

**CAFORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS TECNICAS PARA LA
REUTILIZACION DE SOLUCIONES FERTILIZADAS EN CULTIVO DE FLORES,
AMINORANDO IMPACTOS AMBIENTALES**

JESUS FERNANDO BOTERO COY

**ANA MARÍA BOTERO COY
QUIMICO MSc. CIENCIAS AGRARIAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
Bucaramanga
2009**

**FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS TECNICAS PARA LA REUTILIZACION
DE SOLUCIONES FERTILIZADAS EN CULTIVO DE FLORES,
AMINORANDO IMPACTOS AMBIENTALES**

JESUS FERNANDO BOTERO COY

Trabajo de grado para optar el título de Especialización en Ingeniería Ambiental

**ANA MARÍA BOTERO COY
QUIMICO MSc. CIENCIAS AGRARIAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
Bucaramanga
2009**

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
1. METODOLOGÍA DE TRABAJO	4
2. DESARROLLO DEL TABAJO MARCO TEÓRICO y BIBLIOGRÁFICO	9
2.1 CONCEPTO DE HIDROPONIA	9
2.1.1 Sistemas de cultivos hidropónicos	10
2.1.2 El agua de riego en el cultivo hidropónico	11
2.1.3 Importancia de la calidad de agua en la recirculación	14
2.1.4 Recirculación de soluciones nutritivas en Cultivos sin suelo	16
2.1.5 Aplicación de las técnicas de recirculación	16
2.1.6 Salinidad de la disolución nutritiva	17
2.1.7 Recogida de la solución de drenaje	18
2.1.8 Subsistencia de filtración y desinfección de los lixiviados	19
2.1.9 Restitución de la solución nutritiva	20
2.2 GENERALIDADES DE LOS SUSTRATOS	21
2.2.1 Cascarilla de arroz quemada	25
2.2.2 Fibra de Coco	27

2.2.3	Propiedades químicas	30
2.2.4	Sales solubles	31
2.2.5	Análisis del contenido de elementos en sustratos	33
3.	ANÁLISIS Y DIAGNOSTICO	35
4.	FORMULACION DE ALTERNATIVAS	38
5.	IMPACTO AMBIENTAL DE LOS CULTIVOS FLORICOLAS	45
6.	METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL	53
7.	VALORACIÓN DE MEDIDAS AMBIENTALES	60
8.	CONCLUSIONES DEL TRABAJO	61
9.	CONCLUSIONES DEL ESTUDIO	63
10.	RECOMENDACIONES	64
	BIBLIOGRAFIA	65

TABLA DE CUADROS

	Pág
1. Propiedades químicas de la cascarilla de arroz	26
2. Propiedades fisicoquímicas promedio de la cascarilla de arroz tostada	27
3. Propiedades químicas de la fibra de coco	29
4. Matriz de identificación de posibles impactos ambientales en cultivos De flores	57
5. Resumen medidas ambientales más importantes para cada impacto.	58

TABLAS DE FIGURAS

	Pág
1. Esquema de un sistema de recirculación en un cultivo de flores	42
2. Acciones para el ahorro y uso eficiente del agua.	51

GLOSARIO

Definiciones tomadas del Libro Azul, manual de fertirriego.

C.E: Conductividad eléctrica, es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica, se expresa en dS.m^{-1}

Solución Nutritiva: Conjunto de los elementos nutritivos requeridos por las plantas y disueltos en agua. Por lo general se compone de dos soluciones concentradas, que usualmente son llamadas solución concentrada A que aporta a las plantas los elementos nutritivos que ellas consumen en mayor proporción o cantidad.

La solución concentrada B aporta, en cambio, los elementos nutritivos que son requeridos en menor cantidad o proporción, pero que son esenciales para que las plantas logren desarrollar en forma normal los procesos fisiológicos que la harán crecer bien y producir hermosos frutos y abundantes cosechas

Solución lixiviada: Son los drenajes que salen del cultivo, ocasionando desperdicio de agua y nutrientes con la consecuente contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

Recirculación: Es la reutilización de los lixiviados drenados por los cultivos, pero antes estos lixiviados deben ser sometidos a un proceso de desinfección y reajuste para su nueva utilización en el riego.

TITULO: FORMULACION DE ALTERNATIVAS TECNICAS PARA LA REUTILIZACION DE SOLUCIONES FERTILIZADAS EN CULTIVO DE FLORES, AMINORANDO IMPACTOS AMBIENTALES.

AUTOR: JESUS FERNANDO BOTERO COY

PALABRAS CLAVES: cultivos de flores, Lixiviados, sustratos, fertirrigación, pérdida de agua, contaminantes, recirculación, solución nutritiva.

RESUMEN:

El uso del agua en la floricultura intensiva bajo invernadero es causa de creciente preocupación, debido a que los volúmenes de lixiviados generados en la fertirrigación son considerables y llevan en disolución los fertilizantes, los plaguicidas y otros agroquímicos que son contaminantes potenciales del medioambiente. La recirculación de los lixiviados permite reutilizar la solución usada, a través de su recolección, el tratamiento y la posterior reinyección dentro del sistema de fertirrigación, con indiscutibles ventajas medioambientales. Esta técnica promisoría tiene poca acogida en el país, debido a los altos costos que acarrea su montaje dentro de los sistemas de producción convencionales. No obstante, se ha implementado dentro de los sistemas de cultivo de flores en sustrato, donde se ha apreciado una reducción en el consumo de los fertilizantes nitrogenados. En tal sistema, la disponibilidad de los nutrientes está influenciada por el pH y la conductividad eléctrica de la solución, al igual que por las propiedades químicas de los sustratos. Por lo tanto se hace necesario conocer su dinámica química asociada con la nutrición mineral. También se hace necesario tomar muestras para análisis químico de los sustratos, los lixiviados y el tejido foliar en diferentes etapas fenológicas del cultivo, con el objeto de apreciar los cambios nutricionales que haya tenido la planta por medio del contenido de nutrientes del follaje, así como los cambios químicos de los sustratos en los tres niveles de recirculación. Por tanto el implementar este tipo de tecnologías hace que se logre la reducción de la contaminación por lixiviados, proporcionando un ahorro del agua del 15 hasta el 50%, dependiendo el cultivo y de la época del año.

* Proyecto de Grado

** **Facultad** de Ingeniería Físico - Química. **Escuela** de Ingeniería Química **Director** Ana María Botero C.

TITLE: REDUCING ENVIRONMENTAL IMPACT IN FLOWER CROPS BY APPLICATION OF ALTERNATIVE TECHNOLOGIES FOR REUTILIZATION OF FERTILIZED SOLUTIONS

AUTHOR: JESUS FERNANDO BOTERO COY

KEYWORDS: flower crops, lixiviated, sustrates, fertilization, irrigation, contaminants, recirculating water , nutrient solution.

ABSTRACT:

Greenhouse flower crops have associated environmental concern due to the large amounts of lixivates caused by irrigation with water containing fertilizers. Water use under greenhouse conditions can contain not only pesticides, but also fertilizers, and other agrochemicals that are potential contaminants of the environment. Fertilized water reuse is an interesting alternative to minimize environmental impacts. Recirculation of leaching water allows reusing the solution through its collection, treatment and subsequent reinjection into the irrigation system, with evident environmental advantages. This technique has been scarcely applied in our country, possibly due to the high costs associated to its implementation in conventional crop production systems. However, it has been applied in farming systems of flowers on substrate, where an interesting reduction in the consumption of nitrogen fertilizers has been observed. In this system, the nutrients availability is influenced by pH and electrical conductivity of the solution, as well as by the chemical properties of the substrates. Therefore, it is necessary to know the chemical dynamics associated with mineral nutrition. For this, samples for chemical analysis of substrates, leaching water and plant tissues at different phenological stages of the crop, have to be collected and analyzed in order to assess the nutritional changes occurring in the plant through the foliage nutrient content as well as chemical changes of substrates at the three levels of recirculation. The implementation of this type of technologies can notably reduce pollution caused by leachates, saving water consumption from 15 up to 50%, depending on the crop and the season.

* Proyecto de Grado

** **Facultad** de Ingeniería Físico - Química. **Escuela** de Ingeniería Química **Director** Ana María Botero C.

INTRODUCCIÓN

La floricultura intensiva presenta problemas ambientales en cuanto al volumen de lixiviados generados por la actividad de fertirrigación bajo condiciones de invernadero.

El manejo actual como sistema abierto de los cultivos hace que el desecho de los lixiviados en sistemas hidropónicos incremente la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales provocando una gran incidencia en el medio ambiente.

El uso de agua de los cultivos bajo invernadero es causa de creciente preocupación, no solo por la cantidad regada, los fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos que se utilizan sino porque son contaminantes potenciales del ambiente.

La recirculación de lixiviados es una alternativa para atenuar lo anteriormente dicho y la aprovechabilidad de nutrientes estará limitada por el manejo del pH y la de conductividad eléctrica de la solución recirculante ya que estas mediciones indicarán el estado en que se encuentran los elementos dentro de la misma.

El cultivo intensivo sin suelo permite recoger los lixiviados y reutilizarlos en el sistema de fertirrigación, lo cual tiene indiscutibles ventajas medioambientales. Aunque este tipo de técnicas no son muy conocidas y menos utilizadas en el país, debido principalmente a los altos costos que acarrea montar este tipo de sistemas en los invernaderos convencionales, se sugiere implementar una tecnología, en la

que se logre la reducción de contaminación por lixiviados, donde el ahorro de agua puede oscilar entre 15 y 50% dependiendo el cultivo, de la época del año y de que la recirculación de los lixiviados sea total o parcial, ahorro de fertilizantes, mas que todo en fertilizantes nitrogenados.

Pero igualmente existen inconvenientes que causarían daño al cultivo si no se monitorean con regularidad como el aumento de la conductividad eléctrica en la solución nutritiva a medida que se reutilizan en consecuencia a esto, posibles pérdidas de productividad del cultivo.

Teniendo en cuenta estas condiciones de producción, este trabajo de investigación plantea realizar un análisis de la solución recirculada (lixiviados), sustratos y follaje en un sistema cerrado de recirculación de la solución nutritiva de acuerdo a la concentración de elementos contenidos en la fase acuosa del sustrato y la toma de nutrientes por parte de la planta, en tres niveles de recirculación 0, 50 y 100 %, se considera importante monitorear el estado en que se encuentran los nutrientes vegetales y controlar el uso de fertilizantes en cada una de las mezclas de sustratos utilizados en el establecimiento del cultivo, la solución que queda sin absorber es drenada nuevamente a un tanque de reserva y cuando se requiera regar de nuevo el ciclo se repite monitoreando diariamente pH y conductividad eléctrica y semanalmente nitratos y amonio para evitar contaminación por nitratos.

OBJETIVOS

General:

Revisar y analizar técnicas existentes para la utilización de sustratos y reutilización de soluciones fertilizadas en hidroponía, para plantear y formular alternativas viables de implantar en cultivo de flores, minimizando impactos ambientales.

Específicos:

- Establecer las características químicas que deben tener los sustratos.
- Establecer las características químicas que deben tener las soluciones fertilizantes y sus lixiviados.
- Establecer cuales deben ser los niveles de nutrientes en el tejido foliar.
- Analizar la influencia de los sustratos y soluciones fertilizadas en los cultivos de flores.
- Analizar los posibles impactos ambientales y su mitigación.
- Formular alternativas técnicas viables de implantación para uso de sustratos y reuso de soluciones fertilizadas.
- Establecer conclusiones y dar recomendaciones.

1. METODOLOGÍA DE TRABAJO.

Descripción de la metodología de trabajo

Recopilación bibliográfica:

El estudio objeto de la presente monografía, se inicia con la búsqueda y revisión de la literatura acerca de hidroponía, sustratos y soluciones fertilizantes aplicables a cultivos masivos de flores. Igualmente a la recopilación de información y técnicas de uso y reuso de sustratos y soluciones en un cultivo de flores.

Tiempo: 2 semanas

Recopilación de información en campo

En un cultivo de flores, se pudieron establecer las condiciones ideales para utilizar la hidroponía, diseñando todo un sistema de cultivo bajo invernadero, indicando desde un comienzo como debe ser la construcción de las camas hasta el sistema de riego y recolección de los lixiviados. Por lo tanto como valor agregado al presente trabajo, se establece como realizar un análisis fisicoquímico a los sustratos a utilizar antes de plantar el cultivo, así como del agua de riego, que se utilizará en la preparación de la solución de fertirriego.

Por otra parte se indicaran las mediciones de pH, conductividad eléctrica (CE), nitritos y amonio a realizar en la solución lixiviada una vez establecido el cultivo, esto se realizará diariamente, con el fin de monitorear los cambios que haya podido sufrir la solución drenada, hacer reajuste y poder volverla a recircular, no sin antes pasar por un sistema de desinfección, para evitar proliferación de microorganismos.

Por último se pretende en cada cambio fenológico del cultivo, plantear la toma de muestras de lixiviados, sustratos y hojas con el fin de observar los cambios a través del tiempo, y poder hacer un estimativo de la condición nutricional de la planta.

Tiempo: 15 semanas

Diagnóstico y Análisis de la información recogida, estableciendo materiales y métodos posibles de utilizar.

La información bibliográfica y de campo, será revisada y analizada para determinar el estado de la aplicación de la hidroponía con recirculación en cultivos de flores, existencia en el mercado de todos los equipos y materiales requeridos, capacidad humana para implantar e implementar las alternativas, viabilidad económica y ambiental.

Tiempo: 48 semanas

FORMULACION DE ALTERNATIVAS

Teniendo como base la información recopilada de tipo bibliográfico y de campo, así como de otros estudios, se realiza un planteamiento de alternativas viables para implantar y definir las características fisicoquímicas que deben cumplir los sustratos y las soluciones drenadas por los cultivos, para poder recircularlas de nuevo al medio. Así mismo se hace un diseño de construcción del sistema a utilizar.

Tiempo: 1 semana

IMPACTO AMBIENTAL

Se pretende por medio de este estudio conocer los impactos ambientales asociados a este tipo de tecnología y proponer un sistema de recogida de los lixiviados desechados por los cultivos de flores, los cuales actualmente se vierten

al medio causando contaminación ambiental, provocando problemas de salinización de suelos y problemas fitosanitarios del cultivo, cuando se deja drenar libremente hacia el suelo, la solución nutritiva aplicada a las plantas, ocasionando desperdicio de agua y nutrientes con la consecuente contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

Como solución a este problema se plantea el manejo de un sistema cerrado, el cual consiste en la reutilización de los lixiviados por medio de las diferentes técnicas de recirculación de la solución nutritiva, buscando una disminución en el consumo de agua y fertilizantes.

Tiempo: 4 semanas

CONCLUSIONES

1. Al implementar este tipo de cultivos puede haber un incremento de la eficiencia en el uso del agua por los cultivos, como estrategia para mantener el recurso hídrico.
2. La utilización más intensa de las técnicas protección ambiental, de irrigación tecnificada, del fertirriego, junto a la utilización de los sistemas de cultivo sobre sustratos diferentes del suelo y finalmente la reutilización de las salidas de estos sistemas, parecen marcar una línea conducente a conseguir estos objetivos.

3. La eficiencia productiva del agua y de los elementos nutritivos, puede incrementarse entre 50 y 100 veces desde los sistemas tradicionales a los sistemas más altamente tecnificados y eficientes.
4. Solo una utilización más eficiente de los fertilizantes permite estimaciones que reducen el crecimiento en el consumo de fertilizantes entre el 10 y 16%.
5. Al recircular la solución nutritiva se produce un ahorro más o menos importante de fertilizantes y un descenso casi total en la contaminación.

RECOMENDACIONES

1. Para poder implementar este tipo de técnicas se debe tener en cuenta la importancia que tiene cada uno de los diseños a implementar, como son la recogida de los lixiviados, el conocimiento sobre la preparación de la solución nutritiva, entre otros.
2. Se debe tener muy claros los conceptos de solución nutritiva, fertirriego, ajuste de soluciones y que son y como se manejan los sustratos.
3. Un punto de partida adecuado para definir una solución de fertirriego “ideal” debe obtenerse de los datos de referencia del análisis foliar del cultivo.

4. Se hace necesario el monitoreo de controles analíticos del drenaje y de la solución nutritiva en un sistema recirculante, pero no necesariamente tienen que ser más frecuentes que en un sistema abierto.

2. DESARROLLO DEL TRABAJO (MARCO TEÓRICO Y BIBLIOGRÁFICO)

Como podrá apreciarse la revisión bibliográfica abarca aspectos referentes a conceptos de hidroponía, uso de sustratos, manejo de los lixiviados de un cultivo, desinfección de los lixiviados e impacto ambiental que producen el desecho de estos lixiviados al medio y su posible mitigación con este tipo de prácticas recirculantes.

2.1 CONCEPTO DE HIDROPONIA

La hidroponía se deriva del griego y significa literalmente trabajo o cultivos (ponos) en agua (hydros). El concepto hidropónico se utiliza actualmente a tres niveles distintos.

Cultivo hidropónico puro sería aquel en el que, mediante un sistema adecuado de sujeción, la planta desarrolla sus raíces en medio líquido (agua con nutrientes disueltos) sin ningún tipo de sustrato sólido.

De acuerdo a la tendencia mayorista, es utilizado para referirse al cultivo en agua (acuicultura) o en sustratos sólidos más o menos inertes y porosos a través de los cuales se hace circular la disolución nutritiva.

Y por último en su concepción más amplia, engloba a todos los sistemas de cultivo en el que las plantas completan su ciclo de vida vegetativo sin la necesidad de emplear el suelo, suministrando la nutrición hídrica y la totalidad o parte de la

nutrición mineral mediante una solución en la que van disueltos los diferentes nutrientes esenciales para su desarrollo (Alarcón, 2000).

Para Alarcón (2000) el término cultivo semihidropónico suele utilizarse cuando se emplean sustratos no inertes (turba, fibra de coco, corteza de pino, otros sustratos orgánicos, mezclas con fertilizantes de liberación controlada, entre otros) que suministran una importante parte de los nutrientes a las plantas.

2.1.1 Sistemas de cultivos hidropónicos

Los sistemas de cultivos hidropónicos se dividen en dos grandes grupos:

1. Cerrados, que son aquellos en los que la solución nutritiva se recircula aportando de forma más o menos continua los nutrientes que la planta va consumiendo.
2. Abiertos o solución perdida en los que los drenajes provenientes de la planta son desechados.

Dentro de estos dos grupos hay tantos sistemas como diseños de las variables empleadas: sistemas de riego (goteo, subirrigación, circulación de la solución nutritiva, tuberías de exudación, contenedores estancos de solución nutritiva, entre otros); sustrato empleado (agua, materiales inertes, mezclas con materiales orgánicos, entre otros); tipo de aplicación fertilizante (disuelto en la solución nutritiva, empleo de fertilizantes de liberación lenta aplicadas al sustrato, sustratos enriquecidos, entre otros); disposición del cultivo (superficial, sacos verticales o inclinados, en bandejas situadas en diferentes planos, entre otros); recipientes de sustrato (contenedores individuales o múltiples, sacos plásticos preparados).

Pueden distinguirse dos tipos de sistemas de cultivo sin suelo que integran la recirculación como forma de trabajo. El primero es el NFT (nutrient film technique) que, dentro de estos sistemas recirculantes, es el más típico por ser el que en primer lugar se empezó a utilizar en los años 70. Consiste en mantener las raíces del cultivo inmersas en una corriente de solución nutritiva, continua o intermitente de muy alta frecuencia, sin que exista ningún sustrato de sostén. En cuanto al segundo, se trata del cultivo en un sustrato (perlita, lana de roca, arena, cascarilla de arroz, fibra de coco, entre otros) con recogida del drenaje, para su posterior mezcla con agua de aporte exterior e inyección de fertilizantes hasta alcanzar un nivel nutricional concreto. En este último sistema, a diferencia del primero, el riego no es continuo y ni siquiera intermitente a intervalos periódicos, sino puntual, en función de las necesidades del cultivo a lo largo del día, aportando agua hasta conseguir la rehidratación del sustrato y la renovación de la solución en él contenida. Aunque, ambos sistemas, mantienen la misma filosofía, presentan un manejo diferente de la solución nutritiva.

A nivel mundial los sistemas cerrados son los más extendidos, mientras que en nuestro país, la totalidad de las prácticas para floricultura son sistemas abiertos que adoptan el riego por goteo (generalmente con una piqueta por planta), sin recirculación de la solución nutritiva dadas las condiciones generales de calidad de agua de riego y la exigencia de nivel técnico que tienen los sistemas cerrados (Alarcón, 1996).

2.1.2 El agua de riego en el cultivo hidropónico

La calidad de agua de riego es uno de los factores más importantes en la decisión de implementar un cultivo hidropónico. Su composición química, esta relacionada

con la presencia de elementos tóxicos para la planta que determinan el tipo de cultivo y el manejo del mismo en cuanto al riego, nutrición y drenaje.

Los parámetros que se deben tener en cuenta para las aguas de riego en la producción de plantas ornamentales son: Conductividad eléctrica (CE) menor de 0.75 dS.m⁻¹, concentración de sodio menor a 70 ppm, concentración de cloruros menor a 110 ppm, concentración de bicarbonatos menor a 120 ppm y concentración de boro menor a 0.7 ppm.

Con agua de buena calidad los porcentajes de drenaje manejados van a ser menores en comparación con las aguas de mala calidad, ya que la conductividad eléctrica, el pH y la acumulación de elementos puede ser tóxico para el cultivo y esto solo se controla con altos volúmenes de riego. En los sistemas con recirculación es vital manejar una calidad de agua muy alta, con una concentración de sodio y cloruros tal que el cultivo pueda asimilarlos sin presentar síntomas de toxicidad (Alarcón, 1996; Cabrera, 2000).

En la necesidad de optimizar el uso del agua y los fertilizantes son de vital importancia los análisis de sustratos y los análisis foliares para el diagnóstico de la nutrición; estos análisis se deben ver reflejados en la formulaciones líquidas, las cuales deben tener una alta solubilidad total en agua para evitar los taponamientos a nivel de emisores de riego, éstas deben ser compatibles entre sí y disminuir el número de aplicaciones conociendo siempre su conductividad eléctrica y pH.

De acuerdo con Cabrera (2000) las lecturas de pH y CE en los emisores de riego son muy importantes en el control, del sistema, ya que, si se presenta un valor muy cercano de CE a la tomada en la calidad de agua de riego es porque la concentración de los nutrientes a disminuido de tal forma que se necesitan correcciones inmediatas en el sistema de inyección. Lo mismo ocurre en los casos en que la CE se incrementa hasta llegar a los valores tóxicos.

El pH de la solución nutritiva puede ser manejado con fuentes de N, donde el NO_3 tiende a incrementarlo y el NH_4^+ tiende a bajarlo, influyendo esto directamente en la productividad y en los programas de fertilización.

Otra cuestión respecto al pH de la solución nutritiva es la influencia del balance de absorción catión/anión. Cuando un cultivo absorbe mayoritariamente aniones (nitratos principalmente), para el mantenimiento de la neutralidad eléctrica, la raíz libera al medio iones OH^- . Esta es una de las razones por la que en los cultivos sin suelo la solución drenada presenta valores superiores a la solución nutritiva.

Pero en determinados momentos, puede ser mayoritaria la absorción de cationes (K^+ suele ser el responsable), con lo que la raíz libera H^+ , para conservar el balance eléctrico y el pH de la solución del sustrato desciende respecto a la solución nutritiva. Cuando esto sucede se debe suprimir todo aporte de iones NH_4^+ y también debe reducirse la adicción de ácidos en la solución nutritiva.

También destacar que, de forma general, pH ácidos hacen decrecer la absorción de cationes y estimular la de aniones, fundamentalmente porque H^+ , compite con los cationes por los lugares de absorción. Esta situación se invierte a pH

elevados, en los que OH^- y HCO_3^- , compiten con los aniones como nitrato, cloruro o fosfato, por sus lugares específicos de absorción.

En cualquier caso deben evitarse valores de pH en la disolución nutritiva inferiores a 5 (a pH 4 se dañaría la raíz de la mayoría de los cultivos) y superiores a 6.5, con los que bajaría drásticamente la disponibilidad de algunos microelementos.

Existe una serie de nutrientes que, por su dinámica de absorción, precisan concentraciones en la solución de sustrato o de drenaje claramente superiores que en la disolución nutritiva (del 50 al 100% más concentrados), para encontrarse en perfecto equilibrio. Tal es el caso del calcio, magnesio, sulfatos y boro.

Por el contrario, amonio, fosfato y manganeso interesa encontrarlos en concentraciones inferiores en la solución del sustrato que en la solución de entrada. Mientras que la dinámica a seguir por los nitratos y potasio, aunque en principio interesan niveles algo superiores de nitratos y más o menos equilibrados del potasio en la solución de sustrato, depende mucho de la relación N/K pretendida en función del estado fenológico del cultivo, la radiación predominante y el nivel de cloruros y sodio en el agua de riego.

2.1.3 Importancia de la calidad de agua en la recirculación

Para Molitor (2001), las aguas con conductividad eléctrica (CE) elevadas no son adecuadas, el agua de riego debe contener un mínimo de sales posible, claro esta dependiendo del cultivo y el periodo de crecimiento. Aunque el exceso de sales

puede eliminarse en parte por cristalización en la parte superior del sustrato. Además la concentración de nutrientes y la velocidad deben ajustarse de manera precisa para satisfacer las necesidades de la planta.

Lo ideal sería utilizar aguas con CE inferiores a 0.6 dS/m^{-1} dependiendo de la concentración de los cloruros y de sodio. Algunos autores establecen el límite para el sodio en 2 meq/l y para el cloruro en 1.5 meq/l .

La solución de estos casos pasa por mejorar la calidad del agua disponible, bien sometiéndola a un tratamiento de desalinización (por ejemplo mediante ultrafiltración vía ósmosis inversa) o mezclándola con agua de buena calidad.

Cuando no se dispone de suficiente agua de buena calidad se puede optar por la recirculación parcial eliminando el lixiviado cuando alcance una concentración de sales peligrosas, por ejemplo cuando la C.E sea mayor de 5 dS/m (Molitor et. 1988)

Blom y Kerec (2000) trabajaron en sistemas con recirculación en fibra de coco con dos variedades de rosa, llegando a manejar una conductividad máxima de la solución nutritiva entre $4,5$ y $5,5 \text{ dS.m}^{-1}$ con dos porcentajes de solución circulante (40% y 80%). Se observó que la productividad disminuyó en un 19% en el número de tallos y en un 15% en el peso fresco durante un periodo de 30 semanas, causado por el incremento de la CE.

En muchos casos existe una reducción de la contaminación por lixiviados, un ahorro de agua entre 15 y 50% dependiendo del cultivo, condiciones climáticas y tipo de recirculación (total o parcial), ahorro de fertilizantes entre el 50 y 80% en abonos nitrogenados, aumento de la CE de la solución nutritiva a medida que se reutiliza debido a la acumulación de los nutrientes no aprovechados por el cultivo

y una posible disminución en la productividad con recirculación (Urban y Langelez, 1991).

2.1.4 Recirculación de soluciones nutritivas en cultivos sin suelo

De acuerdo con Moss (1984), Las nuevas normativas europeas de próxima aplicación establecen controles sobre los vertidos agrícolas a los acuíferos. Por esta causa los sistemas cerrados, en los que los drenajes procedentes de la plantación son recirculados, toman interés como una forma más eficaz de utilizar los fertilizantes y por lo tanto menos contaminante de las aguas freáticas.

Cuando el circuito de fertirrigación es abierto los drenajes que provienen de la plantación se desechan. En los circuitos cerrados se recogen los excedentes del riego y tras someterlos a un proceso de desinfección y de restitución de nutrientes, vuelven al circuito de riego para suministrarlos de nuevo a las plantas.

Los sistemas abiertos tienen un manejo más sencillo que los sistemas cerrados, permiten reponer la solución nutritiva que inicialmente se ha calculado y evitan que se acumulen sales nocivas en el sustrato. Pero el inevitable despilfarro de agua y nutrientes tienen dos consecuencias nocivas:

- La primera es de tipo económico, por la ineficiencia del uso de fertilizantes pues se pierden inevitablemente con la solución de drenaje.
- La segunda es medio ambiental, estas aguas cargadas de nitratos se pueden infiltrar en el suelo o pasar a los cauces naturales mezclándose con el agua potable.

2.1.5 Aplicación de las técnicas de recirculación

La recirculación de la solución nutritiva puede emplearse en todas las técnicas de cultivo sin suelo, ya sea en hidroponía pura o en cultivo en sustrato.

Todos los cultivos hidropónicos puros comportan en su propia naturaleza la recirculación.

Si el sustrato es de origen orgánico la solución nutritiva reacciona fuertemente con el sustrato y el manejo de la recirculación se complica demasiado. Sin embargo los sustratos minerales (perlita, lana de roca, vermiculita, gravas, arenas,) son química y biológicamente inertes, con capacidad de intercambio catiónico bajo y por lo tanto más fácil de manejar. Por esta causa los sistemas de recirculación no se han extendido en los viveros de plantas ornamentales y forestales donde los sustratos orgánicos son imprescindibles (Cabrera, 2000).

2.1.6 Salinidad de la disolución nutritiva

Molitor (2001) afirma que la propagación de enfermedades a través de la solución nutritiva en sistemas cerrados es un tema peligroso, las condiciones microclimáticas y ambientales en las que se desarrollan estos cultivos provoca que, una vez que se ha producido el ataque, se ocasione un contagio más rápido. A esto hay que sumar el hecho que generalmente se trabaje con sustratos estériles, o lo que es lo mismo, sin competencia microbiana, lo que se traduce en mayor facilidad de los patógenos para infectar el medio de cultivo.

La forma más eficaz de mantener a raya estas enfermedades es desinfectar la solución de drenaje, antes de desinfectar la solución nutritiva es conveniente

filtrarla para eliminar los sólidos en suspensión que pudiera llevar y aclararla en el caso de que se utilice algún método en el que la eficiencia de la desinfección dependa de la turbidez del agua. De la misma forma que no existe un sustrato ideal, la formulación de la disolución ideal tampoco existe, puesto que hay muchos factores que condicionan las necesidades nutritivas. Cada explotación requiere un seguimiento específico para aplicar la mezcla ajustada.

Partir de una solución nutritiva adaptada a la especie, variedad, sustrato, agua de riego, condiciones climáticas prevalecientes y sistema de cultivo (recirculante o a solución perdida, en tutorado o rastrero, etc.) es lo más conveniente, y posteriormente será el propio cultivo el que nos vaya orientando sobre como ir reajustando la composición de la disolución nutritiva en base a:

- Controles diarios: pH, CE en solución nutritiva, drenaje y/o sustrato.
- Análisis químicos periódicos de la solución aportada, drenaje y solución de sustrato.
- Sintomatología de la plantación.
- Condiciones climáticas predominantes
- Estado fenológico del cultivo.
- Intereses comerciales que lleven a forzar o retener el cultivo según mercado

2.1.7 Recogida de la solución de drenaje

La recogida de los lixiviados se hace mediante canalones situados debajo de las banquetas de cultivo y que desembocan en un tanque donde se almacenan hasta

su desinfección. Se recomienda que los canalones de recogida tengan una pendiente del 1%. Todo el sistema se recubre con una lámina de polietileno blanco-negro que impide la incidencia de la luz y la aparición de algas en la solución de drenaje.

La capacidad del tanque depende de la superficie total del cultivo y de la sectorización. Puede llevar incorporado una sonda, de modo que cuando la sonda toque el máximo se ponga en funcionamiento el sistema de desinfección.

La C.E y el pH de los lixiviados sin desinfectar se registran mediante sensores colocados en el mismo tanque.

2.1.8 Subsistencia de filtración y desinfección de los lixiviados

Uno de los temores más grandes de los productores es la propagación de las enfermedades, ya que, el paso de la solución nutritiva por el sistema radicular puede contaminar los lixiviados con patógenos. En estos casos es necesario realizar una desinfección de la solución circulante.

La filtración se puede llevar a cabo mediante filtros de malla, de disco y de arena. La elección del sistema adecuado dependerá entre otros de la dimensión del invernadero, el riesgo de enfermedades durante el cultivo.

Desinfección con rayos UV

Según Carruthers (1998) reporta que la desinfección con rayos UV en Holanda se utiliza para esterilizar la solución recirculante. Para esto es indispensable que la

claridad del agua no este por debajo del 20%, con lo cual, 100 mJ.cm² para el control de patógenos, hongos y bacterias. Se requiere de 250 mJ.cm² para el control de virus.

Desinfección con filtro biológico

La esterilización con filtro biológico en la recirculación es un método para evitar problemas sanitarios, por su alta efectividad. Este filtro se basa en conseguir un equilibrio entre las poblaciones existentes, como limitantes del desarrollo de patógenos dentro de un nivel que no resulte perjudicial .esta técnica se adapta a cualquier área de producción, pues por cada m² se produce alrededor de 300 L.h₁ de solución desinfectada. Las ventajas que presenta Giraldez (1998) del filtro biológico son: La efectividad de la fertirrigación con un 98,9% sobre los patógenos como *Fussarium*, *Phytophthora*, *Pythium* y nemátodos; dimensionar y ajustar correctamente el sistema para obtener el caudal y la velocidad adecuada de acuerdo al área manejada; bajo costo de energía, de mantenimiento y de instalación, en comparación con los otros sistemas.

2.1.9 Restitución de la solución nutritiva

Para preparar la solución nutritiva se debe disponer de tantos tanques como fertilizantes intervengan en la mezcla, de un tanque para la solución de ácido y de otro tanque para almacenar el agua de riego, el autómata de riego es el que gestiona la mezcla. Para ello corrige el pH y la C.E de los lixiviados desinfectados hasta que se obtienen los valores preestablecidos para la solución nutritiva. Se recomienda:

- En un primer tanque se diluyen los drenajes hasta que alcanzan un valor de C.E calculado, inferior a la C.E de la solución nutritiva final.
- La mezcla pasa a un segundo tanque donde se le añaden los fertilizantes y el ácido a pequeñas dosis hasta que alcanza el C.E y el pH definitivos.
- Como este sistema no controla la composición iónica exacta de la solución nutritiva habrá que realizar análisis periódicos (cada 15 días por ejemplo) tanto de los drenajes como de la solución restituida y corregir las derivas.

2.2 GENERALIDADES DE LOS SUSTRATOS

Un sustrato es un material sólido distinto del suelo *in situ*, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico que colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla permite el anclaje del sistema y desempeña por tanto un papel de soporte para la planta, y no debería provocar un impacto medioambiental de importancia (Abad y Noguera, 2000). Fonteno (1999) menciona que los sustratos cumplen cuatro funciones específicas: proporcionar agua, suministrar nutrientes, permitir el intercambio de gases desde y hacia las raíces y proporcionar soporte para las plantas.

Los gránulos (dimensión de las pequeñas partículas de las que está compuesto el sustrato) se consideran buenos si permiten la presencia entre 15 y 35% de aire y entre 20 y 60% de agua en relación con el volumen total. Muchas veces es útil mezclar sustratos buscando lograr la proporción deseada teniendo en cuenta los siguientes aspectos: retención de humedad, alto porcentaje de aireación, físicamente estable, química y biológicamente inertes, excelente drenaje, elevada capilaridad, livianos, de bajo costo y disponibilidad de nutrientes para el

crecimiento de las plantas (Ansorena, 1997; Fonteno, 1999; Calderón y Cevallos, 2003).

Los cultivos sin suelo utilizan diversos sustratos. Entre otros, los sustratos más utilizados son cascarilla de arroz, arena, grava, fibra de coco, residuos de hornos y calderas, piedra pómez, aserrines y virutas, ladrillos y tejas molidas (libres de elementos calcáreos o cemento), espuma de poliestireno (utilizada casi únicamente para aligerar el peso de otros sustratos), turba rubia, vermiculita, desechos volcánicos, pajas, cortezas vegetales (Copenhagen, 1983; Calderón y Cevallos, 2003).

El uso de sustratos requiere de un manejo específico y por ello un requisito previo a su utilización es conocer sus propiedades. En este sentido, la FAO (2005) considera que un sustrato apto para un cultivo debe acumular y suministrar suficiente agua, para permitir intervalos apropiados entre riegos. Desde el punto de vista de la retención de humedad, es necesario conocer el contenido de aire del sustrato, el agua fácilmente disponible y el agua de reserva. Así mismo, el sustrato debe ser de textura conocida y de estructura estable a lo largo del período de uso. Igualmente, quienes los utilicen deben manejar conceptos técnicos como densidad aparente, densidad real, espacio poroso total y fase sólida. El sustrato más utilizado con anterioridad a 1990 fue la cascarilla de arroz cruda, dicho material era sometido a un proceso de fermentación y a un proceso de envejecimiento, con el fin de mejorar la capacidad de retención de humedad (Calderón y Cevallos, 2001). Otra forma utilizada para mejorar la retención de humedad fue la de mezclarla con otros materiales tales como la escoria de carbón y la arena de río.

Un correcto diagnóstico en cultivo sin suelo debe involucrar los parámetros de la solución nutritiva aplicada, los del medio externo al sustrato (condiciones climáticas, estado fenológico del cultivo, manejo del mismo, tipo de sustrato, análisis foliar, etc.) y los parámetros correspondientes a la solución del medio radicular.

En este último aspecto los sustratos inertes pueden manejarse correctamente en base al análisis de la disolución drenada, mientras que los sustratos químicamente activos se manejan mejor mediante el seguimiento de la solución extraída del sustrato.

Desde el punto de vista hortícola, el objetivo de cualquier sustrato de cultivo es producir mayor cantidad de cosecha, mejor calidad en corto período y con costos más bajos de producción. Además desde el punto de vista medioambiental, los criterios más importantes para elección de un material como sustrato en el cultivo sin suelo deben ser: su obtención, su durabilidad, su capacidad para ser reciclado posteriormente y en caso de ser eliminado no debe provocar un impacto de importancia. Los problemas ambientales originados por la eliminación de los residuos de los sustratos transformados o tratados, han obligado a la búsqueda de nuevos materiales alternativos o sustitutivos, menos agresivos con el medio ambiente, muchos de los cuales son residuos orgánicos biodegradables, no contaminantes (Alarcón, 2000; Abad *et al.*, 2005).

Según Alarcón (2000) una consideración medioambiental positiva en el tema de sustratos es la posibilidad de empleo de subproductos agrícolas y forestales como cortezas, aserrines, corcho, biomasa forestal, fibra de coco, cascarilla de arroz.

La fibra de coco es un sustrato que está siendo estudiado para remplazar el uso de las turbas en Europa, y cuyo potencial se espera dilucidar con relación a las condiciones colombianas; también tiene las mismas limitaciones de caracterización bien sea por falta de ésta o por estudios incompletos, tal como señala Abad *et al.*, (2005).

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, como son el origen del material, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, etc. No todos los sustratos son de origen orgánico como turbas, cortezas, fibra de coco, cascarilla de arroz etc., también los hay inorgánicos como perlita, vermiculita y otros. De ello depende la estabilidad química o resistencia a la descomposición, ya que muchos sustratos calificados como inertes poseen una importante actividad química (Ansorena, 1994; Alarcón 2000).

Tanto características físicas como la capacidad de retención de humedad, la densidad, el contenido de humedad, etc., químicas como el pH, las sales solubles y la CIC y biológicas como la velocidad de descomposición, generan una estabilidad en el sustrato dependiendo la naturaleza del mismo (Ansorena, 1997; Fonteno, 1999).

En Colombia se han estudiado recientemente las propiedades físicas de algunos sustratos: Arias (2003) trabajó sobre la fibra y el polvo de coco de origen colombiano. Meneses (2004) caracterizó la cascarilla de arroz quemada, cultivada con clavel en diferentes fases de crecimiento.

Quintero (2004) determinó las propiedades físicas y las curvas de retención de humedad de sustratos utilizados en la producción de flores de corte (cascarilla de arroz quemada, cascarilla de arroz cruda, turba y escoria de carbón), y los

comparó con los rangos ideales sugeridos por Abad (1991) citado por Ansorena (1994), demostrando que estos rangos no son aplicables a los sustratos utilizados en Colombia.

2.2.1 Cascarilla de arroz quemada

Este material es un subproducto de la industria molinera que se produce ampliamente en las zonas arroceras y que ofrece buenas propiedades para ser usado como sustrato en sistemas de siembra sin suelo. Es un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición, dado su alto contenido de sílice. Es liviano y su principal costo es el transporte, dado que para los molineros es un desecho. Se presenta como material liviano, de buen drenaje, buena aireación, pero presenta una baja retención de humedad inicial y es difícil conservar la humedad homogéneamente cuando se usa como sustrato único en camas o bancadas. Tiene una buena inercia química inicial, aunque con el paso de los años, dos o más, se va descomponiendo.

Puede tener problemas con los residuos de cosecha, como granos de arroz enteros o en fragmentos, a la vez que pueden encontrarse semillas de otras plantas, que pueden germinar generando un problema de malezas. Una alternativa para mejorar las propiedades físico-químicas de la cascarilla de arroz a corto plazo es la fermentación. Durante el humedecimiento inicial de la cascarilla, los granos de arroz partidos reaccionan con el agua, estos se hidrolizan, y sus almidones se van convirtiendo en azúcares como la glucosa, la cual a su vez se fermenta, con la consecuente producción de alcohol y ácido carbónico, que son fitotóxicos por vía radicular y causan síntomas similares a los de la clorosis férrica (deficiencia de hierro) en las plantas. Durante la fermentación inicial de la cascarilla de arroz, que en condiciones aerobias dura de 15 a 20 días a 18°C, se

produce un incremento del pH aproximadamente hasta 7,8. A medida que el sustrato envejece aumenta su capacidad de retención de humedad. En la tabla 1 se presentan las propiedades químicas de este sustrato (Calderón, 2002).

Tabla 1. Propiedades químicas de la cascarilla de arroz.

Propiedad	Valor (%)	Propiedad	Valor (ppm)
CIC		Hierro	200-400
meq.100g ⁻¹	2-3	Manganeso	200-800
Nitrógeno	0,50 -0,60	Cobre	3-5 ppm
Fósforo	0,08-0,10	Zinc	15-30
Potasio	0,20-0,40	Boro	4-10
Calcio	0,10-0,15	Cenizas	12-13 %
Magnesio	0,10-0,12	Sílice (SiO ₂)	10-12 %
Azufre	0,12-0,14		

Fuente: Calderón, (2002).

A principios de 1992 se inicio el uso de la cascarilla de arroz a medio quemar como una forma de mejorar la capacidad de retención de humedad del sustrato y mejorar sus propiedades físico-químicas. Esta es la alternativa más usada en la actualidad. Con este fin, se coloca la cascarilla en montones y se le enciende fuego por un costado. Simultáneamente se va revolviendo con cascarilla cruda hasta obtener el grado de quemado deseado. Luego se apaga por medio de un chorro de agua. Usualmente la intensidad del quemado que se pretende varía entre 50 y 100 % según el grado de carbonización. Nunca se debe dejar llegar hasta cenizas. Las propiedades químicas de la cascarilla de arroz quemada o tostada van cambiando con el tiempo. En la tabla 2 se presentan las propiedades fisicoquímicas de la cascarilla de arroz quemada o tostada (Medina, 2001; Salazar, 2001; Calderón y Cevallos, 2003).

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas promedio de la cascarilla de arroz tostada.

Propiedad	Cascarilla nueva	Cascarilla usada
Cenizas (%)	38.8	18.1
Materia orgánica (%)	61.2	81.9
Densidad real (g.ml ⁻¹)	1.80	1.63
Densidad aparente (g.ml ⁻¹)	0.42	0.19
Porosidad total (%)	76	88
Volumen de aire cc (%)	59	36
pH (1:1,5)	6.9	6.6
CE (1:1.5) (dS.m ⁻¹)	1.22	3.55
CIC (base seca) (meq.100g ⁻¹)	20.3	32.1

Fuente: Medina (2001).

De acuerdo a Arreaza (2000) a pesar de ser la cascarilla de arroz el sustrato más usado en cultivos de flores, uno de los inconvenientes que presenta este sustrato es su pH alto (entre 7,5 y 9,0) debido a la generación de óxidos durante el proceso de quemado, valores a los cuales la disponibilidad de la mayoría de los elementos menores se ve limitada. Por otra parte, Arreaza menciona que investigaciones han demostrado que es difícil suministrar una cantidad suficiente de calcio en las fórmulas de fertilización, manteniendo un pH bajo en las mismas; así, es entonces recomendable adicionar sulfato de calcio cantidades entre 12 y 15 kg por metro cúbico de cascarilla, bien sea antes de depositarla entre la cama, o una vez se encuentre allí.

2.2.2 Fibra de Coco

La fibra de coco ha sido considerada como un material alternativo adecuado como sustrato para siembra de plantas sin suelo bajo sistemas de cultivos protegidos o

semiprotegidos (Furlani *et al.*, 2005). Constituye un excelente sustrato por su buena capacidad de retención de humedad, con una alta capacidad de aireación, pH ligeramente ácido, y CIC menor que la turba rubia. Los niveles de algunos nutrientes asimilables son muy bajos, particularmente nitrógeno, calcio y magnesio, mientras que fósforo y potasio son elevados. A pesar de ser un material orgánico, su descomposición es muy lenta debido a su elevado contenido de lignina. En Holanda, donde se inició su utilización, se ha reportado una vida útil de ocho a diez años. Sin embargo, en Ecuador en los cultivos donde se ha utilizado se han proyectado para una vida útil de cuatro a seis años, ofreciendo grandes ventajas para la mezcla con otros sustratos. La fibra de coco empleada en hidroponía debe tener una alta relación carbono/nitrógeno, para que se mantenga estable químicamente el sustrato. Dado su origen en regiones costeras suele ser un material rico en sales, especialmente sodio y cloruros. Estos deben ser retirados previamente a su utilización como sustrato hidropónico, lo cual es una práctica relativamente fácil ya que estas sales no se encuentran fuertemente retenidas por el sustrato. Las particulares propiedades físicas y químicas de la fibra de coco pueden llegar a requerir el ajuste de los programas de riego y fertilización, especie por especie (Abad *et al.*, 2005; Calderón, 2001)

Para Alarcón y Murcia (2000) la fibra de coco presenta una elevada CIC, lo que posibilita la obtención de porcentajes de drenajes inferiores en determinados períodos, así como la posibilidad de efectuar una fertirrigación intermitente utilizando esta CIC como reservorio de nutrientes. Su carácter orgánico y la actividad biológica le confieren determinadas características que conviene tener en cuenta desde el punto de vista de la nutrición mineral. Las propiedades bioquímicas le confieren unas características de manejo parecidas al suelo desde el punto de vista agronómico. En la nutrición mineral de las plantas sobre fibra de coco la gran cantidad de coloides orgánicos permiten la retención de una

considerable cantidad de fosfatos a través de puentes de calcio. La tendencia a la escasez de oxígeno en determinadas situaciones, puede proporcionar bajos potenciales redox, favoreciendo procesos de desnitrificación, apreciables niveles de nitritos.

En la tabla 3 se relacionan las propiedades químicas de la fibra de coco, citadas por Mora (1999)

Tabla 3. Propiedades químicas de la fibra de coco.

Propiedad	Valor	Micronutrientes	Rango (ppm)
CE (ms.cm ⁻¹)	0,06-2,9	Azufre	25
CIC (meq. 100 ⁻¹ g)	60-130	Hierro	1,2
Lignina (%)	60-70	Manganeso	1,1
pH	5,6-6,9	Zinc	0,7
Macronutrientes	Rango (ppm)	Cobre	0,4
Nitrógeno	17	Boro	0,1
Fósforo	15	Aluminio	1,0
Potasio	253	Cloro	26-1000
Calcio	70		
Magnesio	460		

Adaptada de Mora, (1999).

La mayoría de estudios han hecho énfasis en las propiedades físicas de los sustratos, ya que son consideradas como las más importantes. Esto es debido a que si la estructura física de un sustrato es inadecuada, difícilmente se podría mejorar una vez establecido el cultivo. Sin embargo, es igualmente importante determinar sus propiedades químicas, pues una vez establecido el sustrato en el contenedor estas propiedades pueden ser modificadas de acuerdo a la necesidad del cultivo. Por ejemplo, si el sustrato no posee un pH o el nivel nutricional adecuado, puede mejorarse añadiendo enmiendas o abonos.

Similarmente, un exceso de sales solubles puede remediarse con un lavado (o lixiviado) con agua de baja salinidad (Cabrera, 2002).

El comportamiento químico de los sustratos es dinámico y variable a través del tiempo. Es importante establecer parámetros que ayuden a definirlo para tomar decisiones que permitan hacer un uso racional y efectivo de la fertirrigación. Junto a sus propiedades físicas adecuadas que aseguren el anclaje de la planta y el suministro de aire y agua, el sustrato debe proporcionar los nutrientes minerales necesarios que, a través de las raíces toma la planta de la solución del sustrato. El medio de cultivo no es inerte sino que interacciona con la solución nutritiva y, además de desempeñar las funciones anteriores, actúa como reserva de nutrientes, a través de la CIC, y esta a su vez depende en gran medida de la acidez o pH del medio, de ahí radica la importancia de la caracterización química de los sustratos y de igual manera los aspectos nutricionales de la planta (Ansorena, 1994).

2.2.3 Propiedades químicas

Las propiedades químicas caracterizan la transferencia entre el sustrato y la solución del sustrato: reacciones de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales (química), reacciones de intercambio de iones (físicoquímica) y reacciones de biodegradación de la materia orgánica (bioquímica). Los materiales orgánicos son los compuestos que contribuyen mayormente a la química de los sustratos, debido a la formación y presencia de las sustancias húmicas, el producto final de la descomposición de la materia orgánica (Abad *et al.*, 2005).

Las propiedades químicas usadas para la caracterización de sustratos son: pH, CIC, CE y el porcentaje de materia orgánica presente en el medio. Un cultivo en contenedor requiere de riego y fertilizaciones frecuentes y, por tanto, se hace necesario el conocimiento tanto de las propiedades físicas como químicas. El análisis de químico de sustratos no cuenta con una técnica, algunos métodos de extracción han sido usados para la determinación de pH, CE y disponibilidad de nutrientes dependiendo de la naturaleza del sustrato y de su actividad química (Schmitz *et al.*, 2002; Furlani, 2005).

Cuando se analiza un sustrato químicamente se le debe hacer la evaluación al agua de saturación habiendo lavado el sustrato lo suficiente, como mínimo el doble del volumen del contenedor. Una vez el sustrato está lavado, se recoge el extracto sobrante del agua de saturación en el cual se mide el pH el cual debe estar entre un rango óptimo de (5,5-6,5). El sustrato debe mantenerse en este rango y si es inerte, esto se logra más fácilmente manteniendo un control continuo sobre el pH de la solución nutritiva (Castrillón, 1999).

Furlani (2005) evaluó la extracción de nutrientes en diferentes proporciones de extracción 1:1,5 v/v, 1:2 v/v, 1:5 v/v, 1:10 m/v y extracto de saturación. El sustrato utilizado fue fibra de coco al cual se le adicionó N P K y un fertilizante de lenta liberación. Encontrando que los diferentes métodos de extracción presentaron variaciones tanto para CE como para macronutrientes, con excepción del fósforo. Las mejores extracciones se presentaron en extracto de saturación y en proporción 1:1,5.

2.2.4 Sales solubles

Las sales solubles son sales minerales disueltas presentes en un sustrato, provienen de los fertilizantes, de impurezas en el agua de riego y de materia orgánica como estiércol y otros componentes de los medios del cultivo. Todos los nutrientes del suelo que estén disponibles para absorción reciben el nombre de sales solubles, su contenido inicial debe ser bajo, para evitar daños en las plantas jóvenes que son sensibles a ellas. Medir la conductividad eléctrica es la forma directa de establecer el contenido de sales solubles de una solución. La CE es una medida del nivel de electrolitos en solución (sales disociadas) (Abad, 1993 citado por Abad y Noguera, 1998).

Una alternativa para los suelos salinos, que a la vez permite contrarrestar la problemática de plagas y enfermedades, es el uso de cultivos sin suelo (Gül *et al.*, 2005). Esta es una técnica de cultivo que se ha venido incrementando en casi todo el mundo, sobre todo bajo condiciones de invernadero, puesto que permite un buen control del crecimiento y desarrollo de la planta (Rouphael y Colla, 2005).

Para Sonneveld y Voogt (2001) en los sistemas de siembra en sustrato los nutrientes mayores tienen un importante papel en el potencial osmótico de la solución del sustrato. Esto significa que el nivel de nutrientes vegetales está involucrado con el nivel de salinidad. Esto implica que el potencial osmótico total sea el parámetro preponderante para juzgar los efectos de la salinidad sobre las plantas. Sin embargo esto solamente aplica a condiciones en las cuales todos los elementos esenciales están disponibles en el ambiente radical en suficiente concentración para un óptimo desarrollo vegetal.

Mass y Hoffman (1977) citado por Sonneveld y Voogt (2001) presentaron un modelo para el análisis de la tolerancia a sales. En estos estudios se encontró

que los valores umbrales para los cultivos vegetales estudiados varían entre 2,3-3,5 ds.m⁻¹ y para flores de corte entre 1,1 -2,1 ds.m⁻¹.

Las sales no sólo reducen la disponibilidad de Ca²⁺ sino también su transporte y movilidad hacia las regiones de crecimiento de las plantas, como consecuencia los órganos vegetativos y reproductivos se ven afectados. Adicionalmente, un contenido excesivo de NaCl en el sustrato disminuye la absorción de otros elementos nutritivos, sobre todo el K⁺ y NO₃⁻ (Grattan y Grieve, 1999; Cabareño *et al.*,2004).

2.2.5 Análisis del contenido de elementos en sustratos

El análisis de sustratos es la determinación química del contenido de nutrientes en una muestra de sustrato proveniente de la zona radical. Es un procedimiento rápido y económico para obtener información sobre la disponibilidad de nutrientes en los sustratos y es necesario para las recomendaciones para aplicación de fertilizantes. Lo más importante es que un análisis de sustrato refleje los niveles de nutrientes potencialmente disponibles para las raíces de las plantas en el sustrato, sin embargo el análisis de sustrato no reporta que cantidad de un nutriente mineral en particular necesita la planta o si le es posible absorberlo. Esta información adicional se determina a través del análisis de tejidos vegetales (Taiz & Zeiger, 2002; Marschner, 1995).

De acuerdo a Marschner (1995) la concentración de nutrientes minerales en la solución del sustrato es importante para el aporte de nutrientes para las raíces

Los requerimientos para los elementos minerales cambian durante el crecimiento y desarrollo de una planta, en las plantas de cultivo los niveles de nutrientes en ciertas etapas de crecimiento tienen influencia sobre el redimiendo de los tejidos con importancia económica (tubérculos, granos, etc). Para optimizar los rendimientos, se emplean los análisis de los niveles de nutrientes tanto en sustratos como en tejidos vegetales, para establecer los programas de fertilización (Taiz & Zeiger, 2002).

3. ANÁLISIS Y DIAGNOSTICO

El planteamiento básico de este trabajo es determinar hasta que punto la recirculación de la solución nutritiva podrá reducir los gastos de producción o minimizar el impacto visual generado por los drenajes en los sistemas abiertos. Como afectara a la producción comercial de especies consideradas sensibles frente a las más tolerantes a la salinidad y que variaciones se producen en los drenajes obtenidos cuando se mantiene la misma solución recirculando durante todo un ciclo de cultivo.

Para comprobar estos objetivos se plantea diseñar un sistema de producción en dos tipos de sistemas: un sistema abierto, frente a un sistema recirculante, en donde se pretende comparar efectos de producción del cultivo.

Para el sistema recirculante se planta trabajar con dos niveles de drenajes: El primero, en el que todos (100%) los drenajes obtenidos se recogerán en un depósito de fertirriego y se utilizaran como solución hasta que se alcance el nivel mínimo del depósito, momento en que sea necesario reajuste de la solución.

Otro parcial, en el que solo el 50% de los drenajes obtenidos sera dirigido hacia el deposito de fertirrigación, del que se extraerá una cantidad determinada para preparar una nueva solución de fertirrigación que cumpliese las mismas condiciones definidas para el sistema abierto, e igualmente solo se le realizará ajuste cuando solo alcance el nivel mínimo.

Cuando la recirculación es total puede existir un incremento de la salinidad en la solución de fertirrigación que podría causar graves daños sobre los cultivos sensibles a la salinidad, con lo que se espera obtener información sobre los niveles máximos tolerables por estos cultivos en sistemas cerrados de elevada frecuencia de fertirrigación. Por tanto la otra parte propuesta para la investigación es el análisis foliar de las plantas sometidas a esta recirculación como el monitoreo continuo de los drenajes recogidos en el cultivo.

El ahorro de agua y fertilizantes que implica la utilización de los sistemas cerrados puede variar entre un 15% y el 50% están influenciado por la variación en las demandas originadas por las condiciones ambientales.

El incremento de la CE de los drenajes obtenidos en los sistemas recirculantes está relacionado con la acumulación de iones que no se absorben o lo hacen más lentamente, y se compensa con la absorción de los iones que presentan elevadas velocidades de absorción, por lo que solo es un indicativo de la presencia de elementos no asimilados en la solución de fertirrigación y no debería utilizarse como único elemento de decisión sobre las actuaciones a efectuar sobre la solución recirculante.

Los drenajes obtenidos en un sistema cerrado como base para preparar una nueva solución de fertirrigación teóricamente es un agua de escasa calidad agronómica, el siguiente paso será la utilización de un sistema que permita utilizar cantidades variables de los drenajes obtenidos en función de sus propiedades y de los requerimientos del cultivo.

Por tanto es importante determinar el efecto de los tratamiento de recirculación sobre el gasto de solución nutritiva fresca, su efecto sobre la producción y sobre la calidad comercial de la misma y evaluar el efecto sobre las variaciones iónicas que se producirían tanto en la solución de fertirriego como en los drenajes.

4. FORMULACION DE ALTERNATIVAS

Como alternativas viables para implantar e implementar en un cultivo de flores, sustratos, soluciones y recirculación, se formulan las siguientes:

Para viabilizar el cultivo hidropónico con recirculación se debe seguir el procedimiento descrito y contar con los equipos y materiales necesarios.

Localización

La implantación se debería realizar en un módulo de invernadero tradicional en madera compuesto de cuatro naves con ventilación cenital y un sistema de cortinas laterales manuales.

Material Vegetal

Se utilizarían plantas enraizadas homogéneas de flores, pueden ser rosas o claveles, o cualquier tipo de flor cultivada bajo invernadero.

Manejo del cultivo

Presiembra

La preparación del terreno consistirá en: Localización, marcación y preparación del terreno, aplicación de herbicidas, arado, rastrillado, retiro de pasto y nivelación.

Se prepararan tentativamente 18 camas en total para los sustratos. Todas las camas construidas en el bloque estarán separadas entre sí por caminos laterales de 56 cm de ancho. También se construirá un camino central de 2.20m de ancho, destinado a la circulación del personal y equipos de trabajo. Previamente a la siembra de las plantas en el invernadero, se analizaran muestras de los sustratos a utilizar (cascarilla, mezclas con fibra de coco y fibra de coco).

Para los sustratos se utilizaran camas de doble hilera, de contenedores cóncavos en plástico negro calibre 6, de 30m de largo x 0,8m de ancho. Para lo cual se deberá construir camas levantadas y aisladas del suelo, utilizando madera, alambre y plástico, con los respectivos canales de recolección de lixiviados. Una hilera de contenedores estará compuesta por diez contenedores de 3 m de longitud por 0,3 m de ancho y 0,15 m de profundidad máxima y con capacidad para 2,7 m³ de sustrato. Finalizando las camas de siembra se encontraran canecas sembrabas en el suelo donde se hará la recolección de los lixiviados, a los tres niveles 0%, 50% y 100% en las diferentes mezclas de los sustratos.

Materiales

1. 100% de cascarilla de arroz quemada (100CAQ).
2. 50% de cascarilla de arroz quemada más 50% de fibra de coco (65CAQ).
3. 50% de cascarilla de arroz quemada más 50% de fibra de coco (35CAQ).
4. 100% fibra de coco (100 FC)

Control de laboratorio

Durante el periodo de desarrollo de las plantas, desde la siembra hasta cosecha se deben realizar muestreos diferenciales para análisis químico de sustratos, foliares y lixiviados.

A las anteriores muestras se les realizaría la caracterización química completa, en un laboratorio químico.

Análisis de sustratos

Para estos análisis en la toma de muestra se utilizaría un barreno, con el cual se obtendrán las muestras a una profundidad de 10 cm. Con el propósito de contar con muestras representativas, se tomaran varias submuestras recorriendo en zigzag cada cama de los tratamientos y posteriormente se preparará una muestra homogénea de 1kg para los respectivos análisis: pH, CE (conductividad eléctrica); N (nitrógeno total), método del micro-kjeldahl; P calcinación de la muestra, valoración colorimétrica con vanadato y molibdato de amonio; Ca, K, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn calcinación de la muestra, espectrofotometría de absorción atómica; B calcinación de la muestra, valoración colorimétrica con Azometina-H; CIC (capacidad de intercambio catiónico), desplazamiento del NH_4 intercambiado con NaCl 1M, valoración volumétrica; CO (carbono orgánico), método Walkley-Black, valoración volumétrica.

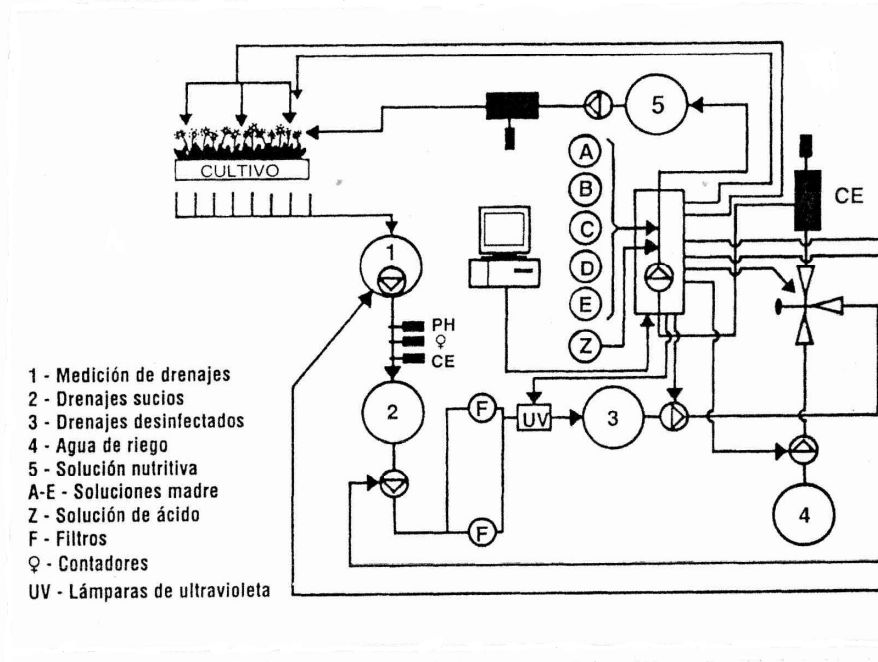
Análisis foliares

Para los análisis foliares, se utilizaría hojas sanas y completamente expandidas, de la parte superior (5° ó 6° par de hojas) de tallos en fase vegetativa de plantas bien desarrolladas. Para obtener muestras representativas, se tomaran varias submuestras a lo largo de la cama de cada uno de los tratamientos y se prepara una muestra homogénea de 200 g de hojas (masa fresca). El mismo protocolo de análisis de sustratos se utilizó para el análisis de las muestras foliares.

Análisis de Lixiviados

Se utilizarán recipientes plásticos para la toma de muestras de los lixiviados, las cuales serán recogidos en los canales de las camas de cada uno de los sectores o áreas de cultivo con la finalidad de preparar una muestra homogénea de 1 L de solución. Estos lixiviados se analizarán según los siguientes métodos: pH por lectura en potenciómetro, CE por lectura en conductivímetro a 25°C; cloruros por titulación con AgNO_3 0,014N; sulfatos por turbidimetría (precipitación con BaCl_2); fosfatos por el método de cloruro estannoso, valoración colorimétrica; nitratos y amonio por el método de microKjeldahl, valoración volumétrica; Ca, K, Mg, Na, Cu, Fe, Mn, y Zn por espectrofotometría de absorción atómica.

Figura 1. Esquema de un sistema de recirculación en un cultivo de flores.



Registro de las variables

Tipo y cantidad de variables analizadas

Para poder estimar la variación de las propiedades químicas de los sustratos a base de cascarilla de arroz quemada y fibra de coco, así como de los lixiviados y del follaje durante los procesos de desarrollo de las plantas en las condiciones evaluadas se tendrán en cuenta los siguientes parámetros:

- a. Propiedades químicas de los sustratos
- b. Nutrición sustrato – foliar (planta)
- c. Comparación de los tres niveles de recirculación, 0%, 50% y 100% y pérdidas por lixiviación con respecto a nutrición de la planta.

Características químicas básicas para los sustratos y extracción foliar

De Macronutrientes

NS: Nitrógeno sustrato (%), NF: Nitrógeno foliar (%), PS: Fósforo sustrato (%), PF: Fósforo foliar (%), KS: Potasio sustrato (%), KF: Potasio foliar (%), CaS: Calcio sustrato (%), Ca F: Calcio foliar (%), MgS: Magnesio sustrato (%), Mg F: Magnesio foliar (%).

De Micronutrientes

CuS: Cobre sustrato (mg L^{-1}), CuF: Cobre foliar (mg L^{-1}), FeS: Hierro sustrato (mg L^{-1}), FeF: Hierro foliar (mg L^{-1}), MnS: Manganeso sustrato (mg L^{-1}), MnF: Manganeso foliar (mg L^{-1}), BS: Boro sustrato (mg L^{-1}), BF: Boro foliar (mg L^{-1}), ZnS: Zinc sustrato (mg L^{-1}), ZnF: Zinc foliar (mg L^{-1}), CIC, CE y pH

De Lixiviados, cationes – aniones

Potasio (mg L^{-1}), calcio (mg L^{-1}), sodio (mg L^{-1}), magnesio (mg L^{-1}), nitrato (mg L^{-1}), amonio (mg L^{-1}), sulfato (mg L^{-1}), fosfato (mg L^{-1}), cloro (mg L^{-1}), CE, pH.

Para el diseño experimental se debe contar con los siguientes parámetros, que en cierta manera los dará la manera como se ubicarán las camas de siembra dentro del invernadero. Por tanto el diseño experimental obedecerá a bloques completos al azar (BCA), compuesto por dos bloques, tres tratamientos, tres repeticiones y tres niveles de recirculación, donde la unidad experimental será la cama de cultivo de $25,5 \text{ m}^2$.

Para el análisis de los datos se realizará análisis de varianza multivariado, de contrastes y las respectivas pruebas de comparación de medias (Tukey, $p < 0,05$) por semanas con el fin de establecer los cambios en las concentraciones de foliares, sustratos, suelo y lixiviados durante las etapas de desarrollo del cultivo, en los tratamientos 100CAQ, 50CAQ, 50CAQ y en los tres niveles de recirculación.

Los controles serán planteados de la siguiente manera:: variables contenido foliar: contraste 1 (C1) (suelo vs 100CAQ), C2 (suelo vs 65CAQ), C3 (suelo vs 35CAQ), C4 (100CAQ vs 65CAQ), C5 (100CAQ vs 35CAQ) y C6 (65CAQ vs 35 CAQ). Variables sustratos y lixiviados: C1 (100CAQ vs 65CAQ), C2 (100CAQ vs 35CAQ) y C3 (65CAQ vs 35 CAQ).

De igual forma se realizarán las correlaciones entre las variables las cuales serán analizadas con el análisis de componentes principales, mediante el procedimiento PROC PRINCOMP, por medio del paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2003).

5. IMPACTO AMBIENTAL DE LOS CULTIVOS FLORICOLAS

Actualmente, la aplicación de las disposiciones en materia ambiental, otorgan a las autoridades ambientales amplias facultades para hacer requerimientos en materia de permisos para el uso de los recursos naturales.

En este sentido las guías ambientales a mediano y largo plazo, deben constituirse en el marco de referencia técnica para todas las autoridades que conforman el Sistema Nacional Ambiental y a su vez en las condiciones que deben cumplir los productores del sector floricultor.

Adicionalmente, las guías deben propender por el ejercicio de la autoridad sobre el control posterior a la realización de las actividades productivas en el sentido de establecer acciones efectivas que aseguren el cumplimiento de los principios constitucionales y legales.

La floricultura colombiana se desarrolla a partir de la década de 1960, estableciéndose desde entonces como una actividad de rápido crecimiento. Se basa en un modelo de agricultura intensiva, lo que significa uso de tecnología e insumos y optimización en el uso del espacio. En cuanto al empleo se caracteriza por ser la actividad agrícola con más mano de obra por hectárea y un elevado número de profesionales de diversas disciplinas trabajando en el sector. En Colombia, la floricultura se ha configurado como una actividad empresarial con un alto nivel de desarrollo y profesionalismo.

Las actividades productivas generan impactos sobre el medio ambiente según la forma como se realicen. Si se realiza con el conocimiento de dichos impactos y se busca evitarlos, es posible desarrollar una floricultura armónica con el entorno. Si por el contrario, por desconocimiento la actividad se desarrolla sin incluir la variable ambiental, se generan impactos negativos. En la floricultura colombiana se presentan los dos casos.

El agua es un recurso vital por excelencia. Toda la población tiene derecho a su acceso y es responsable de su uso racional. Pertenece al conjunto de la población, y por lo tanto es administrada por el Estado. Para facilitar dicha tarea de administración, las instituciones del Estado que velan por la protección de este recurso, las autoridades ambientales requieren conocer el número de usuarios y las necesidades que estos tienen.

El sector agrícola es un gran consumidor de agua. Es importante optimizar el uso del recurso en este sector y en particular en la floricultura a través de la capacitación en su manejo y control, del mejoramiento de estructuras de captación, conducción, almacenamiento y reuso del agua, de la tecnificación de los sistemas de riego, de la medición de los consumos entre otros. La tasa de uso es un incentivo económico que busca desestimular el uso ineficiente fijando un precio al consumo de agua.

La Planeación Ambiental está referida a las implicaciones y medidas necesarias para minimizar el impacto que causa la instalación de un nuevo cultivo o la ampliación de cultivos existentes, con nuevas tecnologías que se quieran establecer, como el caso de la recirculación del agua de fertirriego o solución

nutritiva, para mitigar el impacto ambiental que esto genera cuando se deja drenar libremente.

Cuando se realizan, prácticas como reutilización de drenajes, el objeto principal es disminuir la contaminación proveniente de los residuos y manejo de los cultivos de flores. Una manera de contrarrestar la problemática ambiental que presenta el sector floricultor en Colombia es a través de la recirculación de los lixiviados, desechos líquidos, para aprovechar su potencial fertilizante, y el reciclaje de los sustratos del cultivo. Con miras a liberar el suelo y las aguas superficiales y subterráneas del uso excesivo de fertilizantes.

Técnicas como el cultivo en sustrato (arena, perlita, lana de roca, fibra de coco, cascarilla de arroz quemada), no solo están contaminando las aguas, sino que ocasionan la pérdida de cantidades importantes de agua y nutrientes, por lo que es aconsejable el uso de sistemas de recirculación de la solución nutritiva. Para ello, se busca diseñar un sistema automatizado, con el fin de recoger los lixiviados (solución drenada de agua y fertilizantes) y reutilizarlos en el mismo cultivo o en el de otras flores. Con esto, además de economizar agua y fertilizantes se impide que el suelo se contamine con la solución.

Prácticas como la de reutilización de los lixiviados de un cultivo buscan evitar que este tipo de lixiviados salga al medio y se depositen en los suelos produciendo contaminación por sales, ya que los fertilizantes que se utilizan en la floricultura son altamente solubles.

Por otra parte en la necesidad de optimizar el uso del agua y los fertilizantes son de vital importancia, los análisis de sustratos y los análisis foliares para el diagnóstico de la nutrición, estos análisis se deben ver reflejados en las formulaciones líquidas, las cuales deben tener una alta solubilidad.

En la planeación de proyectos de floricultura se requiere tener claridad y conocimiento con respecto a la naturaleza y a las implicaciones de las actividades propias del proceso productivo; y sobre las obligaciones y responsabilidades ambientales que derivan de su ejecución.

Con la planeación ambiental se busca, minimizar los efectos negativos de la actividad en el entorno, maximizar los beneficios de la actividad floricultora, en cuanto al aprovechamiento racional de los recursos naturales, tales como agua, destinar los recursos requeridos para la implementación de las medidas ambientales necesarias. Por tanto hacer un uso racional y eficiente del agua para contribuir a conservar el recurso hídrico, cumple con los requerimientos legales y reduce costos de producción.

Se debe tener en cuenta algunos impactos a manejar como son, el desbalance en la demanda sobre la oferta hídrica de fuentes superficiales y subterráneas, que desencadena en la determinación de las necesidades de agua. Controlando sistemas de riego más eficientes, medición del consumo, diseño y construcción de sistema de recolección y almacenamiento de agua lluvia y de agua lixiviada por el cultivo, en proceso de riego. En la figura 2 se muestra un diagrama de aprovechamiento del agua en la floricultura.

Los fertilizantes y pesticidas constituyen una importante parte de la agricultura comercial en la actualidad. El uso de los pesticidas ha aumentado más de tres veces desde 1964 con aproximadamente 680,000 Kg aplicados por año en la actualidad. Estos notorios incrementos se deben a los muchos beneficios derivados del uso de dichos agroquímicos, sin embargo su uso también supone un riesgo para el medio ambiente. Dado que la producción en los invernaderos es francamente intensiva, el manejo del agua y la escorrentía que se genera son cada vez más importantes.

La escorrentía proveniente de la lluvia y el riego puede causar la concentración de fertilizantes y pesticidas en aguas que eventualmente se abren camino hasta las reservas de agua subterráneas. En consecuencia el uso continuo y no regulado de dichos químicos tiene el potencial de contaminar lagos, riachuelos, lagunas, pozos y aguas subterráneas.

La mortandad de peces, las fallas reproductivas de los pájaros y algunas enfermedades agudas en los humanos y animales, han sido correlacionadas con el agua contaminada. Sin embargo, la fuente o fuentes exactas de estos químicos perjudiciales no son siempre aparentes.

Sustancias contaminantes y efectos para el ser humano y los cultivos

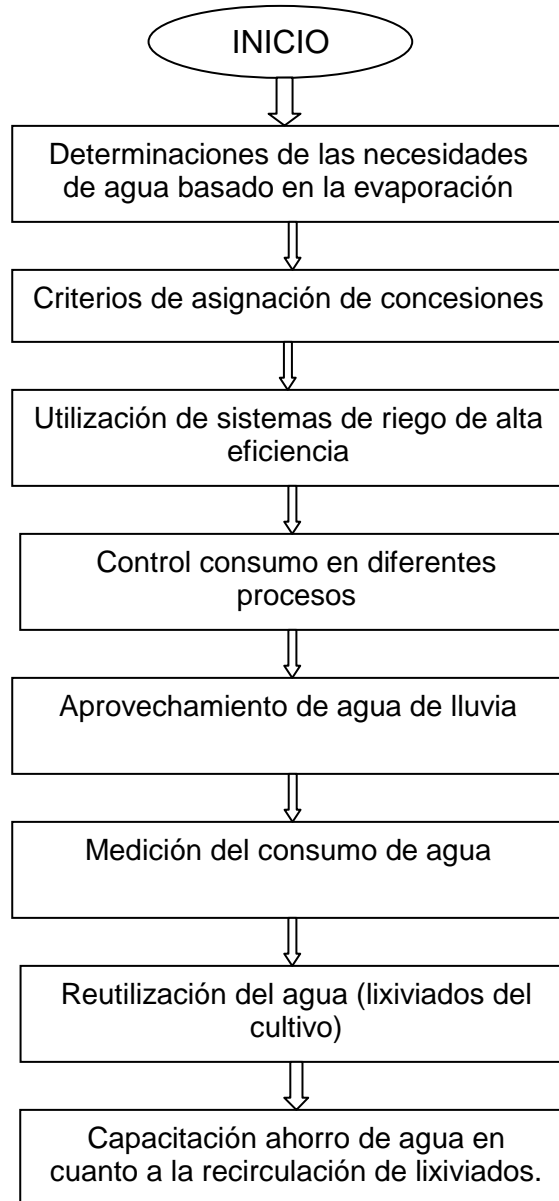
El uso prolongado de fertilizantes y pesticidas agrícolas ha sido motivo de creciente preocupación debido a la vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), publicó un Estudio Nacional de Pesticidas en los Pozos de Aguas Potables, de los 127 análisis realizados, el nitrato fue el compuesto más frecuentemente detectado en los pozos. Se ha demostrado que los niveles altos de nitrógeno en el agua

pueden causar problemas relacionados con la salud humana. Las formas amoniacales de nitrógeno en el agua superficial pueden ser directamente tóxicas para los peces y otras formas de vida marina. Además el nitrógeno estimula el crecimiento de las plantas, aumentando la tasa de descomposición y los niveles de algunas toxinas vegetales. A medida de que este proceso ocurre, se agota la concentración de oxígeno en el agua.

Los cultivos bajo invernadero se encuentran entre los de mayor consumo de agua de la producción agrícola comercial; también consumen tasas relativamente altas de fertilizantes y pesticidas, como resultado es frecuente que se generen grandes volúmenes de escorrentía, que tiene el potencial de llegar hasta las fuentes de aguas superficiales y subterráneas.

Por ello es necesario trabajar en técnicas de manejo de agua que permitan conservar y proteger las fuentes naturales de agua. A medida que la regulaciones relacionadas con el agua superficial y subterránea se tornan más estrictas, cada vez más se exige con más frecuencia registrar información sobre la escorrentía de riego y el impacto que tiene la industria de los invernaderos sobre el agua subterránea. Por lo anterior resulta crítico desarrollar, evaluar y adaptar tecnologías alternativas que reduzcan el consumo de agua y fertilizantes y la contaminación de las fuentes naturales de agua. Estas tecnologías a su vez requerirán métodos nuevos y mejorados para calcular las cantidades totales de agua y fertilizantes necesarios en los cultivos bajo invernadero.

Figura 2. Acciones para el ahorro y uso eficiente del agua.



Fuente: Asocolflores (2005).

Marco jurídico relevante para la floricultura

El marco jurídico aplicable de consideración e importancia para la floricultura en cuanto a usos del agua tiene que ver con los siguientes decretos:

1. Decreto 1541 del 26 de julio de 1978, Minagricultura, en donde establece lo relativo al permiso para aprovechamiento o concesión de aguas, normas específicas para los diferentes usos de recursos hídricos.
2. Decreto 1594 del 26 de junio de 1984 de Minsalud, establece los criterios de calidad para aguas naturales que van a ser utilizadas para consumo humano, uso agrícola e industrial entre otros.
3. Acuerdo 10 de 1989 de la CAR, administración del recurso hídrico, incluyendo permiso de exploración de aguas subterráneas y concesiones de aguas superficial y subterráneas.

A continuación se presenta una matriz de identificación de posibles impactos ambientales en cultivos de flores haciendo relevancia a la contaminación por lixiviados, tabla 4.

En la tabla 5 se presenta un resumen de medidas ambientales más importantes para cada impacto, definidas tanto por actividad como por recurso.

6. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL

Aspecto ambiental a tener en cuenta y que interactúa con el medio ambiente, y el impacto se refiere al cambio que ocurre en el ambiente como resultado del aspecto.

Etapas 1: Fertiriego y utilización de sustratos.

Etapas 2: Aspectos ambientales de la actividad de fertiriego y uso de sustratos.

1. Reservorio de aguas lluvias o superficiales.
2. Desinfección y utilización de sustratos para siembra.
3. Lineamiento e identificación del terreno para establecimiento del invernadero.
4. Materias primas e insumos agroquímicos utilizados en el establecimiento del cultivo.
5. Mano de obra humana para establecimiento del cultivo (camas, canaletes, canecas, mangueras de riego, sistema de fertiriego, tanques para solución nutritiva, filtros de desinfección, alistamiento del terreno para montaje de recirculación).

Etapas 3: Identificación de los aspectos ambientales de la actividad de fertiriego y uso de sustratos.

1. Montaje del sistema, uso de materiales, vigas, palos, plástico, barrenos para nivelar terreno, montaje de camas de cultivo, todo esto implica una leve contaminación por desechos que dejen una vez montado el sistema.

2. Un aspecto ambiental importante a tener en cuenta es la quema de cascarilla de arroz, por la emisión de gases al medio ambiente perjudiciales.
3. Otro es la desinfección y lavado de la cascarilla de arroz y la fibra de coco, en cuanto al desecho del agua drenada al momento de su lavado.
4. Una vez instalada las camas se debe proceder a instalar el sistema de riego por goteo para cada esqueje de planta que se quiera sembrar, lo cual trae consigo el montaje de camas levantadas con canales de recogida en la parte de abajo donde drenan los lixiviados, una vez se ha realizado el riego, al no tener control de estos lixiviados van directamente al suelo y por percolación pueden llegar a las aguas subterráneas y contaminar dichas aguas.
5. Otro aspecto a tener en cuenta es el desecho de los sustratos una vez se ha terminado el ciclo productivo del cultivo.
6. Otro aspecto ambiental a tener en cuenta es el almacenamiento y desinfección de la solución lixiviada.

Objetivos y Metas ambientales

Objetivos

Diseñar y montar un sistema de recogida de lixiviados, esto con el fin de evitar que los drenajes del cultivo se vayan directamente al suelo y se evite contaminar las aguas superficiales y subterráneas.

Meta:

Alcanzar una recuperación de los lixiviados del al menos un 70%.

Indicador:

Litros semanales almacenados.

Objetivo:

Reajustar y desinfectar la solución recirculante para volverla a inyectar al cultivo por medio del riego por goteo.

Meta:

Alcanzar ajuste de la solución 100% drenada, monitoreando aspectos químicos tales como pH, CE, nitratos y nitritos.

Indicador:

Aspecto nutricional de la planta, en cuanto a crecimiento y estado fenológico.

Objetivo:

Reutilizar los sustratos una vez se ha terminado el ciclo productivo del cultivo

Meta:

Poder reutilizar de nuevo los sustratos en otro tipo de cultivo para evitar su desecho al medio ambiente.

Indicador:

Reporte de los análisis químicos de cada uno de los sustratos y sus mezclas, esto con el fin de poder tener un estimativo del contenido de elementos del mismo y así poderlo ajustar a otro tipo de cultivo.

Programa de Gestión Ambiental

1. Compromiso con la política ambiental: Conservar los recursos naturales, en este caso agua y conservación de suelos.

2. Objetivo: Minimizar el uso de agua y fertilizantes y mitigar la contaminación del ambiente por desechos de los sustratos utilizados en la siembra.

3. Meta: Reducir en un 50% el consumo de agua y contaminación por desechos de los sustratos.

4. Programa Ambiental: Ahorro en la utilización de los fertilizantes y agua de riego y reuso de los sustratos.

5. Acción: Se realizará recogida de los lixiviados drenados por el cultivo en canecas enterradas en el suelo, dispuestas al finalizar cada cama de cultivo. Posterior a esta recogida de lixiviados se realiza desinfección y reajuste de solución nutritiva y de nuevo se recirculará al medio. Una vez terminado el ciclo productivo del cultivo se procedería a reutilizar los sustratos utilizados en otro cultivo.

Implementación

Consecución de nuevas tecnologías amigables al medio ambiente que permita promover este tipo de montajes. Para ello es necesario apoyarse en costos de la infraestructura y mano de obra de cada uno de los sistemas a montar.

Los beneficios de montar este tipo de técnicas son varios como: Facilidad de desinfección del sustrato, homogeneidad del cultivo, mejor control del uso del agua, posibilidad de uso de aguas salinas, ajuste rápido de suministro / demanda de nutrientes, facilidad de calefacción del medio radicular, reducción de operaciones de cultivo, mayor precocidad, mayor potencial de rendimiento / calidad, permite el cultivo en medio hostil y el control de malas hierbas.

Tabla 4. Matriz de identificación de posibles impactos ambientales en cultivos de flores.

		Actividades que generan impacto																					
MEDIO	Componente ambiental	Indicador ambiental	Actividades complemento	Construcción y mantenimiento infraestructura			Propagación de plantas Madres / Bancos enraizamiento/ Producción							Postcosecha									
			Operación área administrativa y saneamiento básico	Invernaderos, postcosecha.	Reservorios, vallados, pozos profundos, tratamiento de aguas residuales	Redes y equipos de aspersión y fertirriego	Preparación del terreno / llenado de bancos	Desinfección del sustrato.	Siembre de los esquejes	Labores culturales	Fertilización y riego	Uso y manejo de plaguicidas	Cosecha y manejo de esquejes	Arranque de las plantas	Compostaje	Clasificación	Tratamiento preservación	Empaque	Almacenamiento	Despacho	Recolección		
Medio Físico	Agua	Vertimientos de lixiviados																					
		Vertimientos con plaguicidas																					
		Consumo																					
		Recolección de lixiviados																					
		Solución nutritiva																					
	Sustratos	Contaminación química																					
		Propiedades físicas																					
		Calidad Microbiológica																					
		Solución del sustratos																					
	Residuos Sólidos	Material Vegetal																					
		Lodos																					
		Residuos inorgánicos																					
		Sustratos																					

Fuente: Asocolflores (2004).

Tabla 5. Resumen medidas ambientales más importantes para cada impacto.

PROCESO	ACTIVIDAD	RECURSO	IMPACTOS AMBIENTALES	MEDIDAS DE PREVENCIÓN	MEDIDAS DE CONTROL	MEDIDAS DE MITIGACION
Propagación plantas madres / bancos enraizamiento / producción	Desinfección de los sustratos	AIRE	Emisión de gases y material particulado de calderas	Desarrollo de un programa continuo de mantenimiento de calderas que permitan una operación adecuada y mantenga el mínimo de emisiones contaminantes permitidos por las normas ambientales	Instalación de sistemas de control, como filtros, ciclones o lavadores que garanticen la reducción de emisiones de material particulado	
	Riego y fertilización	AGUA	Agotamiento del recurso hídrico superficial y subterráneo, para usos potenciales.	Campañas de educación al interior del cultivo para el ahorro del agua. Programa de uso eficiente y ahorro de agua.	Mejorar la captación y almacenamiento de agua lluvia. Mejorar la eficiencia de los sistemas de riego para disminuir la presión sobre el recurso de fuentes superficiales y subterráneas.	
	Fertilización	AGUA	Contaminación de cuerpos de agua superficial y subterránea por infiltración o derrame de fertilizantes.y lixiviados	Reutilización de las aguas y soluciones drenados, generados por el cultivo	Estructura de confinamiento en el sitio de almacenamiento para evitar infiltración y derrames de fertilizantes sólidos y líquidos. Monitoreo de algunas propiedades químicas de los drenajes para su reutilización.	Implementación de sistemas de recogida, desinfección y recirculación de lixiviados.

Fuente: Asocolflores (2005).

7. VALORACIÓN DE MEDIDAS AMBIENTALES

Las medidas ambientales se pueden valorar desde dos puntos de vista distintos:

El primero por medio de ensayos de laboratorio, de la solución drenada y del sustrato donde se consigue detectar los posibles iones contaminantes productos de la fertirrigación.

El segundo, se puede apreciar mediante ensayos de campo la disminución de drenajes expuestos al medio ambiente cuando se realiza su recogida y posterior reutilización al cultivo. Al mismo tiempo que evitando el desecho del sustrato y así utilizándolo en otro cultivo nuevo, previo análisis químico.

8. CONCLUSIONES DEL TRABAJO

1. Para poder implementar este tipo de sistemas recirculantes es importante monitorear los lixiviados en cuanto a conductividad eléctrica y el pH, resultados de la fertirrigación suministrada al cultivo, con esto se tendrá una estimación de la posible acumulación de sales en el medio.
2. El agua de riego a utilizarse debe contener bajas concentraciones de sales, por ello es importante antes de su utilización, realizarle un análisis fisicoquímico para determinar los parámetros de la solución nutritiva suministrada a la planta.
3. En los sistemas de irrigación recirculante es necesario ajustar la forma de nitrógeno al pH actual del sustrato o solución recirculante.
4. El análisis químico del sustrato es otro estimativo ideal de la acumulación o liberación de nutrientes, ya que este tipo de sustratos debido a su naturaleza orgánica en contacto con la solución nutritiva, van liberando elementos al medio, siendo también una causa en el aumento de pH y CE.
5. El análisis de la solución lixiviada se hace imprescindible ya que puede alcanzar niveles de alcalinidad, obteniéndose mayor pérdida de nutrientes por lixiviación, y también puede causarle fitotoxicidad a la planta cuando no se ajustan sus parámetros.
6. Con un buen manejo de este tipo de sistemas, se apreciará una considerable disminución de lixiviados vertidos al medio ambiente, evitando la contaminación de aguas subterráneas y la acumulación de sales en los suelos, al comparar cuando se trabaja con sistemas abiertos de vertimientos de desechos.
7. En los sistemas cerrados la producción de plantas madres o flores de corte llegan a ser compatibles con los principios de manejo integrado de plagas.

Igualmente el riesgo de diseminar patógenos con la solución circulante puede minimizarse mediante sistemas de desinfección adecuados.

9. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

1. Existe abundante literatura sobre cultivos hidropónicos, uso de sustratos y reutilización de las soluciones fertilizadas, pero poca aplicación por cuanto la mayoría de cultivos de flores se realiza directamente usando como sustrato la tierra natural, haciendo irrigación y fertilización sobre ella, sin ninguna recuperación.
2. Las alternativas son viables técnicamente de implantarlas en nuestro medio.
3. Las tecnologías formuladas son amigables con el medio ambiente, se requiere valorarlas en sus costos.
4. Se puede lograr una reducción de costos del cultivo, mayores rendimientos y menos costos ambientales.
5. Se logra reducción de contaminantes por infiltración en el suelo, para no afectar las aguas subterráneas y acuíferos.
6. Se cumplió con los objetivos trazados.

10. RECOMENDACIONES

1. Implantar, implementar y estudiar en terreno, las alternativas formuladas para cultivo de flores, impulsándolas en los cultivadores.
2. Estudiar casos específicos y características de sustratos propuestos, soluciones fertilizantes y lixiviados, para determinar su viabilidad económica y costos en cada tipo de cultivo de flores.

Bibliografía

- Abad B., M.; P. Noguera M. y C. Carrión B. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. En: Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales, 3a. ed. Cadahía L., C. (ed.). Madrid: Mundi-Prensa, pp 301 – 354.
- Abad B., M.; P. Noguera M.; R. Puchades; A. Maquiera and V. Noguera. 2001. Physical and chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerized ornamental plants. *Bioresource technology* 82 (202) 241-245.
- Abreu F., M.; C. Furlani A.; P. González A. and H. Santos P. 2005. Total element concentration quantification in substrates. *Acta Horticulturae*. 697:315-319.
- Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Madrid: Ediciones: Mundi-Prensa, pp. 9-170.
- Alarcón V., A. L. 2000. Nutrición mineral: elementos esenciales y dinámica en el sistema suelo – planta. En: Tecnología para Cultivos de alto rendimiento. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, pp.109-243.
- Alarcón V., A. L. y L. Murcia F. 2000. Cultivo en fibra de coco. En: Tecnología para Cultivos de alto rendimiento. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, pp. 245-260.
- Asocolflores. 2005. Últimas cifras de la floricultura Colombiana 2005-2006. En: www.asocolflores.com. Consultado en 15-10-06.
- Arreaza, P. 2000. Técnicas básicas del cultivo de clavel. En: Clavel (*Dianthus caryophyllus*). Bogotá: (ed.). Hortitecnia Ltda, pp. 15 – 40.
- Cabrera, R. I. 2002. Manejo de sustratos para la producción de plantas ornamentales en macetas. Department of Horticultural Sciences Texas A&M University. En: www.uaaam.mx/academic/Horicultura/Memhort02/Ponencia06.pdf. Consultado el 11/11/06.
- Calderón, F. 2001. Contribución al conocimiento del perfil nutricional del clavel; comparativo entre plantas hidropónicas y plantas en suelo. En: www.drcalderonlabs.com. Consultado 10-08-06
- Calderón, F. y F. Cevallos. 2001. Los sustratos en Colombia. En: www.drcalderonlabs.com. Consultado 10-08-06
- FAO. 2005. Depósito de documentos de la FAO. Disponible en www.fao.org/documents/show.cdr.asp consultado en 10-02-06.

- Fonteno, W. C. 1999. Sustratos: Tipos y propiedades físicas/químicas: En: Agua, sustrato y nutrición en los cultivos de flores bajo invernadero. Ree, W. D. (ed.). Ball Publishing y Ed. Horti-Tecnia, pp. 93-123.
- Furlani C., A.M.; M. De Abreu F.; C. De Abreu A.; R. Furlani P. and O. Batagli C. 2005. Determination of available macronutrients, Na, pH and CE in coir substrate incubated with mineral fertilizers. *Acta Horticulturae*. 697:109-115.
- Medina, A., 2001. Avances en la nutrición mineral del clavel. En: Revista Acopaflor, primera parte, N° 2 (marzo-abril): 7-9; segunda parte N°3 (mayo-junio): pp. 8-13.
- Mengel, K. and E. A. Kirkby. 2000. Principles of plant nutrition. Internacional Potash Institute (ed.). Berna, 692p.
- Molitor, D., H 2001. Sistemas de irrigación recirculante: La perspectiva Europea, Edición Técnica.
- Moratinos P., H. y F Zapata N. 2004. Bases nutritivas del fertirriego. En: fertirriego: tecnologías y programación en agroplasticultura. Miguel Guzmán y José López-Gálvez (eds.). Red de agroplasticultura CYTED, pp. 13-16.
- Moss, I., G. 1984. The effects of root-zone warming on the yield and quality of roses Brown in a hydroponic system. *Journal of Horticultural Science* 59 (4) 549 – 558.
- Rouphael, Y. y G. Colla. 2005. Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. *Scientia Horticulturae* 105: 177–195.
- Salazar M, G. 2001. Historia de la hidroponía y de la nutrición vegetal. En: www.drcalederonlabs.com/index.html. Consultado 27-03-06
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide, Version 9.1. Cary, NC:SAS Institute.
- Sonneveld, C., and W. Voogt. 2001. Chemical analysis in substrate systems and hydroponics – use and interpretation. *Acta Horticulturae*. 548:247-259.
- Taiz, L. and E. Zeiger, 2002. Mineral Nutrition In: Plant Physiology. 2ª. ed. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, 792 p.