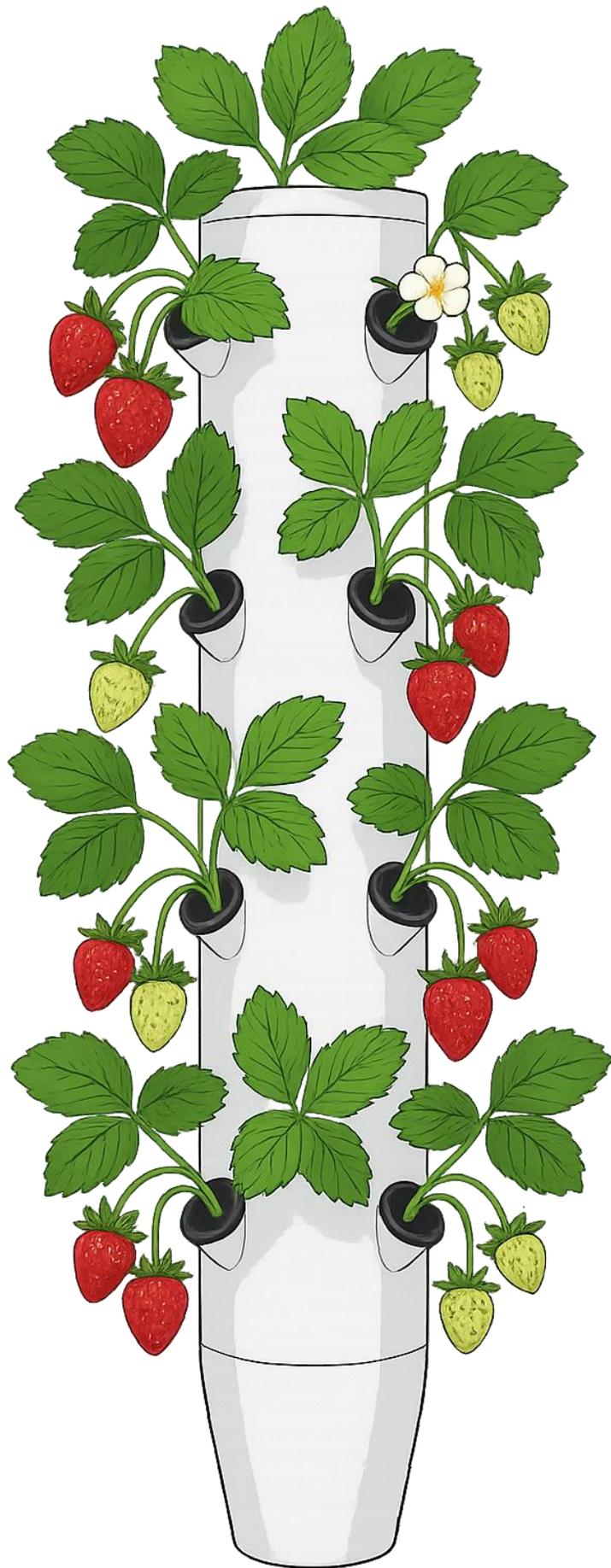
El uso del **polvo de diatomeas** se ha convertido en una alternativa efectiva dentro del manejo integrado de plagas y enfermedades en cultivos hidropónicos de fresas, debido a su capacidad de **controlar insectos, reducir la humedad en el sustrato y limitar el desarrollo de hongos** sin generar residuos tóxicos.



CIPAC AIP

Centro de Investigación y Producción en
Ambiente Controlado AIP







CIPAC AIP

Centro de Investigación y Producción en
Ambiente Controlado AIP