



**Subprograma N° XIX: Tecnologías Agropecuarias**

**Red Temática N° XIX. A: Red Iberoamericana de Agroplasticultura**

## **FERTI-RIEGO: TECNOLOGÍAS Y PROGRAMACIÓN EN AGROPLASTICULTURA**

**Resultado de:**

**Curso de Formación sobre Plasticultura y Tecnología de Riego Bogotá Colombia 2002**

**Taller de fertirrigación Colegio de posgraduados Universidad Chapingo México 2004**

**Editores: José Miguel Guzmán Palomino,  
José López Gálvez**

**Almería septiembre de 2004**

---

Edita:  
Programa CYTED  
Secretaría General  
C/ Amanuel 4  
28015 Madrid, España  
Telf. 34 91 531 63 87  
Fax: 34 91 522 78 45  
E-Mail: [sgral@cyted.csic.es](mailto:sgral@cyted.csic.es)  
Internet: <http://www.cytmed.org>

Colaboran:

Editores:  
José. Miguel Guzmán Palomino  
Dpto. Producción Vegetal, Universidad de Almería  
04120 Almería España  
[mguzman@ual.es](mailto:mguzman@ual.es)  
José López Gálvez  
Coordinador RED XIX.A de CYTED  
Dpto. Economía Aplicada Universidad de Almería  
04120 Almería España  
[jlgalvez@ual.es](mailto:jlgalvez@ual.es)

Primera edición: septiembre 2004

ISBN: 84-96023-27-3

© Programa CYTED año 2004

Deposito Legal: Al-290-2004

Impreso en España

---

---

# ÍNDICE

<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>1</b>
José López Gálvez Coordinador Red XIX.A CYTED Miguel Guzmán Responsable Grupo RNM 151 PAI-UAL	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>Población, agua, suelo y fertilizantes: el ferti-riego</b>	<b>5</b>
Miguel Guzmán Dpto. Producción Vegetal Universidad de Almería.	
<b>NOCIONES BÁSICAS DEL FERTI-RIEGO</b>	<b>11</b>
<b>Bases nutritivas del ferti-riego</b>	<b>13</b>
Humberto Moratinos P. Universidad Central de Venezuela	
<b>Nutrición vegetal: carbónica, hídrica y mineral</b>	<b>17</b>
Mariela Rodríguez Víctor J. Flórez R. Ricardo Parra Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.	
<b>Elementos esenciales y beneficiosos</b>	<b>25</b>
Mariela Rodríguez Víctor J. Flórez R. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.	
<b>FERTI-RIEGO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA</b>	<b>37</b>
<b>Ferti-riego en sistemas de producción.</b>	<b>39</b>
Miguel Guzmán Dpto. Producción Vegetal Universidad de Almería	
<b>Problemática económico ambiental del ferti-riego</b>	<b>49</b>
Elizabeth Urbano Salazar Escuela Superior Politécnica del Ejercito Quito. Ecuador José López Gálvez Coordinador Red XIX.A CYTED	
<b>Componentes socio-económicas y ambiental del sistema de cultivo forzado</b>	<b>55</b>
José López Gálvez Coordinador Red XIX.A CYTED	
<b>Componentes de los sistemas productivos colombianos con ferti-riego</b>	<b>71</b>
Diego Miranda Universidad Nacional de Colombia	

---

<b>Comparación de sistemas de cultivo en suelo enarenado y en sustrato</b>	<b>89</b>
José López Gálvez Coordinador Red XIX.A CYTED.	
<b>Densidades de siembra en la producción de hortalizas</b>	<b>103</b>
Edgar Iván Estrada. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Valle.	
<b>SISTEMAS DE FERTI-RIEGO</b>	<b>113</b>
<b>Componentes de los sistemas de ferti-riego</b>	<b>115</b>
Eduardo Rodríguez Díaz Departamento de Producción Agrícola CUCBA. Universidad de Guadalajara. México	
<b>Diseño de sistemas de riego por microirrigación</b>	<b>141</b>
Vicente Ángeles Montiel Dpto. de Irrigación. Universidad de Chapingo, Mexico.	
<b>Automatización de sistemas de ferti-riego: una tecnología que requiere adaptación del campo mexicano.</b>	<b>149</b>
Ariel Peña Víctor Hugo Fernández Plásticos Rex. Av. Romulo O'Farril 434	
<b>Evaluación de un sistema de riego localizado (microirrigación)</b>	<b>153</b>
René. Martínez Elizondo Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo México	
<b>Evaluación del riego sub-superficial en el cultivo de alfalfa</b>	<b>161</b>
René. Martínez Elizondo; S. Pérez Nieto; I. Salazar Salazar Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo, México	
<b>MEDIOS, AGUA Y FERTILIZANTES</b>	<b>169</b>
<b>Medios de cultivo</b>	<b>171</b>
José López-Gálvez Coordinador Red XIX.A CYTED Alberto Losada. Dpto. Ingeniería Rural ETSIA Universidad Politécnica de Madrid	
<b>Calidad de agua y ferti-riego</b>	<b>183</b>
Miguel Guzmán Dpto Producción Vegetal. Universidad de Almería	
<b>Características de los fertilizantes para su uso en ferti-riego</b>	<b>191</b>
Eduardo Rodríguez Díaz Departamento de Producción Agrícola CUCBA. Universidad de Guadalajara. México Miguel Guzmán Dpto. de Producción Vegetal. Universidad. de Almería, España	

<b>PROGRAMACIÓN Y CONTROL DEL FERTI-RIEGO</b>	<b>203</b>
<b>Diagnostico nutrimental de cultivos agrícolas</b>	<b>205</b>
Prometeo Sánchez García Grupo de Nutrición Vegetal, Colegio de Postgraduados, México.	
<b>Evaluación de la disponibilidad nutrimental</b>	<b>207</b>
Arturo Galvis-Spinola Grupo de Nutrición Vegetal, Colegio de Postgraduados, México.	
<b>Diagnóstico del estrés por nitrógeno en plantas c3 y c4 mediante el uso de sensores remotos</b>	<b>213</b>
Basilio Brizuela Pérez Programa de Edafología, IRENAT-COLPOS México	
<b>Fertilización de los cultivos</b>	<b>219</b>
Teresa Marcela Hernández Mendoza Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo, México	
<b>Criterios para la dosificación de fertilizantes en hortalizas</b>	<b>227</b>
Manuel Sandoval Villa Programa de Edafología. Colegio de Postgraduados Chapingo México	
<b>La fertirrigación en la floricultura mexicana</b>	<b>229</b>
Rubén Bugarín Montoya Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit. México	
<b>La fertirrigación aplicada a cultivos industriales y ornamentales en Colombia</b>	<b>235</b>
Diego Miranda Universidad Nacional de Colombia	
<b>Recirculação da solução nutritiva em estufa plástica</b>	<b>249</b>
R. Marins Peil Dept. Fitotecnia/ FAEM/ Universidade Federal de Pelotas (Brasil) José López Gálvez Coordinador Red XIX.A CYTED	
<b>Programación del ferti-riego</b>	<b>259</b>
José López Gálvez Coordinador Red XIX.A CYTED Miguel Guzmán Dpto. Producción Vegetal Universidad de Almería	
<b>ANEXOS</b>	<b>285</b>
<b>ANEXO 1: Características de algunos fertilizantes</b>	<b>287</b>
<b>ANEXO 2. Necesidade hídricas de algunos cultivos en invernadero</b>	<b>293</b>
<b>ANEXO 3. Extracciones periódicas de nutrientes para cultivos hortícolas.</b>	<b>305</b>
<b>ANEXO 4. Hojas de cálculo para ajuste de soluciones de ferti-riego</b>	<b>309</b>
<b>ANEXO 5. Relación de participantes</b>	<b>311</b>

---

---

# PRESENTACIÓN

Los actuales sistemas intensivos de producción agraria, usan técnicas de riego localizado y el modo peculiar de cultivar en un medio más o menos artificial: suelo natural modificado, suelo artificial, sustrato e incluso cultivo en una solución salina. Estas técnicas alteran las funciones tradicionales del suelo, como reserva de agua y nutrientes, sirviendo, fundamentalmente, en estos casos como soporte del cultivo. Las nuevas tecnologías intentan ofrecer el agua y los nutrientes, en un medio subsaturado, lo más directamente posible a las plantas, tratando de minimizar las pérdidas por evaporación y lixiviación.

La actividad agraria, en la actualidad, genera demasiados residuos e impactos ambientales, comprometiendo el futuro de muchas áreas geográficas por problemas de contaminación fuentes de agua y de suelos debido al uso sin control de agroquímicos. Ante esta situación la ley de mínimos, que rige en agronomía el estudio de nutrición de los cultivos, debe completarse con una ley de máximos que evite el despilfarro de agua, de fertilizantes y la problemática ambiental resultante de su lixiviación.

La necesidad de producir, cada vez, más con menos insumos es evidente, pero para que ello sea posible es preciso controlar y medir:

Controlar los fertilizantes aportados al cultivo, ya que en buena parte de los casos se desconoce con la precisión deseada la composición de los mismos. Controlar la calidad de las aguas de riego y del medio de cultivo, es bastante frecuente que los sustratos sean poco homogéneos. Controlar con el fin de que agua y fertilizantes se distribuyan uniformemente por el campo de cultivo.

Medir para conocer con cierta aproximación las necesidades agua y de fertilizantes. Medir para conocer el intervalo óptimo entre riegos. Medir para que el equipo de ferti-riego de las prestaciones requeridas. Sabido es la dificultad que entraña las operaciones de control y de medida arriba mencionadas ya que son demasiadas las variables implicadas, lo que hace no sea posible recurrir a recetas y obliga a hacer el proceso experimental *in situ*.

El hecho comúnmente observado de un uso excesivo de agua y fertilizantes y la preocupación creciente ante esta situación, apoyan la publicación de este libro. El libro se configura en cinco bloques que pretenden abordar todos los aspectos relacionados con el fertirriego, intentando abordar aspectos básicos sin olvidar los aspectos prácticos, tan importantes en esta tecnología.

En el capítulo introductorio, se presenta la problemática asociada al incremento de la población mundial y la creciente demanda de alimento. Las presiones que esta demanda ejerce sobre los recursos naturales, agua y suelo, así como la necesidad de utilizar fertilizantes químicos para mantener los niveles de producción alcanzados durante el último siglo. En este sentido, el uso del ferti-riego puede ayudar a incrementar la eficiencia de los recursos y mantener en aceptable equilibrio ambiental.

Se dedica un primer bloque de artículos a recordar las bases nutritivas del ferti-riego, analizando sus bases nutritivas. Los conceptos y procesos implicados en la nutrición vegetal, entendida en sentido amplio, como nutrición carbónica, hídrica y mineral. Finalmente se recuerdan los elementos esenciales para la nutrición de las plantas, así como aquellos que han demostrado tener efectos,

---

positivos o negativos, sobre el desarrollo, el crecimiento o la producción de los vegetales cultivados.

Un segundo bloque de artículos analiza la posición del fertirriego en los sistemas de producción agrícola actual, haciendo especial referencia a los aspectos ambientales, económicos, sociales y culturales que es ven influidos por la utilización de las técnicas de ferti-riego. Se presentan análisis comparativos detallados de diferentes sistemas de producción desde el punto de vista de sus componentes económicos, socio-culturales y ambientales.

Los sistemas de ferti-riego son analizados en el tercer bloque. Se describen los componentes principales de los sistemas de ferti-riego. Resulta ineludible abordar el estudio de los aspectos básicos del diseño, la automatización y la evaluación de estos sistemas. Los criterios de evaluación de la eficiencia de los sistemas se aplican a dos de los métodos del ferti-riego que presentan una mayor proyección actual en Ibero-América, el ferti-riego superficial por goteo y la aplicación sub-superficial.

Los componentes: agua, medio y fertilizantes, así como sus interacciones, se abordan en el cuarto bloque. Los suelos, con sus modificaciones artificiales, y los sustratos más frecuentemente utilizados como medio de cultivo. Los criterios de clasificación de la utilidad de las aguas para el riego y las modificaciones que el ferti-riego ejerce sobre sus propiedades naturales. Las propiedades, características y particularidades que deben cumplir los fertilizantes para conocer sus interacciones con el resto de los componentes del sistema de cultivo, sobre los procesos de ferti-riego y sobre los productivos del cultivo, son algunos de los aspectos abordados en este bloque.

La programación y el control del ferti-riego se inician con aspectos relativos al diagnóstico nutritivo y la evaluación de las necesidades nutritivas y la disponibilidad del medio se abordan, incluyendo técnicas de evaluación mediante el uso de sensores remotos en el proceso de diagnóstico. Los criterios utilizados y utilizables en la dosificación de los fertilizantes. Se presentan análisis críticos de la situación actual que la programación y control del ferti-riego presenta en algunos países del entorno de la red XIX.A de CYTED. El ferti-riego en hortalizas, flores, cultivos ornamentales e industriales en países como México, Colombia o España son objeto de estudio en diferentes capítulos de este bloque. Finalmente se presenta un análisis de la problemática asociada a la programación del ferti-riego en sistemas de cultivo cerrados sobre sustratos.

Este libro se concibe como un intento de llevar a la comunidad iberoamericana de expertos en agronomía la situación en la que nos encontramos; de los conocimientos que deberemos reforzar para tener un mejor control sobre los efectos que la utilización del ferti-riego puede tener sobre nuestros sistemas de producción; y de cómo deberemos utilizar estos conocimientos para conseguir una agricultura más respetuosa y sostenible. Por lo tanto, la información que contiene, debe considerarse como un punto de partida para seguir avanzando.

José López Gálvez  
Coordinador Red XIX.A CYTED  
Miguel Guzmán  
Responsable Grupo RNM 151 PAI-UAL



# INTRODUCCIÓN

---



# **POBLACIÓN, AGUA, SUELO Y FERTILIZANTES: EL FERTI-RIEGO<sup>©</sup>**

Miguel Guzmán

Dpto. Producción Vegetal Universidad de Almería.

[mguzman@ual.es](mailto:mguzman@ual.es)

## **1 Introducción**

Existen serias razones para estar preocupados por la salud del medio ambiente en nuestro planeta. El extraordinario crecimiento de la población mundial durante los últimos siglos (que prevé 8000 millones de personas para el 2020), junto al aumento en el consumo per cápita, está ejerciendo una gran presión sobre los recursos y el medio ambiente. Se estima que para satisfacer las necesidades de esta creciente población, será necesario incrementar la producción agrícola mundial en un 55%. Aunque la mayoría de los estudios que se realizan tienen un marcado carácter localista, existen evidencias de que la acción del hombre está cambiando la totalidad de medio ambiente. (1).

Cualquier forma de agricultura modifica el medio ambiente, al igual que cualquier otra actividad humana, y por extensión a la actividad de cualquier ser vivo. Por tanto, el reto está en encontrar el equilibrio entre los costes y los beneficios que esta actividad puede reportar a la sociedad y sus efectos sobre la naturaleza.

La agricultura actual se está polarizando hacia condiciones de cultivo cada vez más controladas que permitan por un lado incrementar los rendimientos y por otro, producir la menor contaminación posible en el medio ambiente. Esta doble concepción requiere, por un lado la utilización racional de los recursos naturales como: agua, residuos de cosecha, fijación biológica, etc. Y por otro la de los fertilizantes químicos. En el contexto económico actual, el objetivo de las explotaciones agrícolas es la obtención del máximo rendimiento, incluyendo la búsqueda de sistemas de cultivo más racionales y eficaces que los tradicionales.

## **2 El agua y los suelos**

El trascendental papel que juega el agua dentro de las relaciones suelo-planta-atmósfera, hace que el riego sea la práctica cultural más determinante para aumentar la productividad de los cultivos.

Aunque las tres cuartas partes de la superficie de nuestro planeta están cubiertas por agua, considerando su volumen, menos del 0,3% del agua total de la tierra es utilizable (2). En efecto, no se trata de un error tipográfico, según las estimaciones de Meltze. (2004), solo el 0,24% del volumen de agua existente en el planeta está disponible para su utilización como recurso. Solo un tercio de esta agua, puede considerarse como disponible (en fuentes superficiales o subterráneas). Permaneciendo el resto retenida en los glaciares o en movimiento dentro del ciclo global del agua.

Estas cifras son mucho más elocuentes si tenemos en cuenta que el 70% del agua útil del planeta se destina a usos agrícolas.

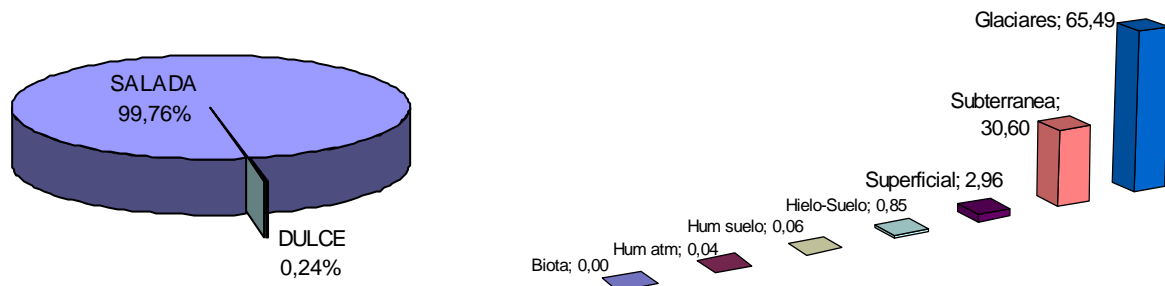


Fig. 1.- proporción de agua útil, respecto a la salada e inmobilizada en el planeta

Se estima que solo el 17% de las tierras de uso agrícola (unos 260 Mha) son tierras irrigadas, pero producen más del 40% de los alimentos y fibras globales. Más aún, solo una décima parte de estas tierras de regadío (el 0,18% del total de tierra agrícola) cuentan con sistemas de irrigación tecnificados, en los que la eficiencia de uso hídrica es mucho mayor que en los sistemas de riego convencionales. Como ejemplo, consideremos que un cultivo de tomate al aire libre con irrigación superficial en el valle del Ebro (Fig. 2), produce 20 veces menos unidades productivas por m<sup>3</sup> de agua aplicada, que el mismo tomate en un invernadero climatizado (con aporte de CO<sub>2</sub>), sobre sustratos, con recirculación en Holanda.

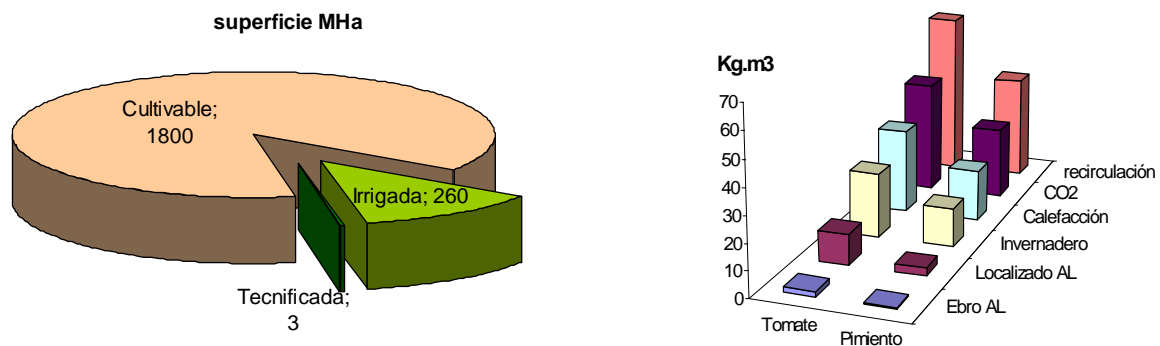


Fig. 2.- Proporción de tierras cultivables y eficiencia hídrica en diferentes sistemas de cultivo

En los sistemas tradicionales de riego se realizan aplicaciones masivas de agua con el objeto de tener una gran reserva hídrica en el suelo que los cultivos puedan extraer con el tiempo. De esta manera, los riegos se programan de acuerdo con el cálculo de agotamiento del agua almacenada, y se aplican, hasta alcanzar los niveles de saturación hídrica del suelo. Esto origina unos enormes altibajos en la dinámica de absorción hídrica por parte del cultivo, en los que el sistema radicular pasa desde situaciones de asfixia a otras de sequedad. Si, además, tenemos en cuenta el despilfarro ecológico que significa este criterio de aplicación del agua, debemos intentar utilizar métodos más racionales de aplicación del agua de riego, que consideren la dinámica del agua en suelos no saturados.

En las nuevas técnicas de riego bajo presión, el agua es aplicada para satisfacer la demanda hídrica diaria del cultivo, no con el objeto de crear un almacén de agua en el suelo, sino para satisfacer las

necesidades actuales del cultivo. Una adecuada dosis y frecuencia de ferti-riego elimina las situaciones extremas antes mencionadas y permite que la planta encuentre, no sólo el agua, sino también el oxígeno y los nutrientes precisos con el mínimo costo energético. Este ahorro energético en la absorción de agua y nutrientes, puede revertir (cuando se controla el resto de los factores de producción) en una mejora del rendimiento del cultivo. Simultáneamente, la localización del riego junto a criterios de aplicación basados en niveles agua inferiores al de saturación (suelo sub-saturado), posibilita el ahorro de recursos hídricos al reducir tanto la superficie mojada, como las pérdidas de agua por evaporación, infiltración o escorrentía. Este ahorro repercute en incrementos notables de la eficiencia hídrica obtenida en los sistemas de cultivo más tecnificados (3).

Riego localizado es la aplicación del riego (normalmente bajo presión y con elevada frecuencia) en zonas concretas en torno a las plantas, humedeciendo solamente una parte del volumen del suelo, donde se ve fomentado el desarrollo radicular (bulbo húmedo). Los sistemas de riego localizado son fundamentalmente micro aspersion, micro tubo, cintas perforadas, mangueras de doble cámara, exudación y goteo. Este último es el más extendido y popular y va siempre unido al concepto de ferti-riego, por lo que se usa un término u otro indistintamente para referirnos a una misma técnica de cultivo.

Aproximadamente un tercio de la corteza terrestre está ocupado por regiones áridas y semiáridas. Han sido áreas tradicionalmente poco pobladas, en gran medida debido a la escasez de agua. Incluso cuando la falta de precipitaciones está compensada por la existencia de ríos caudalosos generados en áreas lejanas, de clima más húmedo, estas regiones son vulnerables a los problemas derivados de la salinización de suelos y agua, debido a sus elevadas tasas de evapotranspiración. Como ejemplos pueden servir los casos del delta del río Nilo, con las grandes transformaciones agrícolas ligadas a la presa de Assuan; a los embalses de aguas abajo del mismo río; y en el mar Aral; Estos sistemas han sufrido una de las mayores catástrofes ecológicas del siglo XX como consecuencia de una mala planificación del uso del agua de los ríos que alimentan a dicho mar interior. En la mayoría de estos sistemas hidrológicos, hay evidencias de intrusión marina en algunos sectores (4).

Por otra parte, el desarrollo sostenible de cualquier región, pasa por mantener el equilibrio entre demandas y usos del agua, lo cual es extremadamente difícil cuando se presentan ciclos especialmente secos, dentro de la escasez. La solución a los problemas asociados a la escasez de agua permite aceptar enfoques diferentes en función de la constitución del subsuelo. Por ejemplo, la existencia de una gran formación acuífera con elevados volúmenes de reservas puede permitir un desarrollo económico durante un cierto período, aún a sabiendas de que la explotación que se hace es esencialmente de tipo minero. En la reciente reunión celebrada en Kuwait (Conference on Water Ressources Management in Arid Regions, marzo de 2002) donde la dotación media de la población es 600 l/día por habitante, uno de los problemas de la ciudad deriva de la subida generalizada del nivel freático, con los consiguientes problemas geotécnicos (5). Ante este problema, actualmente se contempla la posibilidad de realizar una recarga artificial de los acuíferos, con agua procedente de desalación de agua de mar (6). A pesar de estos problemas y sus costosas soluciones, en el desierto arábigo son visibles desde el avión *pivots* regando por aspersion. Esto puede parecer algo poco recomendable, como modelo a imitar, pero es una realidad.

### 3 Los fertilizantes

El uso de los fertilizantes en su sentido amplio ha sido un factor clave para conseguir un aumento sustancial en las producciones agrícolas. Este incremento no se ha obtenido exclusivamente por el uso de los fertilizantes, sino en conjunción con otros elementos de los sistemas de producción, como la tecnología de semillas, la selección y obtención de genotipos con mayor capacidad

---

productiva, la utilización de pesticidas, los avances en las tecnologías de riego, la modificación de las técnicas de cultivo, etc.

Actualmente se está entrando en una dinámica de propuestas y alternativas tendentes a reducir el uso de los fertilizantes químicos alegando el efecto contaminante que producen. Sin querer entrar en una discusión “ecoista” sobre los efectos contaminantes de la actividad humana sobre el planeta, puede ser más conveniente y constructivo pensar que el efecto contaminante de los fertilizantes sobre el sistema de producción puede ser mínimo, o no llegar a producirse: Si los nutrientes químicos se utilizan de una forma racional, acomodando los aporte a las demandas de las plantas y a las propiedades de los diferentes medios sobre las que estas pueden crecer, podremos mantener las elevadas producciones alcanzadas sin degradar el medioambiente.

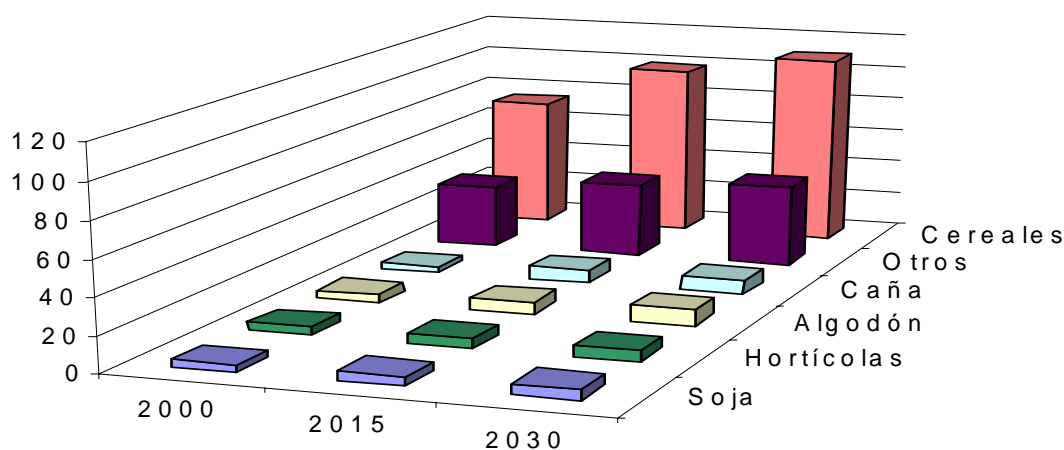


Fig. 3.- previsiones de demanda de fertilizantes por cultivos para 2015 y 2030 según la FAO (7)

Aunque la agricultura moderna es considerada por muchos como uno de las principales contribuyentes a las enfermedades medioambientales actuales, tratándola como una de las principales fuentes de contaminación (eutrofización de las aguas dulces y marinas, incremento de las concentraciones de nitratos en aguas subterráneas y superficiales, residuos de pesticidas en suelo, aguas y alimentos). En lo referente a los fertilizantes, y según los expertos de la FAO (7), no es cierto que los sistemas basados en bajos insumos externos sean necesariamente menos contaminantes que los basados en altos insumos. Por ejemplo, unas aplicaciones mal sincronizadas de estiércol pueden constituir una fuente más grave de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales que cantidades apropiadas de fertilizantes minerales en un suelo o en un sustrato de cultivo. Máxime cuando en este último caso, la contaminación producida por los fertilizantes minerales puede localizarse, y en última instancia reutilizarse, en el mismo cultivo, o sobre otro adyacente). Por lo tanto, las necesidades no son simplemente tecnológicas sino que comprenden también la capacitación del agricultor y la inclusión de elementos reguladores de los aportes de fertilizantes que contribuyan a incrementar su eficiencia de uso (8).

De acuerdo con Cadahía (9) podemos decir que:

- ✓ La fertilización mineral es necesaria para mantener la productividad vegetal y una agricultura viable.
- ✓ La producción global de alimentos debe aumentar para alimentar a la creciente población mundial. Para ello, resultan indispensables tanto la utilización racional de los fertilizantes y del agua, como la adopción de medidas que protejan la producción.
- ✓ El uso intensivo de las tierras cultivables existentes es un requisito indispensable y previo, si se pretende mantener en su estado original grandes áreas de la tierra con potencialidad productiva.

- ✓ Los efectos indeseables de la agricultura actual sobre el medio ambiente (i.e. Contaminación por nitratos, erosión y desertización de suelo, eutrofización, etc.) pueden minimizarse (nunca eliminarse) realizando unas “buenas practicas agrícolas”. Un tema clave en este aspecto es el adecuado tratamiento y reconversión de la materia orgánica no cosechable.
- ✓ La utilización eficiente de los fertilizantes constituye una parte importante de estas “buenas prácticas agrícolas”; Un aporte fuera de tiempo, desequilibrado o en exceso, supone, no solo un derroche, sino que puede ocasionar serios problemas de contaminación ambiental.

Las “buenas prácticas agrícolas” constituyen un concepto dinámico, en constante desarrollo, en el que la ciencia actúa como guía y proporciona la base para un mejor conocimiento de las relaciones complejas que se producen en el sistema de cultivo. En este desarrollo, cada vez tienen mas peso el control y manejo de los factores medioambientales.

## 4 El ferti-riego

Ferti-riego significa literalmente la aplicación conjunta, simultánea y continua del agua de riego y los fertilizantes. El ferti-riego ha experimentado un desarrollo exponencial paralelo al de los sistemas de riego localizado.

Hoy día, el ferti-riego se ha convertido en una auténtica tecnología, cuyo objetivo es mantener la disponibilidad de agua y elementos nutritivos en la zona radicular a niveles óptimos, para obtener un rendimiento lo más próximo posible a la productividad potencial del cultivo. Los distintos sistemas de ferti-riego han evolucionado con el tiempo para intentar conseguir esos niveles óptimos de humedad y nutrientes en la zona radicular del cultivo.

Son de sobra conocidas las ventajas que supone la ferti-riego localizada, ahorros de agua, fertilizantes, mano de obra, labores culturales, a la vez que se incrementa el rendimiento de los cultivos (mayor producción, calidad y precocidad de las cosechas). Un adecuado manejo de estos sistemas incide en una plena disponibilidad, para que las raíces puedan obtener el agua y los nutrientes esenciales para un crecimiento óptimo y armónico de acuerdo con el momento fenológico en que se encuentren.

Con las premisas anteriores la evolución tecnológica asociada al concepto de ferti-riego va encaminada al diseño y fabricación de sistemas, materiales, automatismos, sensores y otros elementos, que permiten sacarle el máximo rendimiento y que aseguren la fiabilidad y eficacia del sistema. Es indudable que para realizar una fertilización racional es imprescindible ajustarla a las necesidades de los cultivos.

- ✓ Por el método tradicional es necesario seleccionar adecuadamente los fertilizantes, dosificarles según las extracciones reales del cultivo, conociendo los rendimientos del ciclo anterior y los contenidos de nutrientes en la cosecha, así como elegir bien la época de aplicación.
- ✓ La posibilidad de fraccionar la fertilización en todos y cada uno de los días del ciclo de cultivo y adaptar las dosis diarias a las condiciones ambientales, estadios fenológicos y previsiones de cosecha, nos permiten no solo acercarnos a un sincronismo entre las aplicaciones y las extracciones, sino intentar mantener o mejorar las propiedades originales del suelo (físicas, químicas y biológicas)
- ✓ Lamentablemente la normalización de las aplicaciones de fertilizantes por dicho sistema está mucho más retrasada que la de las necesidades de riego. Paradójicamente, en muchos lugares, se están aplicando los fertilizantes basándose en ideas y métodos tradicionales, utilizando los sistemas de riego mas avanzados.

En definitiva, los sistemas de ferti-riego constituyen la solución óptima para completar una fertilización racional, aprovechando al máximo los recursos naturales. Esta concepción del ferti-riego nos permite englobarlo dentro de lo que ha venido en denominarse agricultura sostenible.

La implantación de las modernas técnicas de ferti-riego ha ido paralela al desarrollo científico y tecnológico orientado a resolver problemas concretos de la nutrición hídrica y mineral de los cultivos. Este desarrollo ha sido especialmente importante en zonas de condiciones micro-climáticas privilegiadas, donde la escasez, la mala calidad o el elevado precio de recursos hídricos, se asocia con suelos poco recomendables para el cultivo.

En la actualidad, una vez superada esta problemática inicial mediante correctos diseños agronómicos de las instalaciones, el objetivo principal de las técnicas de ferti-riego debe ser obtención de los máximos rendimientos y eficacia de los sistemas de cultivo. Para conseguir este objetivo es necesario mantener, de forma constante a lo largo del tiempo, el sistema radicular de las plantas en condiciones óptimas de nutrición hídrica, mineral y aireación, utilizando diferentes tipos de estrategias (10).

Todo esto sucede, a poco mas de un siglo del nacimiento de la "ley del mínimo" de Liebig; que trataba de identificar en el suelo aquellos elementos cuya penuria limitaba el desarrollo de las plantas, y sugería a los agricultores la conveniencia de reponer con largueza las extracciones de las cosechas. Ahora la mayor sensibilidad al deterioro de suelos y aguas está empujando a mejorar la eficiencia de los sistemas de cultivo. En la situación actual, la finalidad debe ser definir "máximos", recomendables de riego y abonado, capaces de compatibilizar rendimientos elevados con una contaminación reducida. La directiva sobre nitratos de la Unión Europea es un buen ejemplo de lo arriba comentado.

## 5 Bibliografía.

1. Gruhn, P.; Golletti, F. and Yudelman, M. 1995. Fertilizer, Plant Nutrient Management, and Sustainable Agriculture: Usage, Problem and Challenges
2. Meltzer, E. 2004. The Challenges Facing the Irrigation Industry. New AG Int. June 2004 28-30.
3. Stangelini, C. 2004 The Future of Greenhouses and the Greenhouse of the Future, New AG internat. J04 34-38
4. Sherif, M., Mohamed, A.M.O., Ghosh Bobba, A. y Singh, V.P. (2002). Seawater intrusion in the Nile Delta aquifer under different pumping scenarios. In "*Environmental and groundwater pollution*", Sherif, Singh y Al-Rashed, eds.pp:335-349. Balkema
5. Al-Rashed, M.F. y Sherif, M. (2002). Dewatering practices in Kuway City: assessment and modelling. In "*Groundwater Hydrology*", Sherif, Singh and Al-Rashed eds. Pp: 289-297. Balkema
6. Mukhopadhyay, A. (2002) Prospect of artificial groundwater recharge in Kuwait. In "*Grounwater Hydrology*", Sherif, Singh and Al-Rashed eds. Pp: 77-87. Balkema
7. Alexandratos, N. 1995. (ed) World Agricultura: Toward 2010, an FAO Study J. Willey and Son, Chichester GB and FAO, Roma.
8. Daberkow, S.; Poulisse, J. and Vroomen, H. 2000. Fertilizer Requirements in 2015 and 2030 FAO, Roma
9. Cadahia, C. 1998 (ed) Fertirrigación: cultivos hortícolas y ornamentales. Ed Mundi-Prensa. Madrid.
10. Guzmán M. y Sánchez, A. 2003. Estrategias de ferti-riego del tomate con aguas de mala calidad. V Congreso Iberoamericano de Agroplasticultura. San José Costa Rica



# **NOCIONES BÁSICAS DEL FERTI-RIEGO**

---



# **BASES NUTRITIVAS DEL FERTI-RIEGO<sup>©</sup>**

Humberto Moratinos P.

Universidad Central de Venezuela

[moratinosh@agr.ucv.ve](mailto:moratinosh@agr.ucv.ve)

Francisco Zapata Navas

Universidad Central de Venezuela

[franciscozapatanavas@cantv.net](mailto:franciscozapatanavas@cantv.net)

## **1 Introducción**

El ferti-riego permite una segura y uniforme aplicación de nutrientes al área húmeda donde crecen las raíces. En contraposición a la fertilización tradicional, la aplicación de fertilizantes empleando el sistema de riego, trae como consecuencia una rápida absorción y posterior utilización por el cultivo de los diferentes elementos. Esta práctica ha contribuido a alcanzar rendimientos altos, y mejorara la calidad del cultivo.

Para una efectiva fertirrigación, se requiere un entendimiento del comportamiento del crecimiento de la planta, incluyendo los requerimientos de nutrientes; los patrones de crecimiento de las raíces; la química del suelo, (solubilidad y movilidad de los nutrientes), de los fertilizantes químicos y de calidad del agua, incluyendo el pH, CE y concentraciones de iones tóxicos.

## **2 Formas de Absorción de los nutrientes**

El agua juega un papel vital en el desarrollo de la planta ya que es vehículo para la suplencia de nutrientes. Según Maschner, (12) los mecanismos principales en el acceso de nutrientes solubles desde el suelo hacia las raíces, son el flujo de masa, la difusión y la interceptación; la incorporación de nutrientes a través del ferti-riego requiere del conocimiento de esos fenómenos.

## **3 La interceptación**

Como su nombre lo indica, implica que las raíces de la planta hacen contacto de intercambio con los coloides del suelo, en este la planta toma cationes y cede protones ( $H^+$ ) a fin de mantener el equilibrio metabólico dentro de la planta. El mecanismo de interceptación es fundamental en la nutrición mineral. En el proceso, la toma de nutrimentos se realiza a medida que las raíces van creciendo en el espacio poroso del suelo e interceptan los elementos nutritivos disueltos los cuales absorben según los requerimientos de crecimiento y desarrollo (13). La interceptación es importante para nutrimentos como el fósforo, cuya eficiencia en absorción dependerá del hábito de crecimiento radical de la planta (10).

### 3.1 El flujo de masa

Corresponde al movimiento de iones con la solución del suelo por gravedad, capilaridad y flujo transpirativo. Consiste en el movimiento del elemento en una fase acuosa móvil, es decir; de una región más húmeda en la solución del suelo a una menos húmeda próxima a la superficie radical. El flujo de masa esta en relación directa con la cantidad de agua que absorbe la planta y la concentración del elemento en la solución del suelo. Los iones  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$  predominante se desplazan mediante el flujo de masa con el agua de riego (12).

También se ha demostrado que el nitrógeno en forma de anión se mueve más rápidamente en suelo que el  $\text{K}^+$  debido a su mayor solubilidad; los  $\text{NO}_3^-$  se desplazan con el agua edáfica, permitiendo mayor uniformidad en la distribución y asimilación por la planta (2).

### 3.2 La difusión

Es el movimiento del elemento en solución, causado por la agitación térmica a favor de un gradiente de concentración; es decir, de una región de mayor concentración (solución del suelo) a una de menor concentración (superficie radical).

La absorción de P y K se señalan principalmente debido a la difusión. (15)

El proceso de fertirrigación incrementa la cantidad de elementos presentes en solución y varía muy poco los contenidos intercambiables, de allí el impacto de estos sistemas y su estrecha relación con los niveles de humedad del suelo.

La información relacionada con la composición de la solución del suelo es esencial para el manejo adecuado del ferti-riego debido a que es el vínculo entre la fase sólida y la zona de absorción de las raíces. Las sondas de succión para tomar muestras del extracto saturado han sido ampliamente utilizadas para las determinaciones de la composición de la solución del suelo (6).

### 3.3 Balance Cation-Anion

Burt define Balance cation-anión como el número total de cationes de nutrientes en la planta el cual debe ser igual al número total de aniones en la misma. Esta relación es muy importante y en algunos casos, como en el ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) estará en competencia con otros cationes, la planta puede tomar primeramente el amonio si un inhibidor de la nitrificación es aplicado o si el suelo está fuertemente acidificado que la nitrificación esté inhibida. (3,4)

En unos trabajos realizado en tomate y pimentón con proporciones de  $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$  (100/0 y 80/20) se observó una absorción menor de los nutrientes en las plantas cultivadas con  $\text{NH}_4^+$ , comparados con 100/0 de  $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$  (7)

En el sistema de fertirrigación el grado de aprovechamiento de los nutrientes es superior al de los sistemas tradicionales (gravedad y aspersión) de aplicación, siempre que se suministre la dosis y el equilibrio adecuado; al presentar mayor movilidad y una distribución más homogénea de los nutrientes en el ambiente radical.(1)

### 3.4 Efectos fisiológicos: antagonismo y sinergismo

Cuando dos o más iones están presentes en un medio, efectos antagónicos y sinérgicos. El sinergismo significa incremento de la absorción de un ion debido a la presencia del otro. El antagonismo se refiere a la competencia negativa entre dos iones. Hay efecto antagónico entre  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Cl}^-$ . La presencia del ion  $\text{Cl}^-$  reduce la absorción del  $\text{NO}_3^-$ . (9) También se ha señalado que la presencia de  $\text{NH}_4^+$  tiene correlación baja con la presencia de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ . (14)

El desequilibrio entre los diferentes elementos nutritivos puede causar problemas graves de antagonismo que dificultarán la correcta absorción mineral. Especialmente importantes son las relaciones K/Mg, K/Ca y Ca/Mg, estos tres elementos debe guardar una correcta proporción entre ellos.

El K y el Ca son los únicos iones que pueden ser deficientes como consecuencia de la salinidad en el medio radical

También parece existir una concentración óptima de nitratos en función del grado de salinidad de la solución, mas concretamente en función al nivel de cloruros existentes.

### 3.5 pH del suelo

Los valores de pH para una óptima disponibilidad de todos los nutrientes esta en un rango de 6-6,5. El principal factor que afecta el pH en la rizosfera es la relación  $\text{NH}_4/\text{NO}_3$  en el agua de riego, especialmente en suelos arenosos y sustratos inertes con baja capacidad amortiguadora (buffer). El pH de la rizosfera determina la disponibilidad de fósforo y afecta la disponibilidad de micronutrientes (Fe, Zn, Mn) y puede inducir la toxicidad de algunos de ellos (Al, Mn) (9).

## 4 Característica de algunos nutrientes y su uso en el ferti-riego

**Nitrógeno** En fertirrigación su movilidad en la zona humedades del bulbo húmedo es tan alta como en otros métodos de riego empleado. Su incorporación como nitrato o amonio, es indistinta.

**Fósforo** Su dificultad de asimilación en suelos alcalinos, es compensada por su elevada movilidad en la fase líquida saturada y por su progresiva neutralización, e incluso acidificación, del volumen del suelo próximo al gotero. Su movilidad ha sido demostrada que es superior a 55 cm alrededor del punto de goteo (8).

**Potasio** Bajo condiciones de disponibilidad de agua y nitratos, es bien conocida la alta absorción de potasio.

**Calcio** La abundancia de agua y regularidad de aplicación, causa una importante reducción en la asimilación de este elemento, a pesar de su alta cantidad en el suelo, su antagonismo con el potasio, la acidificación y lavado pueden causar un aparente decrecimiento de asimilación del calcio.

**Magnesio** Este es nutriente esencial el cual su absorción puede ser fuertemente reprimida por otros cationes, tales como  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , Mn y por  $\text{H}^+$ , es decir, bajo pH (12)

**Micronutrientes** La concentración de los micronutrientes Mg, Fe, Zn y Cu en la solución del suelo dependen principalmente del pH del suelo, el potencial redox y el contenido de materia orgánica. Por encima de 6.5 el pH puede disminuir la asimilabilidad de Fe, Zn, B, y Cu. Los óxidos metálicos de Fe, Mn, Cu, Zn se hacen más solubles al bajar el pH, pudiendo llegar a resultar fitotóxicos. (5)

## 5 Interacción Calidad de agua y fertilizantes

El agua de riego lleva sales en disolución, siendo necesario conocer las concentraciones de esas sales y las posibles interacciones para emplearlas en el ferti-riego. (11)

El agua como vehículo de los fertilizantes debe tener ciertos requisitos para su uso, aun cuando el ferti-riego nos permite el empleo de aguas con alta conductividad eléctrica (CE) como parte de las bondades del sistema; Pero puede que algunas de esas interacciones puedan causar diversos problemas como son la formación de precipitados en el tanque de fertirrigación, obstrucción de los goteros y filtros. (13)

El agua con altos contenidos de calcio y bicarbonato y el uso de sulfatos causa precipitación de  $\text{CaSO}_4$ . El uso de urea induce la precipitación de  $\text{CaCO}_3$  debido al incremento del pH. Desde el punto de vista químico es necesario conocer el pH, la CE y la concentración de sales (bicarbonatos, carbonatos, sulfatos, cloruros y boratos) ya que los mismos pueden interactuar en forma negativa en el ferti-riego. (13)

## 6 Bibliografía

- 1 Alarcón, A. 2000. Tecnología para cultivos de alto rendimiento. Novedades Agrícolas. España. 459 p.
- 2 Bar-Yosef, B and Sheikholslami, M. R. 1976. Distribution of Water and Ions in Soils Irrigated and Fertilized from a Trickle Source. *Soil Science Society of America Journal*. 40:575 – 582.
- 3 Burt C. M. 1997. Proceeding of the Segundo Symposium Internacional de Ferti-Irrigacion held in Queretaro. *Fertirrigation Chemicals*. México. 109 - 118. pp.
- 4 Burt C. M. 1998. *Fertigation Basics*. Pacific Northwest Vegetable Association Convention. Washington. 10p.
- 5 Cadahia, C. 2000. *Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales*. 2ª ed. Mundi-Prensa. Madrid .España.475p.
- 6 Carreño, J. y Magán, J. 1999. El riego por goteo. Manejo, calculo de fertirrigación y otros productos. En: *Técnicas de Producción de Frutas y Hortalizas En los cultivos protegidos*. Vol I. Caja Rural de Almería. Mundi-Prensa. España 147 pp.
- 7 Caselle, J.; Zornoza, P. y Carpena, O. 1986. Efecto de la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  en la composición mineral de plantas de tomate y pimiento cultivadas en ambiente controlado. *An. Edaf. Agrobiol*. 941-950 pp.
- 8 Domingo, Ramon. 1999. Orchard Fertigation in the Mediterranean Area. IFA Agricultural Conference on Managing Plant Nutrition. Barcelona – Spain. 11p.
- 9 Imas, P. 1999. Recent Techniques in Fertigation of Horticultural Crops in Israel. IPI – International Potash Institute. In: *Recent Trends in Nutrition Management in Horticultural Crops*. 16p. [www.ipipotash.org/presentn/rtifohc.html](http://www.ipipotash.org/presentn/rtifohc.html).
- 10 Jasso, C; Vera, J; Nuñez, R; Martinez, J y Sanchez, P. 2001. Distribution of Ions in the Moist Soil Bulb as a Product of Drip Fertigation. 275-285 pp.
- 11 López-Galvez, J. y Naredo, J. M. 1996. *Sistemas de producción e incidencia ambiental del cultivo en suelo enarenado y en sustratos*. Fundación Argentaria. España. 294p.
- 12 Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second Edition. Academic Press. San Diego. 890p.
- 13 Molina, J. 2002. *Notas sobre Fertirrigacion*. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Mimeografiado. 23p.
- 14 Yanai, J; Araki, S and Kyuma, K. 1995. Effects of Plant Growth on the Dynamics of the Soil Solution Composition in the Root Zone of Maize in Four Japanese Soils. *Soil Science and Plant Nutritional*. 41:2:195- 206.
- 15 Yanai, J; Nakano, A; Kyuma, K and Kosaki, T. 1997. Division S-8-Nutrient Management & Soil & Plant Analysis. *Soil Science Society of America Journal*. 61:1781 – 1786

# NUTRICIÓN VEGETAL: CARBÓNICA, HÍDRICA Y MINERAL<sup>©</sup>

Mariela Rodríguez

Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

[mrodriguez@unal.edu.co](mailto:mrodriguez@unal.edu.co)

Víctor J. Flórez R.

Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

[vjflorez@unal.edu.co](mailto:vjflorez@unal.edu.co)

Ricardo Parra

Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

[ricarpar@tutopia.com](mailto:ricarpar@tutopia.com)

## 1 Nutrición Carbónica

El enriquecimiento con CO<sub>2</sub> es una práctica común en los países de clima templado durante la época de invierno. Como esta época es más oscura y fría, para minimizar los costos de la calefacción se hace una pobre ventilación. De esta forma, la infiltración de aire en el invernadero es muy baja y, en consecuencia, el aire no se renueva y la concentración de CO<sub>2</sub> puede caer por debajo de los 300 ppm, parámetro mínimo recomendable. Sin embargo, aún en verano, los cultivadores han ensayado adicionar CO<sub>2</sub> a nivel del suelo en cultivos de dosel denso como tomate y cohombro (17).

Tanto la difusión de vapor de agua hacia el exterior de la hoja como la de CO<sub>2</sub> hacia el interior de la misma se ven afectadas por la resistencia de la capa límite o capa estacionaria: capa límite de aire relativamente en calma, casi saturado de vapor de agua, que cubre la superficie foliar. La resistencia de la capa límite es proporcional al grosor de la capa de aire quieto en contacto con la superficie foliar. El grosor de esta capa se ve afectado por la velocidad del viento y por el tamaño de la hoja, disminuyendo con el aumento de la velocidad del viento y con el tamaño de la hoja. La concentración de CO<sub>2</sub> en esta zona es intermedia entre la concentración externa del aire no atrapado por la hoja y la interna de la misma (2).

Entre las fuentes de CO<sub>2</sub> se citan los materiales orgánicos (compost), el estiércol, el gas natural (propano), el CO<sub>2</sub> líquido, y los gases provenientes de la combustión en los sistemas de calefacción. Entre los factores a tener en cuenta para la efectividad de la aplicación, se considera el tipo de

cultivo, el estadio de desarrollo de la planta, la intensidad de la luz, la temperatura, y la condición fisiológica del cultivo, afectada con algún tipo de estrés (sequía, pérdida de raíces, cierre de estomas) (17).

Lo que más se utiliza para alcanzar las concentraciones deseadas de 1000 a 1500 ppm es gas líquido carbónico bajo presión, que se gasifica al introducirse al invernadero. Para su distribución se usa un circuito de tuberías, lo que lo hace un sistema costoso, además de que se requiere un espacio de almacenamiento (13).

Una vez el CO<sub>2</sub> aplicado, ya sea a través de quemadores o de inyección líquida, éste se debe distribuir haciendo circular el aire, mediante un sistema de ventilación. También, se debe considerar la tasa de renovación de aire del invernadero. De tal forma que para una renovación de aire por hora, parámetro para un invernadero bien sellado, se debe aplicar de 0,3 a 0,4 kg de CO<sub>2</sub>, con la finalidad de mantener una concentración de 1000 a 1500 ppm de CO<sub>2</sub> dentro del invernadero. De forma general, un cultivo consume entre 0,12 y 0,14 kg de CO<sub>2</sub>/100 m<sup>2</sup>·h<sup>-1</sup>, por lo que sería necesario inyectar entre 0,5 y 0,6 kg de CO<sub>2</sub>/100m<sup>2</sup>·h<sup>-1</sup>. El CO<sub>2</sub> se debe aplicar desde una hora antes del amanecer hasta una hora después del atardecer. Para el caso de invernaderos ventilados tener como tope que la ventilación no pase del 20% del área bajo cubierta (17).

Los cultivos de crisantemo, clavel, rosa, boca de dragón, lechuga, tomate y cohombro responden al enriquecimiento con CO<sub>2</sub> (13). Entre los resultados de ensayos, se reporta que el efecto de la aplicación de 1000 ppm de CO<sub>2</sub>, en comparación con la condición ambiente (300 ppm), en plántulas de tomate, es mucho mayor cuando la planta está en estadio de rápido desarrollo vegetativo (17). En plantas madres de pompón se cosecharon 11,8 esquejes/planta con adición de CO<sub>2</sub>, en comparación con 7 esquejes/planta en la condición ambiente de CO<sub>2</sub> (17).

Una vez optimizados los demás factores del desarrollo de las plantas se aplica CO<sub>2</sub>, si los gastos de la dosificación recomendada no son muy altos. La aplicación de CO<sub>2</sub> en *Alstroemeria* sp. aumentaría la productividad en aproximadamente 10%. En concentraciones entre 600 y 900 ppm, las variedades Barbara y Helios responden mejor a una concentración de 600 ppm; mientras que, las variedades Tiara, Mona Lisa y Fiona presentaron mejor productividad en concentración de 900 ppm de CO<sub>2</sub>. También se verificó que las aplicaciones de CO<sub>2</sub> en *Alstroemeria* sp. tienen incidencia favorable en parámetros de calidad. En la actualidad, disponiendo de invernaderos climatizados, se podría alcanzar la concentración de 900 a 1000 ppm de CO<sub>2</sub>. Para lo cual, es necesaria la combustión de 2,5 a 3 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> de gas natural para 1.000 m<sup>2</sup> de invernadero (18).

La experiencia y observaciones personales de Holley y Baker (8) los llevaron a concluir que la viabilidad del enriquecimiento del ambiente con CO<sub>2</sub> depende de la temperatura y de la radiación solar. En las regiones del mundo donde las temperaturas del invierno son bajas, acompañadas de una razonable cantidad de brillo solar, el uso del CO<sub>2</sub> ha sido viable.

Las mediciones de CO<sub>2</sub> fueron agrupadas de acuerdo con la incidencia de energía solar bajo condiciones de invernadero cerrado. En los niveles más bajos de luz (121 a 140 cal·día<sup>-1</sup>), lo que correspondería a los inviernos más oscuros en Colorado, la lectura promedio de CO<sub>2</sub> en el invernadero disminuyó por debajo de los 250 ppm, antes de las 11:00 am. Empezó a aumentar por encima de 250 ppm alrededor de las 2:30 pm. Los promedios de lecturas por debajo de 235 ppm fueron escasos en función del bajo nivel de luz, que limita la asimilación de CO<sub>2</sub>. Cuando la incidencia de luz aumentó a 181-220 cal·día<sup>-1</sup> el nivel de CO<sub>2</sub> cayó a valores inferiores a 250 ppm, alrededor de las 9:30 a.m.; Alcanzando el punto más bajo de 180 ppm al medio día y aumentando a 250 ppm cerca de las 3:30 p.m. (8).

Cuando se comparó la respuesta varietal del clavel al enriquecimiento de la atmósfera con CO<sub>2</sub>, en general, se pudo establecer que la planta responde al tratamiento, observándose diferencias en la



respuesta varietal. El mayor beneficio se obtuvo con una concentración promedio de 600 ppm. Se verificó un pequeño incremento en productividad y una apreciable mejoría en los grados de calidad en épocas específicas del año. Además, los autores asumen que es seguro aplicar en claveles concentraciones de 1.200 a 2.000 ppm de CO<sub>2</sub>, sin temor de daños. También, los autores reportaron aumentos del 20% en la producción del mejor grado de calidad y del 9 % en la productividad de clavel, cuando se mantuvo como mínimo la concentración de 600 ppm de CO<sub>2</sub> entre septiembre y marzo (8).

## 2 Nutrición Hídrica

El agua es esencial para los seres vivos, razón por la que es estudiada en fisiología. Constituye únicamente el 0,00023% de la masa total de la tierra, con un cubrimiento del 72% de la superficie terrestre. De los cuales, el 96,5% se encuentra en los océanos y el 2,5% se encuentra como agua dulce (12, 15, 5).

### 2.1 Propiedades generales del agua

La molécula de agua está compuesta por dos isótopos de hidrogeno y uno de oxígeno, formando un diámetro aproximado de 2,8 Å. Los átomos de hidrogeno forman un ángulo de 105° con referencia al núcleo de oxígeno y la distancia aproximada entre el oxígeno y el hidrogeno es de 0,96 Å. La unión de los átomos de hidrogeno entre moléculas de agua, absorbe longitudes de onda de alrededor de 3 micras (infrarrojo) y de 10 a 30 micras (radiación térmica), lo que es importante en los procesos de evaporación y transpiración. La molécula de agua es tetraédrica y en cada esquina se encuentra un centro de carga parcialmente positivo o negativo, los cuales actúan con los centros de carga de signo contrario de otras moléculas de agua por comportarse como una molécula polar, formando así grandes redes de moléculas de agua que están unidas por puentes de hidrogeno (12, 15).

El agua líquida es un disolvente para sales inorgánicas, azúcares, aniones y constituye un medio donde se desarrollan las reacciones bioquímicas. Dentro de las propiedades más importantes del agua líquida está su constante de disociación que se mantiene en 10<sup>-14</sup> M. También, su densidad alcanza la máxima expresión a 4 °C de temperatura y a una presión estándar, un valor de 1 g·m<sup>-3</sup>.

La condición de ser casi incompresible del agua, la lleva a tener valores de 4,6·10<sup>-11</sup> cm<sup>3</sup>·ergio<sup>-1</sup> a una temperatura de 20 °C (2, 12).

El calor de fusión para el agua líquida se cifra en 80 cal·g<sup>-1</sup> a 0 °C. Se necesita 1 cal·g<sup>-1</sup> para pasar de 14,4 a 15,5 °C. Sus calores de vaporización a temperaturas de 0, 25 y 100 °C, son 596, 583 y 540 cal·g<sup>-1</sup> respectivamente. Mientras, que su punto de ebullición al nivel del mar se presenta cuando hierve a una temperatura de 100 °C (12,15).

Otra de las propiedades importantes del agua líquida es la presión de vapor. Esta varía directamente con la temperatura y con el contenido de humedad del aire, ya que, se presenta cuando los líquidos se evaporan porque las moléculas se escapan de su superficie, así, a 20 °C el agua líquida tiene una presión de vapor de 0,0238 kg·cm<sup>-2</sup>. Su viscosidad es de vital importancia por que es la propiedad que ofrece resistencia a las tensiones superficiales. Varía de acuerdo con la temperatura, por ejemplo de 5 a 25 °C, disminuye de 1,516 a 0,872 kg·seg<sup>2</sup>·m<sup>-1</sup>. La atracción capilar se origina por la tensión superficial y por la adhesión entre líquido y sólido a la cohesión del líquido. Para esto, es importante tener en cuenta la energía que se opone a la expansión por medio de las fuerzas cohesivas (puentes de hidrogeno). Siendo ésta tensión superficial superior a la de cualquier otro líquido (16, 12).

Su constante dieléctrica se mantiene en 80,4 a una temperatura de 20 °C y 1 atmósfera de presión, mientras que, a 25 °C llega hasta 78,5. Su conductividad térmica aumenta con el incremento de la temperatura y su conductividad eléctrica está dada en función de las sales presentes en solución a 25 °C y ésta se expresa en  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (12).

El potencial hídrico es una propiedad importante en los sistemas suelo-planta-aire y está definido como el potencial químico del agua en un sistema o parte de un sistema, expresado en unidades de presión, que, consiste en el trabajo de una unidad de masa de agua ligada al suelo, o a los tejidos de una planta, para llevarla de este estado de unión a un estado de referencia, que corresponde a la del agua pura a la misma temperatura y presión atmosférica (2, 12, 15).

### 3 Nutrición Mineral

En general, la masa fresca de la mayoría de las plantas herbáceas está constituida por un 90% de agua y un 10% de masa seca. Del total de la masa seca, el 90% está constituido por carbono, hidrogeno y oxígeno y solo el 10% corresponde a los nutrientes minerales (14, 11).

Las plantas requieren de los nutrientes minerales para realizar sus procesos metabólicos y completar su ciclo de vida. Éstas pueden tomar los nutrientes del suelo o a través de los sustratos utilizados en hidroponía. Actualmente, hay 17 elementos aceptados como esenciales para las plantas; entre los que se incluye el carbono, el hidrogeno y el oxígeno y los 14 restantes, denominados macroelementos primarios, macroelementos secundarios y micronutrientes. Los macroelementos primarios son el nitrógeno, el fósforo y el potasio; los macroelementos secundarios son el magnesio, el calcio, el azufre, y los micronutrientes son el boro, el cloro, el hierro, el manganeso, el cobre, el molibdeno, el níquel y el zinc (15, 10).

Además de los elementos esenciales, existen algunos elementos importantes para la nutrición de algunas plantas, bajo condiciones determinadas. A éstos se les denomina elementos beneficiosos, porque son esenciales para algunos tipos de plantas o estimulan el crecimiento de algunas especies. Este es el caso del silicio, esencial para algunas gramíneas y ciperáceas; del sodio, importante para las plantas CAM y  $C_4$ ; y de otros menos estudiados como el cobalto, el selenio, el aluminio, el rubidio, el estroncio, el bario, el titanio y el vanadio (10, 1).

La técnica de fertirriego cobra especial importancia en los cultivos bajo invernadero, porque permite fraccionar los recursos hídricos y fertilizantes según las necesidades diarias de la planta. El suministro de los nutrientes utilizando esta técnica debe tener en cuenta los siguientes aspectos (9, 1):

1. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo o sustrato: Los sustratos con escasa o nula CIC no almacenan nutrientes, por lo tanto, la planta los absorbe directamente de la solución nutritiva. Los suelos o los sustratos con cierta CIC retienen nutrientes que son absorbidos en forma catiónica; mientras que, los nutrientes en forma aniónica, como es el caso del nitrógeno aplicado en forma nítrica, tiene un alto riesgo de lixiviación y puede perderse en grandes porcentajes.
2. Especie y variedad de la planta: Plantas de diferentes especies o incluso de diferente variedad, pueden tener una nutrición mineral diferente bajo las mismas condiciones ecofisiológicas y de fertilización.
3. Estadio fenológico: Las plantas jóvenes absorben a mayor velocidad los nutrientes y a medida que avanzan en su desarrollo fenológico esta velocidad disminuye.

4. Factores climáticos: Tanto la temperatura como la humedad y la luz inciden directamente sobre la absorción de los nutrientes, por esta razón es importante conocer los límites fisiológicos de la planta cultivada con respecto a estos factores.
5. Interacciones iónicas, como sinergismo y antagonismo entre los diferentes elementos: Sinergismo, cuando el aumento en la concentración de un elemento potencia la absorción de otro, como en el caso del fósforo y el molibdeno (1). Antagonismo, cuando el aumento en la concentración de un elemento dificulta la absorción de otro, como en el caso del potasio y del calcio (1).
6. Tolerancia a la salinidad: Este aspecto es importante porque la salinidad afecta la toma de agua por parte de la planta, lo cual implica un gasto energético mayor para satisfacer sus requerimientos hídricos, afectando el rendimiento del cultivo (3, 1).
7. pH: El pH afecta la solubilidad y la carga de los iones. Así, a pH básico el cobre, el manganeso y el zinc se precipitan y no son disponibles para las plantas y, a pHs muy bajos, el fósforo es inmovilizado por el aluminio (1).

### 3.1 Mecanismos de absorción mineral

El fertirriego consiste en la aplicación simultánea del agua de riego y de los fertilizantes por medio de sistemas de inyección, generalmente de manera localizada y con alta frecuencia de acuerdo a la demanda de las plantas. Es importante tener en cuenta los mecanismos por los cuales los nutrientes son absorbidos por la planta para responder a esta demanda. Estos mecanismos son (2, 1, 15, 7):

- ✓ Interceptación por raíces: Las raíces permanecen en contacto con la solución del suelo, encontrando e interceptando algunos de los elementos presentes, siendo ésta contribución muy pequeña en relación con los otros mecanismos de absorción. Esta interceptación se puede incrementar aumentando la densidad de raíces jóvenes, como ocurre en los cultivos en sustrato.
- ✓ Flujo de masas: Es el movimiento del agua y de los solutos de manera conjunta y en una dirección hasta llegar a la superficie de las raíces como respuesta a un diferencial en el potencial hídrico. La transpiración es el principal fenómeno que afecta este movimiento de agua con elementos disueltos en ella.
- ✓ Difusión: Es el movimiento de las moléculas de agua desde un punto de elevada, a otro de baja concentración, hasta alcanzar un equilibrio debido a la actividad del potencial químico de las moléculas o iones.

Es importante tener en cuenta que el movimiento del agua en la planta está regido por gradientes de potencial hídrico (2). Por ejemplo, el mecanismo para la absorción de iones por difusión es minimizado en los cultivos en sustrato, mientras que el mecanismo de flujo de masas toma bastante importancia. En plantas de rosa cultivadas en sustrato se mantuvo el rendimiento de flores de buena calidad con el continuo movimiento y mezclado de la solución en un sistema hidropónico, regando constantemente las raíces, lo cuál, disminuyó el gradiente entre la raíz y el extracto de saturación (4).

### 3.2 La solución del suelo

Tradicionalmente la solución del suelo se obtiene a partir de lo que conocemos como extracto de saturación. Esta “solución del suelo”, está compuesta por la fase líquida (solvente) y los solutos que ocupan los espacios libres del suelo o del sustrato. La porosidad depende directamente de su composición granulométrica. También, el extracto de saturación se define como una solución que

casí posee equilibrio de electrolitos y que ocurre en condiciones de suelos o sustratos no saturados por agua y es de gran importancia en la nutrición de las plantas (6, 7).

La solución del suelo contiene cationes, aniones, moléculas inorgánicas y orgánicas u órgano metálicas, que varían de acuerdo con las condiciones del ambiente y de los materiales sólidos que forman el sustrato. Hacen parte de su composición las sales solubles, las sales absorbidas, los compuestos precipitados y los iones cambiables (6).

En general, la concentración total de elementos en la solución del suelo es pequeña. Los principales aniones en la solución son aquellos que no son adsorbidos y los poco adsorbidos. Las proporciones en que participan los cationes para equilibrar a los aniones antes indicados dependen de la carga de los cationes, de la proporción en que contribuyen con los cationes cambiables, del tamaño de los iones en su forma hidratada, y de las propiedades del material cambiador de cationes (6).

En el suelo son de gran importancia los factores biológicos, las propiedades físicas y químicas, la presencia y solubilidad de sus componentes inorgánicos y orgánicos, su temperatura y la presión de los diferentes gases en la atmósfera del suelo. Estos factores influyen en las concentraciones de los componentes de la solución del suelo. Como resultado, la concentración de la solución del suelo es muy variable. También se debe tener en cuenta el contenido de humedad del suelo, así como, la concentración y la calidad de las sales en la solución, factores que varían continuamente en el perfil del suelo a través del tiempo (6, 12).

No todos los cultivos responden igual a una misma condición de humedad del suelo o del sustrato para mantener la demanda evapotranspirativa. La evaporación juega un papel importante ya que influye en la reducción de la humedad del suelo y esto hace que la concentración de sales aumente, especialmente en la capa superficial. Con el riego se busca aumentar el contenido de humedad y redistribuir las sales en el perfil del suelo (12).

La absorción de los elementos nutritivos se efectúa por medio de los pelos radicales. En condiciones normales pueden alcanzar una cifra de 200-300 por mm<sup>2</sup> de raíz, lo que significa una gran superficie de captación de nutrientes. El aprovechamiento de estos nutrientes por las plantas depende de la capacidad de almacenamiento del suelo o del sustrato, de un alto potencial hídrico, del crecimiento y actividad de las raíces, de la aireación y la temperatura apropiada, de la salinidad y del adecuado suministro de agua (1, 12).

Para conocer la composición del extracto de saturación o solución del suelo se debe tener en cuenta que éste está en equilibrio dinámico con la fase sólida del suelo o del sustrato y que es difícil extraerlo, sin que sufra cambios de importancia. Actualmente, se extrae usando tubos de porcelana porosa cerrados en la punta, los que conectados a un tubo de succión variable permiten una extracción rápida (6).

#### **4 Bibliografía**

1. Alarcón A. 2000. Tecnología para cultivos de alto rendimiento (Alarcón A., Ed.). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 459p.
2. Azcón-Bieto J. y M. Talón. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Mc Graw Hill. Madrid, 522p.
3. Barceló C., J., G. Nicolás R., B. Sabater G. y R. Sánchez T. 1995. Nutrición mineral. En: Fisiología vegetal. 7 ed. Ediciones Pirámide S.A., Madrid., p. 151-167.
4. Cabrera R., Evans R. y J. Paul. 1995. Cyclic nitrogen uptake by greenhouse roses. *Scientia Horticulturae* (63) p 57-66.
5. Chow V. T., Maidment D. R. y L. W. Mays. 1994. Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill. Bogotá, 584 p.

6. Fassbender H. y E. Bornemisza. 1994. Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA, San José de Costa Rica, 420 p.
7. Foth H. D. and B. G. Ellis. 1997. Soil Fertility. Lewis Publishers, Michigan, 290 p.
8. Holley, W. D. y Baker, R. 1991. Carnation production II. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, p.p. 59-66.
9. López-Gálvez y Segovia. 1996. La fertilización. En: Sistemas de producción e incidencia ambiental del cultivo en suelo enarenado y en sustratos. López-Gálvez, J y J. M. Naredo (eds.). Fundación Argentaria-Visor Distribuciones, Madrid, p. 95-110.
10. Marschner, H. 1998. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, San Diego, 889p.
11. Medina, A. 1999. Manejo de la nutrición en el rosal después de la cosecha de San Valentín. En: Mantenimiento de plantas de rosa, curso de actualización profesional. Lee, R. (ed.). Centro de Investigaciones y asesorías agroindustriales Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Chía, p. 31-48.
12. Narro E. 1994. Física de Suelos con enfoque agrícola. Trillas, México, 195 p.
13. Newman, S. 1999. Efectos del clima en la fisiología de la floración. En: Clima fisiología y producción de cultivos bajo invernadero. Rebecca L. (editora). Cuadernos del Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales - CIAA. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, p. 27 a 33.
14. Resh, H., 1992. Nutrición de las plantas. En: Cultivos hidropónicos: nuevas técnicas de producción. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, p 23-48.
15. Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1992. Plant Physiology. (4<sup>th</sup>. Ed). Wadsworth Publishing, Belmont, 662p.
16. Streeter V. L. 1971. Mecánica de los Fluidos. Mc Graw Hill. México, 747 p.
17. Tsujita, J. 1999. Manejo de factores del control de clima en la producción de flores. Ejemplos de Canadá. En: Clima fisiología y producción de cultivos bajo invernadero. Rebecca L. (ed). Cuadernos del Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales - CIAA. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, p. 19-26.
18. Van Staaveren (2003) [www.alstroemeria.com](http://www.alstroemeria.com)



# ELEMENTOS ESENCIALES Y BENEFICIOSOS<sup>©</sup>

Mariela Rodríguez S.

Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

[mrodriguez@unal.edu.co](mailto:mrodriguez@unal.edu.co)

Víctor J. Flórez R.

Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

[vjflorez@unal.edu.co](mailto:vjflorez@unal.edu.co)

## 1 Introducción

Los elementos esenciales para las plantas son 17 incluyendo O, H y C provenientes de H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y aire, los demás corresponden a los nutrientes minerales, los cuales, según la cantidad absorbida por la planta, se clasifican en macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, los cuales se encuentran en el tejido de las plantas en concentraciones superiores a 0,1%, con base en la masa seca. Los micronutrientes son requeridos en los tejidos de las plantas en concentraciones menores a 100 µg/g de masa seca. Con estos elementos y la luz del sol, las plantas son capaces de sintetizar todos los compuestos que necesitan. Sin embargo, otros elementos minerales, son considerados beneficiosos porque son esenciales para algunas especies de plantas bajo ciertas condiciones (31).

Existen tres criterios por los cuales un elemento es considerado esencial para las plantas, estos son (28, 23):

- ✓ Un elemento es esencial si una planta no puede completar su ciclo de vida en ausencia de tal elemento.
- ✓ Un elemento es esencial si la función de este elemento no puede ser reemplazado por otro elemento mineral.
- ✓ Un elemento es esencial si forma parte de cualquier molécula o constituyente de la planta, que es en sí mismo esencial para ésta, como por ejemplo el nitrógeno en las proteínas o el magnesio en la clorofila.

## 2 Macroelementos primarios

### 2.1 Nitrógeno

El nitrógeno es absorbido por las raíces de las plantas, preferentemente, en forma de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) o de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (32, 23). Los factores que influyen en la absorción de este elemento por parte de la planta son: la especie y el tipo de planta (23), la intensidad lumínica, la presencia de nitrógeno

en el medio y la cantidad de nitrógeno almacenado en las vacuolas (20). En plantas de rosa se ha encontrado que a mayor intensidad lumínica hay mayor absorción de nitrógeno (7), esto mismo sucede en hortalizas (27).

En fertirriego, el nitrógeno se suministra en mayor proporción en forma  $\text{NO}_3^-$  y en menor proporción en forma  $\text{NH}_4^+$ , ya que permite mantener el pH estable en el sistema. En términos generales, se recomienda mantener una proporción de nitrógeno amoniacal entre 15 y 20 % del nitrógeno total (30). En rosa (*Rosa* sp.) se considera que el nitrógeno en forma  $\text{NH}_4^+$  puede ser de hasta un 20% del nitrógeno total (24) y se ha reportado que un aumento en la forma  $\text{NH}_4^+$  limita la absorción del calcio (15).

Una de las funciones más importantes del nitrógeno es la de tener una acción directa sobre el incremento de la masa seca (22) porque favorece el desarrollo del tallo, el crecimiento del follaje y contribuye en la formación de frutos y granos (14). Sin embargo, un exceso de este elemento provoca un crecimiento excesivo del follaje, un escaso desarrollo en el sistema radical y un retardo en la formación de flores y frutos (14).

La deficiencia de este elemento provoca una clorosis en las hojas inferiores y en caso de deficiencias agudas, éstas caen prematuramente y la clorosis se generaliza en toda la planta. En hortalizas como la lechuga, el tomate y el apio la deficiencia de nitrógeno se manifiesta en hojas pequeñas y de color verde amarillento (6). En rosa, la deficiencia de nitrógeno, ocasiona cambio de color en las hojas pasando de verde a verde amarillento, el área foliar y la longitud de los entrenudos se reduce. En cuanto a las flores, estas presentan manchas de color más encendido que lo normal (32). En el cultivo del pompón (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev), la deficiencia de nitrógeno presenta tallos con flores de diámetro pequeño, follaje clorótico y hojas de menor tamaño (2). En *Gypsophila paniculata* cv Perfecta, en condiciones de invernadero, se encontró que en la etapa de propagación, el nitrógeno contenido en el tallo y en las hojas se redujo, debido a que se transloca para la formación de raíz. Después del transplante, se observó que la acumulación de nitrógeno es función de la acumulación de masa seca y, posteriormente, en la fase de floración, el nitrógeno disminuyó en las hojas y aumento en las flores (25).

El exceso de nitrógeno ocasiona maduración dispereja en los tomates, los cuales presentan tintes amarillos y verdes alrededor del cáliz; en pepino (*Cucumis sativus*) ocasiona quemazón de los bordes de las hojas (6).

## 2.2 Fósforo

El fósforo es absorbido predominantemente como anión monovalente fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) y en menor cantidad como anión divalente ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) (28). La presencia de una u otra forma iónica depende del pH. El  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  se encuentra en un pH entre 4,5 y 7 y el  $\text{HPO}_4^{2-}$  se encuentra a pH básico. En un pH alcalino la disponibilidad del fósforo está limitada por la formación de fosfatos de calcio, no aprovechables por las plantas. Igualmente, en condiciones de pH bajo, la alta solubilidad del aluminio y del hierro precipitan el fósforo, limitando la disponibilidad de este elemento para las plantas (18).

El fósforo juega un papel importante en el metabolismo energético de la planta, porque hace parte de las moléculas AMP, ADP y ATP (28, 5, 23). Forma parte de los ácidos nucleicos ADN y ARN y, además, participa en la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de almidón. El fósforo también forma parte de otros compuestos como el ácido fítico, importante en la germinación de semillas y en el desarrollo de la raíz (32, 28, 5, 23).

La deficiencia de fósforo afecta el desarrollo debido a que la producción de proteínas es muy baja y la síntesis de almidón, celulosa y sacarosa se reducen. Un efecto notorio de la deficiencia de fósforo



es la reducción en la expansión celular (23), razón por la cual, las plantas pueden presentar enanismo (28).

El fósforo se encuentra en mayor proporción en las hojas jóvenes, flores y semillas en desarrollo (28). La deficiencia de éste elemento en plantas de girasol (*Helianthus annuus*) provoca un desarrollo insuficiente de las flores. En la coliflor (*Brassica oleracea*) se manifiesta en hoja erguidas y rígidas. En pepino se presenta rigidez en la planta (6). En rosa los brotes se desarrollan lentamente y las hojas más viejas se enrollan hacia abajo. En pompón se presentan flores más pequeñas y hojas de menor tamaño (2).

En *Gypsophila* cv Perfecta, durante los estadios tempranos de desarrollo, se incrementó la demanda de fósforo. Posteriormente, en el análisis de las flores, éstas presentaron una mayor concentración de este nutriente en relación con los demás órganos de la planta (25).

## 2.3 Potasio

El potasio es un catión univalente ( $K^+$ ) y junto con el nitrógeno son absorbidos en grandes cantidades por las plantas (14). La mayor parte del potasio absorbido depende de la difusión del elemento y de otros factores, como contenidos muy altos de calcio y magnesio, los cuales disminuyen la absorción del potasio (17). Este nutriente mineral es el más abundante en el citoplasma, y su importancia fisiológica radica en el papel que juega en el metabolismo de los carbohidratos y las proteínas. Por otra parte, contribuye a la economía del agua porque regula la apertura estomatal, importante para la absorción de  $CO_2$  y el control de la transpiración (29, 4). Así mismo, aumenta la velocidad de reacción en más de 50 enzimas y, en algunos casos, aumenta la afinidad por el sustrato (23). Entre las enzimas sobre las cuales actúa el potasio, se encuentra la piruvato quinasa, enzima esencial en la respiración y en el metabolismo de los carbohidratos.

En plantas deficientes de potasio hay disminución en los niveles de almidón y aumento de compuestos nitrogenados solubles. La deficiencia de este nutriente produce un estancamiento en el desarrollo de la planta: los entrenudos de los tallos son cortos y los tallos resultan débiles, así mismo, la producción de granos y frutos se ve afectada. En el fruto, la presencia de potasio asegura un buen contenido de azúcares, ácidos y aroma. En forma general, la deficiencia de potasio en frutos disminuye la acidez, aumenta la respiración y, por lo tanto, induce el deterioro. En rosa la deficiencia de potasio produce flores pequeñas, el área foliar disminuye y presenta quemazón marginal en las hojas más viejas (32). En colirrábano (*Brassica oleracea* var *Gangylodes*) y en tomate la deficiencia de potasio ocasiona necrosis marginal de las hojas. En frutos de tomate, la deficiencia de potasio da frutos con síntomas de “dorso verde” (6), frutos pequeños, insípidos y blandos. En el tallo, la médula se desintegra. En pompón, la deficiencia de potasio reduce el tamaño de la flor y la longitud de los tallos, así como el tamaño de la hoja (2). En plantas de *Gypsophila*, se observó una fuerte ganancia de potasio en el tallo después del trasplante (25). En plantas de clavel, con alta incidencia de rajados de tallo, se encontró una alta concentración de potasio y una deficiencia de calcio, este desbalance está asociado a un exceso de absorción de nitratos (9). Con esta información se realza la importancia de mantener un suministro balanceado tanto de potasio como de calcio. A este respecto, algunos autores recomiendan cantidades equilibradas de potasio y calcio en clavel, para mantener los niveles óptimos de estos elementos en los tejidos (16).

## 3 Macroelementos secundarios

### 3.1 Azufre

Las raíces de las plantas absorben el azufre en forma de aniones de sulfato ( $SO_4^{=}$ ) y su contenido en los tejidos vegetales es variable, siendo las Crucíferas las que tienen un contenido mayor. El azufre

forma parte de proteínas y vitaminas como la tiamina y la biotina, y es componente de numerosas enzimas. Es constituyente de compuestos volátiles (isotiocianatos y sulfóxidos) responsables por el olor característico de algunas especies como la cebolla y el ajo. Además, es componente de los sulfolípidos, los cuales son constituyentes de la membrana y ayudan a regular el transporte de iones (10, 23).

Debido a que los compuestos fertilizantes forman iones en el agua, se recomienda no mezclar sales que aporten calcio con aquellas que aporten sulfatos o fosfatos, como es el caso del sulfato de amonio ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) con el nitrato de calcio (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>). La reacción de estos dos fertilizantes da como resultado sulfato de calcio (CaSO<sub>4</sub>), el cual se precipita, limitando la disponibilidad tanto del calcio como del azufre. En la Tabla 1 se presentan las fuentes fertilizantes que contienen sulfatos y su incompatibilidad con otras fuentes fertilizantes (12).

Tabla 1. Fuentes de fertilizantes con sulfato y su incompatibilidad con otros fertilizantes.

<b>Fuente fertilizantes con sulfato</b>	<b>Incompatible con:</b>
Sulfato de amonio	Nitrato de calcio
Sulfato de potasio	Nitrato de calcio
Sulfato de Fe, Zn, Cu, Mn	Nitrato de potasio, fosfato de amonio, ácido fosfórico y ácido nítrico
Sulfato de magnesio	Nitrato de calcio y fosfato de amonio

La deficiencia de azufre en plantas de tomate reduce la masa seca de la raíz, igualmente, inhibe la síntesis de proteínas. En plantas de *Gypsophila* el azufre es importante en la fase de enraizamiento para la formación de raíz, posteriormente, en la fase vegetativa hay una alta concentración de este elemento en el tallo (25). En el cultivo de pompón, las plantas con deficiencia inducida de azufre presentaron disminución en la altura y flores de mala calidad, con pétalos tubulares y marchitez rápida (2).

### 3.2 Calcio

El calcio (Ca<sup>2+</sup>) es un elemento esencial porque interviene en la estabilidad de la membrana plasmática y en la integridad de la célula, ya que es componente básico de la lámina media de la pared celular, en forma de pectatos de calcio. Estos pectatos le confieren consistencia y cierto grado de rigidez a la pared celular. Igualmente, preserva la estructura de las membranas celulares al regular su permeabilidad. La presencia de pectatos de calcio en las paredes celulares protege los tejidos contra el ataque de hongos. Por otra parte, es un elemento importante en el crecimiento del tubo polínico (23). La deficiencia de este elemento impide el desarrollo de la planta, ya que los tejidos meristemáticos de la parte aérea y de la raíz se afectan por división celular incompleta. Como consecuencia, las hojas y las raíces nuevas se desarrollan con deformaciones. La deficiencia de calcio en plantas de girasol ocasiona el tallo curvado hacia abajo antes de la aparición de la flor. En coliflor, la deficiencia se observa en las hojas más jóvenes, presentándose una deformación en forma de garra. En el follaje de tomate causa clorosis y necrosis marginal y hojas de bordes rizados hacia delante, en frutos ocasiona la pudrición apical. Esta misma sintomatología se presenta en frutos de pimentón (6). En rosa las raíces se tornan quebradizas, las hojas y los pétalos de las flores presentan deformaciones. Es importante destacar que el calcio en la planta se moviliza por el xilema, por lo tanto, su deficiencia puede ser inducida por condiciones climáticas que no favorecen la corriente transpiratoria en la planta, lo cual está relacionado con los mecanismos de absorción de éste nutriente, que se realiza por intercepción radical y flujo de masas (17). En frutos de tomate, el período crítico para la absorción del calcio, es cerca de dos semanas después de la antesis, cuando la tasa de crecimiento del fruto es alta. Por lo tanto, días nublados en esta etapa, conllevan a la pudrición apical del mismo (11). Otro factor a considerar, es el antagonismo entre el calcio y el

magnesio. Una deficiencia de calcio puede provocar mayor absorción del magnesio, provocando síntomas de fitotoxicidad. En el caso contrario, altos contenidos de calcio regulan la absorción del potasio, evitando el consumo de lujo de éste elemento (17).

### 3.3 Magnesio

El magnesio es absorbido por las plantas como un catión divalente ( $Mg^{2+}$ ), su absorción puede ser afectada por relaciones altas de Ca/Mg, en cuyo caso las plantas absorben menos magnesio. La deficiencia de magnesio puede acentuarse con dosis altas de potasio (18). El magnesio tiene funciones importantes dentro de la planta: es el átomo central de la molécula de la clorofila, interviene en la síntesis de proteínas, en el metabolismo del fósforo, en la respiración y en la activación de varios sistemas enzimáticos en las plantas. Entre estos sistemas se tiene la fructosa 1,6 difosfatasa, la cual regula la síntesis de almidón (23).

La deficiencia de magnesio se caracteriza por una clorosis de las hojas bajas. Si la deficiencia continua, la clorosis se generaliza en toda la planta. En rosa hay reducción del crecimiento de los brotes y del tamaño de la hoja. También se pueden presentar pigmentos antocianínicos, con coloraciones púrpura y posteriormente necrosis (32). En plantas de *Gypsophila* el magnesio se encontró en mayor proporción en las hojas. En clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) se requieren altos niveles de magnesio para un crecimiento óptimo, aunque este valor es menor que los de potasio y calcio (16).

## 4 Microelementos

Ocho de los 17 nutrientes esenciales para las plantas se denominan microelementos y, en general, son los elementos por excelencia catalíticos, ya que son esenciales en las reacciones redox a nivel biológico. Los microelementos aceptados como esenciales son: B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni y Zn. Estos elementos son tan importantes para la planta como los nutrientes primarios y secundarios, a pesar que son requeridos en concentraciones menores a 100  $\mu\text{g/g}$  de masa seca (31).

Los elementos menores como el cobre, el zinc, el hierro y el manganeso se aplican en forma de quelatos, mientras que el boro y el molibdeno se aportan en forma de sales.

### 4.1 Boro

El boro es absorbido por la planta en forma de anión  $H_2BO_3^-$ , posiblemente por un proceso de difusión pasiva a través de la membrana plasmática con la formación de enlaces  $\beta$ -cis-diol con azúcares u otros componentes polihidroxílicos (31). Este elemento es básicamente transportado por el xilema, lo que implica que su distribución en las plantas está determinada principalmente por la transpiración ya que es un elemento poco móvil. El papel de boro en la nutrición de las plantas es de los menos comprendidos. Sin embargo, es conocido que la deficiencia de boro inhibe la elongación de la raíz y la síntesis de ADN. Igualmente, la deficiencia de boro induce la acumulación de fenoles que al ser activados por la luz producen radicales superóxidos que pueden dañar las membranas. Es esencial para la germinación de los granos de polen y el crecimiento del tubo polínico (23).

Por otra parte, su deficiencia se observa en las yemas más jóvenes, las cuales se decoloran y pueden morir. Esto promueve la proliferación de brotes con entrenudos cortos, dando la apariencia de una roseta. También, puede ocurrir clorosis intervenal en las hojas maduras. Así mismo, se puede registrar un incremento en el diámetro de los pecíolos y tallos de las hortalizas, y caída de yemas, flores y frutos en desarrollo. En estructuras de almacenamiento como son las raíces de la zanahoria y la remolacha, ocurre necrosis de las áreas de crecimiento, lo que puede producir la sintomatología conocida como corazón negro. Además, pese a que el número total de semillas no es afectado, si se reduce la viabilidad de las mismas (23). En girasol se observan deformaciones en la inflorescencia y

puede ocasionar muerte del meristemo apical. En coliflor, la deficiencia de boro reduce el tamaño de la cabeza y la corona se puede tornar blanda y parda. En rosa, la deficiencia de boro produce flores deformes y descoloridas, también se observa clorosis foliar y los brotes son reducidos o senescentes. En crisantemo las flores son deformes y descoloridas, en plantas con deficiencias severas los meristemos apicales mueren y las hojas se deforman (6). En *Gerbera* sp. la deficiencia tardía de boro, produce flores deformes en forma de cuchara y ocasiona la muerte de los meristemos apicales (6). En poinsetia, la deficiencia del elemento se manifiesta en hojas cloróticas y meristemos apicales muertos (6). En plantas de *Gypsophila* se encontró que a pesar de la baja movilidad del elemento, éste se removilizó desde las hojas hacia las flores en formación (25).

La fitotoxicidad por boro se manifiesta en girasol con clorosis y necrosis marginal de las hojas. En tomate el exceso de boro se observa en las hojuelas del cáliz, las cuales se tornan rizadas con puntas necróticas. En lechuga, el exceso de boro produce necrosis marginal en las hojas más viejas (6).

## 4.2 Cloro

El cloro es fácilmente tomado por las plantas en su forma de ión inorgánico (Cl<sup>-</sup>) y es altamente móvil dentro de la misma. Este elemento está involucrado en la fotosíntesis, ya que es requerido para la fotólisis del agua en el sitio de oxidación del fotosistema II, además, juega un papel importante en la regulación estomática, sirviendo de anión acompañante al potasio en su entrada y salida de las células guardas. También, está implicado en el balance de las cargas y en el ajuste osmótico dentro de las células (31). Otra función menos conocida tiene que ver con la división celular. En muchas plantas, la ausencia de cloro se manifiesta en una reducción del área foliar y, por tanto, en la masa seca de la planta, resultado de la disminución en las tasas de división y de extensión celular (23). Sin embargo, es difícil que se presente la deficiencia de este elemento en las plantas cultivadas, porque, generalmente, el agua de riego tiene suficiente cantidad de cloro para suplir las necesidades del cultivo (19). Entretanto, los excesos de cloruros si causan problemas. En plantas de rosa los excesos de cloruros y sodio causan necrosis y defoliaciones fuertes en las hojas viejas. Estos excesos pueden causar el agrietamiento del tallo causando alta incidencia de enfermedades (24).

## 4.3 Cobre

El cobre es un catión divalente (Cu<sup>2+</sup>) que junto con el hierro y el manganeso interviene en la síntesis de la clorofila. Se suministra en forma de quelatos en la solución fertilizante. Hace parte de numerosas enzimas, entre las cuales se destacan las siguientes (23): 1) plastocianina, la cual tiene por función la transferencia de electrones en el fotosistema I. En general, más del 50% del cobre localizado en los cloroplastos está ligado a la plastocianina; 2) citocromo oxidasa, actúa en el transporte de electrones en las mitocondrias y, por tanto, en los ciclos respiratorios; y 3) polifenol oxidasas, involucradas en la biosíntesis de lignina y alcaloides y en la formación de sustancias melanóticas, que actúan como fitoalexinas inhibiendo la germinación de esporas y el crecimiento de hongos. En condiciones de deficiencia, la disminución en la actividad de las enzimas es drástica y está correlacionada con la acumulación de fenoles y el decrecimiento de formación de sustancias melanóticas.

En las plantas deficientes de cobre se presenta marchitamiento en las hojas jóvenes, lo cual resulta de dificultades en el transporte del agua, debido a una insuficiente lignificación en las células del xilema. Es importante en la fotosíntesis, por lo que su deficiencia repercute en bajas tasas fotosintéticas y, por lo tanto, bajos niveles de carbohidratos (23). La deficiencia de cobre ocasiona hojas deformes en girasol. En rosa, hojas cloróticas y botones marchitos. En crisantemo, necrosis

marginal de las hojas, éstas se deforman y las láminas foliares y los pecíolos se observan curvados (6). En tomate, los frutos se agrietan antes de madurar (3).

Un gran número de especies tiene un desarrollo óptimo en un medio con pH entre 5 y 7, por lo que, es necesario considerar que el cobre a pH básico se precipita formando hidróxidos insolubles que no son disponibles para la planta (19).

#### 4.4 Hierro

Las formas de hierro más comunes en el suelo y en las soluciones nutritivas son los quelatos de  $\text{Fe}^{3+}$  y de  $\text{Fe}^{2+}$ . Sin embargo, la forma catiónica que es absorbida significativamente por las raíces es  $\text{Fe}^{2+}$ , mientras que, el hierro en forma  $\text{Fe}^{3+}$  necesita ser reducido en la superficie de las raíces antes de ser transportado al citoplasma (31). Es un elemento asociado con el desarrollo de los cloroplastos, la síntesis de ferredoxina y la de clorofila. La ferredoxina actúa en varios procesos metabólicos como la fotosíntesis y la reducción del nitrógeno. En condiciones de crecimiento controladas, aproximadamente el 80% del hierro está localizado en los cloroplastos de hojas de rápido desarrollo, lo cual evidencia la importancia del hierro en la fotosíntesis. La deficiencia de hierro puede tener varias causas: 1) Por un desbalance con otros elementos, como el exceso de fósforo y los altos niveles de bicarbonato; 2) En pH básico, porque el hierro forma compuestos insolubles no disponibles para las plantas (12); y 3) En suelos ácidos, el aluminio soluble es más abundante y restringe la absorción del hierro (28).

La deficiencia de hierro se caracteriza porque las plantas desarrollan una clorosis intervenal pronunciada. Debido a que este elemento es poco móvil dentro de la planta, los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas jóvenes de la parte superior de la misma. Las plantas de rosa son sensibles a la deficiencia de hierro, que puede ser inducida por el exceso de nitratos en la rizosfera, lo que puede originar clorosis en las hojas, que pueden llegar a ser severas (24).

En el sistema de riego, el hierro puede ocasionar taponamiento de los sistemas por goteo. En los casos en que el agua proviene de pozos profundos ricos en este mineral, al llegar a la superficie forma  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , el cual se precipita y es insoluble. Estos precipitados se forman lentamente, por lo que es conveniente tomar medidas correctivas, con el fin de evitar daños al sistema (8).

#### 4.5 Manganeso

El manganeso se absorbe sobre todo como catión manganeso ( $\text{Mn}^{2+}$ ), aunque en el suelo también puede existir como  $\text{Mn}^{3+}$  o  $\text{Mn}^{4+}$ , óxidos insolubles y quelatos. El manganeso es soluble a pHs ácidos y en suelos encharcados. Su solubilidad se reduce en suelos alcalinos o ácidos con alto contenido de materia orgánica (14, 21). El manganeso es importante en el proceso fotosintético, ya que junto con el cloro, participa en la fotólisis del agua. Por otra parte, la presencia de este elemento en el fotosistema II favorece la fotofosforilación, la reducción del  $\text{CO}_2$ , y la reducción del nitrito y del sulfato. Además, parece ser constituyente estructural de los ribosomas. Por tal razón, su deficiencia podría ocasionar una fuerte reducción de la tasa fotosintética.

Aunque la deficiencia de este elemento no es común, es importante tener en cuenta que este es un elemento poco móvil en la planta y su deficiencia se manifiesta primero en las hojas jóvenes. Al respecto, se ha identificado una sintomatología foliar para monocotiledóneas y dicotiledóneas. En monocotiledóneas, las deficiencias aparecen en forma de puntos de color gris verdoso. Mientras que en dicotiledóneas, se manifiesta por la presencia de puntos amarillos en las hojas jóvenes. En fases avanzadas únicamente las nervaduras y las zonas adyacentes se mantienen verdes (23). La presencia de carbonatos y altos contenidos de fósforo disminuyen la disponibilidad de este micronutriente. Así mismo, un desbalance a favor del Fe, Cu y Zn disminuyen la toma de este elemento por parte de la planta (18).

## 4.6 Molibdeno

Este micronutriente es absorbido bajo la forma de oxianión molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ). Su absorción por las raíces puede ser afectada por la presencia del ión  $\text{SO}_4^{2-}$ , porque los mecanismos que controlan la absorción de  $\text{SO}_4^{2-}$  también pueden afectar la remoción de  $\text{MoO}_4^{2-}$  (31). La importancia del molibdeno radica en que es un constituyente esencial de las enzimas que tienen que ver con la fijación biológica de nitrógeno y con la reducción de nitrato a amonio; estas enzimas son la nitrogenasa y la nitrato reductasa respectivamente (23). Por estas razones, las deficiencias de molibdeno están correlacionadas con el metabolismo del nitrógeno. La coliflor y el repollo son sensibles a la deficiencia de este elemento, presentando como sintomatología característica “la cola de látigo”, que se caracteriza por desarrollar la nervadura central con una área foliar mínima.

La deficiencia de este elemento puede presentarse en suelos ácidos, con presencia de óxidos de hierro y aluminio, los cuales adsorben el molibdeno. Su disponibilidad aumenta por factores tales como el incremento del pH y la presencia de fósforo. Por otra parte, el magnesio aumenta la toma de molibdeno por parte de la planta (18).

## 4.7 Zinc

El zinc es absorbido por la planta como catión divalente ( $\text{Zn}^{2+}$ ) o quelato vía radical o foliar. Este es un elemento transportado vía xilema y relativamente poco móvil en el interior de la planta. El zinc es importante, porque es constituyente de la enzima anhidrasa carbónica, que cataliza la formación de ácido carbónico a partir de  $\text{CO}_2$  y agua. Esta enzima está localizada tanto en los cloroplastos como en el citoplasma. Por otra parte, este micronutriente se requiere para el mantenimiento de las biomembranas, donde forma complejos con grupos fosfolípidos y sulfidrilos, protegiendo los lípidos de membrana y proteínas frente a daños oxidativos, por lo tanto, su deficiencia ocasiona un aumento en la permeabilidad de las membranas. Otra función importante, es que hace parte del aminoácido aromático triptófano, precursor de las auxinas. En plantas de tomate con deficiencia de zinc, hay retardo en la elongación del tallo, lo que está correlacionado con una disminución de la síntesis de ácido indol-3-acético (AIA) (23).

La deficiencia de zinc comienza en las hojas jóvenes, las cuales presentan un amarillamiento progresivo y disminución del tamaño de la hoja (1). En rosa, la deficiencia de este nutriente se manifiesta por la muerte de los puntos de crecimiento, que con el consecuente desarrollo de brotes laterales, se presentan desarrollos vegetativos en forma de roseta (32).

La disponibilidad de este nutriente aumenta con la disminución del pH y la presencia de sulfato. Mientras que su disponibilidad disminuye a pH básico. Otros factores como la interacción con cobre, hierro, manganeso y suelos con alta disponibilidad de fósforo reducen la toma de zinc (18).

## 4.8 Níquel

Este es el último elemento adicionado a la lista de elementos esenciales para las plantas. Su importancia radica en que hace parte de la enzima ureasa que disocia la urea en  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_4^+$ . En plantas con deficiencia de níquel, la concentración de urea aumenta en las hojas hasta niveles tóxicos. La esencialidad de este elemento fue demostrada en cebada, donde se encontró que después de tres generaciones sin níquel, las semillas eran incapaces de germinar y presentaban deformaciones anatómicas (28). En general, el níquel juega un papel importante en el metabolismo de la urea y de los ureidos, en la absorción del hierro, en la viabilidad de las semillas, en la fijación del nitrógeno y en el desarrollo reproductivo (23).

## 5 Elementos esenciales beneficiosos

Estos elementos estimulan el crecimiento y el desarrollo en las plantas pero no se consideran esenciales porque no cumplen con los criterios de esencialidad. Sin embargo, se ha encontrado que algunos de estos minerales son esenciales para ciertas especies de plantas, bajo condiciones específicas. Este criterio se aplica especialmente al sodio, al silicio y al cobalto, aunque el selenio y el aluminio podrían ser beneficiosos para algunas plantas.

### 5.1 Sodio

El sodio es considerado un elemento beneficioso por tres aspectos: es esencial para ciertas especies, puede reemplazar funciones del potasio en las plantas y tiene un efecto positivo en el desarrollo vegetal. Se cree que algunas plantas necesitan el sodio como micronutriente, como es el caso de las plantas CAM y C<sub>4</sub>. Las plantas C<sub>4</sub> desarrollan síntomas de deficiencia, tales como clorosis y necrosis, sobre todo si crecen en lugares donde las concentraciones de CO<sub>2</sub> son relativamente bajas. Se ha encontrado que las plantas CAM crecen más rápido en la presencia de sodio (23, 28).

En cuanto a las funciones del sodio y el potasio, algunas plantas pueden aumentar su masa seca con sodio aunque existan deficiencias de potasio. Sin embargo, existen plantas que son afectadas negativamente por absorción del sodio (5, 23). En especies de importancia económica como la remolacha azucarera, la fertilización con sodio tiene efecto sobre la expansión celular y el balance hídrico, pues, se han obtenido producciones más altas que en los cultivos fertilizados con potasio. El sodio se usa en tierras de pastura, ya que este mineral incrementa la aceptabilidad del forraje por parte de los animales (23). Pero, la absorción de grandes cantidades de sodio por las raíces puede crear dificultades para la toma de otros elementos como el potasio o el fósforo (5).

### 5.2 Silicio

Se ha demostrado que el silicio es beneficioso para especies de la familia *Cyperaceae* como *Equisetum arvense* y algunas gramíneas como el arroz y la caña de azúcar. En caña de azúcar, el silicio parece estar asociado a la protección contra altas intensidades lumínicas. Esto, en razón a que las plantas de caña de azúcar cultivadas bajo invernadero presentan bajos requerimientos de este mineral, cuando son comparadas con las plantas expuestas al sol. En arroz, la deficiencia de silicio ocasiona un retraso generalizado en el desarrollo, se incrementa la transpiración y las hojas más antiguas mueren. En dicotiledóneas como el pepino, el silicio incrementa la rigidez de las hojas maduras, incrementa el contenido de clorofila y reduce la senescencia. En tomate, la deficiencia de silicio reduce el desarrollo y las hojas nuevas presentan deformaciones y muchas plantas no dan frutos (28).

En cuanto a la interacción con otros nutrientes, el silicio evita la toxicidad que pueda causar el manganeso, redistribuyéndolo en el tejido foliar, evitando la formación de puntos necróticos en las hojas causados por el manganeso. En forma general, el silicio mejora la resistencia contra patógenos y parásitos, y protege contra pérdidas de agua por transpiración cuticular (23).

### 5.3 Cobalto

El cobalto es necesario para la fijación del nitrógeno en las leguminosas y es un mineral esencial para los rumiantes ya que es constituyente de la vitamina B<sub>12</sub>. Se ha demostrado que en ambientes pobres de cobalto la fijación del nitrógeno es escasa. En leguminosas, el cobalto está ligado a la nodulación y consecuente fijación del nitrógeno, por lo tanto, su deficiencia se refleja en la deficiencia de nitrógeno (23, 1). La disponibilidad del cobalto aumenta en medios ácidos y disminuye con la presencia de óxidos cristalinos de manganeso (18).

## 5.4 Selenio

Este elemento es absorbido por las plantas como anión  $\text{SeO}_4^{-2}$  y forma proteínas al igual que el azufre, pero las proteínas que tienen selenio no son funcionales. Existen plantas acumuladoras de selenio en miembros de la familia *Cruciferae*, como el brócoli, pero la mayoría de las plantas cultivadas no acumulan este nutriente. En el género *Astragalus*, que es una planta acumuladora de este mineral, se encontró que el selenio previene la absorción excesiva de fosfatos a niveles tóxicos. Pese a que no se reportan otros beneficios, este es un elemento esencial para animales y humanos (23, 1).

## 5.5 Aluminio

Este mineral podría ser beneficioso en bajas concentraciones para las plantas con alta tolerancia al aluminio (23). Sin embargo, son más conocidos los efectos negativos en condiciones de pH bajo porque precipita el fósforo e inhibe la división celular. Además, disminuye la absorción de fósforo, calcio, magnesio, potasio, hierro y boro (18).

## 6 Bibliografía

1. Alarcón V., A. 2000. Nutrición mineral: elementos esenciales y dinámica en el sistema suelo-planta. En: Tecnología para cultivos de alto rendimiento. p. 109-129.
2. Ángel, M. y R. Campos. 1988. Estudio del efecto de las deficiencias de nutrientes minerales en el cultivo del pompón (*Chrysanthemum morifolium*) en la sabana de Bogotá. En: IX Congreso colombiano de la ciencia del suelo (memorias). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - Facultad de ciencias Agrarias, Tunja.
3. Aponte L., A., 1999. Bases fundamentales de anatomía y fisiología vegetal. En: Cultivos protegidos con técnica hidropónica y biológica, Bogotá, p. 23-41.
4. Azcón-Bieto, J. y M. Talón. 2001. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill-Interamericana, Madrid, 522p.
5. Barceló C., J., Nicolás R., G., Sabater G., B. y R. Sánchez T. 1995. Nutrición mineral. En: Fisiología vegetal. 7 ed. Ediciones Pirámide S.A., Madrid, p 151-167.
6. Bergman, W., 1993. Ernährungs-störungen bei kultur-pflanzen. Gustav Fischer Verlag Sena-Stuttgart.
7. Cabrera, R. I., Evans, R.Y. y J. L. Paul. 1995. Cyclic nitrogen uptake by greenhouse roses. *Scientia Horticulturae* 63: 57-66.
8. Calderón, F. 1996. ¿Por qué se tapan los sistemas de riego por goteo? En: Labnews. Serie divulgativa No 5. Dr. Calderón Labs. Bogotá.
9. Calderón, F. 2001. Contribución al conocimiento sobre el rajado del tallo en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.). En: <http://www.drcalderonlabs.com>.
10. Clavijo P., J. 1994. Metabolismo de los nutrientes en las plantas. En: Fertilidad de suelos. Silva M., F. (ed.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, p.13-28.
11. Clover, A. 1991. A new theory on calcium transport. *Grower* 7: 3-5.
12. Estrada, G. 1997. Caracterización y preparación de fertilizantes líquidos para fertirrigación. En: Fertirrigación. Silva M., F. (ed.). Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo, Bogotá, p. 61-72.
13. García, A. 1997. Manejo de la problemática de la salinidad en cultivos fertirrigados. En: Fertirrigación. Silva M., F. (ed.). Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo, Bogotá, p. 91-106.
14. Guerrero, R. 1993. Los nutrientes de las plantas. En: Fertilización de cultivos en clima frío. (vol. 3). Monómeros Colombo Venezolanos S. A. (E.M.A.), Barranquilla, p. 9-13.



15. Handbook for modern greenhouse rose cultivation. 2001. Applied Plant Research, Netherlands, 220p.
16. Holley, W.D. and R. Baker. 1991. Carnation production. Colorado State University. Kendall/Hunt Publishing company. Iowa, p.39-49.
17. León, L. A. 1994. Evaluación de la fertilidad del suelo. En: Fertilidad de suelos. Silva M., F. (ed.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, p. 154-186.
18. Lora S., R. 1994. Factores que afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas. En: Fertilidad de suelos. Silva M., F. (ed.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, p.29-56.
19. López-Gálvez, J. y C. Segovia. 1996. La fertilización. En: Sistemas de producción e incidencia ambiental del cultivo en suelo enarenado y en sustratos. López-Gálvez, J y J. M. Naredo (eds). Fundación Argenteria-Visor Distribuciones, Madrid, p. 95-110.
20. Maldonado, J. M. 1996. Asimilación del nitrógeno y del azufre. En: Fisiología y Bioquímica Vegetal. Azcón-Bieto, J. y M. Talón (eds.). Interamericana-McGraw-Hill, Madrid, p. 215 - 236.
21. McBride, M.B. 1994. Trace and toxic elements in soils. In: Environmental chemistry of soils. Oxford University Press. Oxford, p. 308-341.
22. McDonald, J., T. Ericsson and C.-M. Larsson. 1996. Plant nutrition, dry mater gain and partitioning at the whole-plant level. *Journal of Experimental Botany*. 47:1245-53.
23. Marschner, H. 1998. Mineral Nutrition of higher plants. Academic Press, San Diego, 889 p.
24. Medina, A. 1999. Manejo de la nutrición en el rosal después de la cosecha de San Valentin. En: Mantenimiento de plantas de Rosa, curso de actualización profesional. Lee, R. (ed.). Centro de Investigaciones y asesorías agroindustriales Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Chía, p. 31-48.
25. Medina A., G. A., Bolivar R., J. L. 1993. Análisis de crecimiento y acumulación de nutrientes de *Gypsophila paniculata* L. cv perfecta bajo condiciones de invernadero en la sabana de Bogotá. Tesis de grado. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 163 p.
26. Ortega R., D. Fertilización en cultivos de flores. En: Fertilización. Silva M., F. (ed.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, p.135-148.
27. Resh, H. 1992. Nutrición de las plantas: En: Cultivos hidropónicos: Nuevas técnicas de producción. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, p. 23-48.
28. Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1992. Plant physiology. (4<sup>th</sup>. ed.), Wadsworth Publishing, Belmont, 662p.
29. Taiz., L. and E. Zeiger. 1998. Plant physiology. (2<sup>th</sup> ed.). Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, 792p.
30. Universidad Nacional Agraria la Molina. 1996. Hidroponía. En: Curso taller internacional. Centro de investigación de hidroponía y nutrición mineral, Lima.
31. Welch, R. M. 1995. Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Science*, 14(1):49-82.
32. White, J. 1987. Fertilization. In: Roses a manual of greenhouse rose production. Langhans, R.W. (ed.). Published by Roses Incorporated, Michigan, p.87-142.



# **FERTI-RIEGO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

---



# FERTI-RIEGO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN<sup>©</sup>

Miguel Guzmán

Dpto. Producción Vegetal Universidad de Almería

[mguzman@ual.es](mailto:mguzman@ual.es)

## 1 El enfoque de sistemas aplicado a la producción agrícola

El **enfoque de sistemas** aplicado a la producción vegetal, es un ordenamiento mental de la realidad, que integra el conocimiento: investigadores, extensionistas, productores y políticos, entre otros, para obtener una visión holística. Este enfoque debe pretender potenciar la investigación, dirigida al desarrollo de una región, facilitando la participación interinstitucional, la integración de disciplinas y la vinculación permanente del productor como eje central de un sistema de producción.

Se entiende por un **sistema de producción** al conjunto de actividades organizadas y realizadas por un grupo humano de productores, de acuerdo con sus objetivos, culturales, utilizando recursos y prácticas tecnológicas, en repuesta al medio físico, para obtener las máximas producciones que este permita. Los sistemas de producción son muy variables y flexibles y están relacionados con los elementos que lo componen y las interacciones que existen entre ellos.

Un sistema productivo esta conformado por componentes, que se relacionan entre sí y con los componentes del ambiente que los contienen, los cuales a partir de su comportamiento pueden afectar el sistema (1).

### 1.1 Conceptos y componentes del sistema de producción.

Se entiende por componente de un sistema a cada uno de los elementos de este y sobre el cual se pueden aplicar diferentes actividades y procedimientos, con la finalidad de cumplir con un objetivo que debe ser tanto productivo, como de conservación de recursos. Los componentes son de tipo físico, biótico, económico y sociocultural.

Dentro del **componente ecológico**, desde el punto de vista de la producción vegetal, (el hábitat), es el resultado del efecto combinado del **medio físico** y de los **factores bióticos**. Cada uno de estos subsistemas está constituido por numerosos elementos que pueden afectar a las plantas en diferente medida e intensidad.

Hay que considerar, por un lado el **medio físico** que afecta al **ambiente radical y aéreo**, en el que se contemplan variables de oferta climática como son:

La altura sobre el nivel del mar, la temperatura, la evapotranspiración, la humedad relativa.

Los aspectos geomorfológicos que representan la unidad espacial denominada paisaje y el relieve: el aspecto geológico (material original).

Los suelos con sus principales características edáficas (profundidad efectiva, drenaje, erosión, fertilidad, salinidad o acidez, etc.

Estos factores integran lo que denominamos comúnmente la oferta climática de una zona determinada.

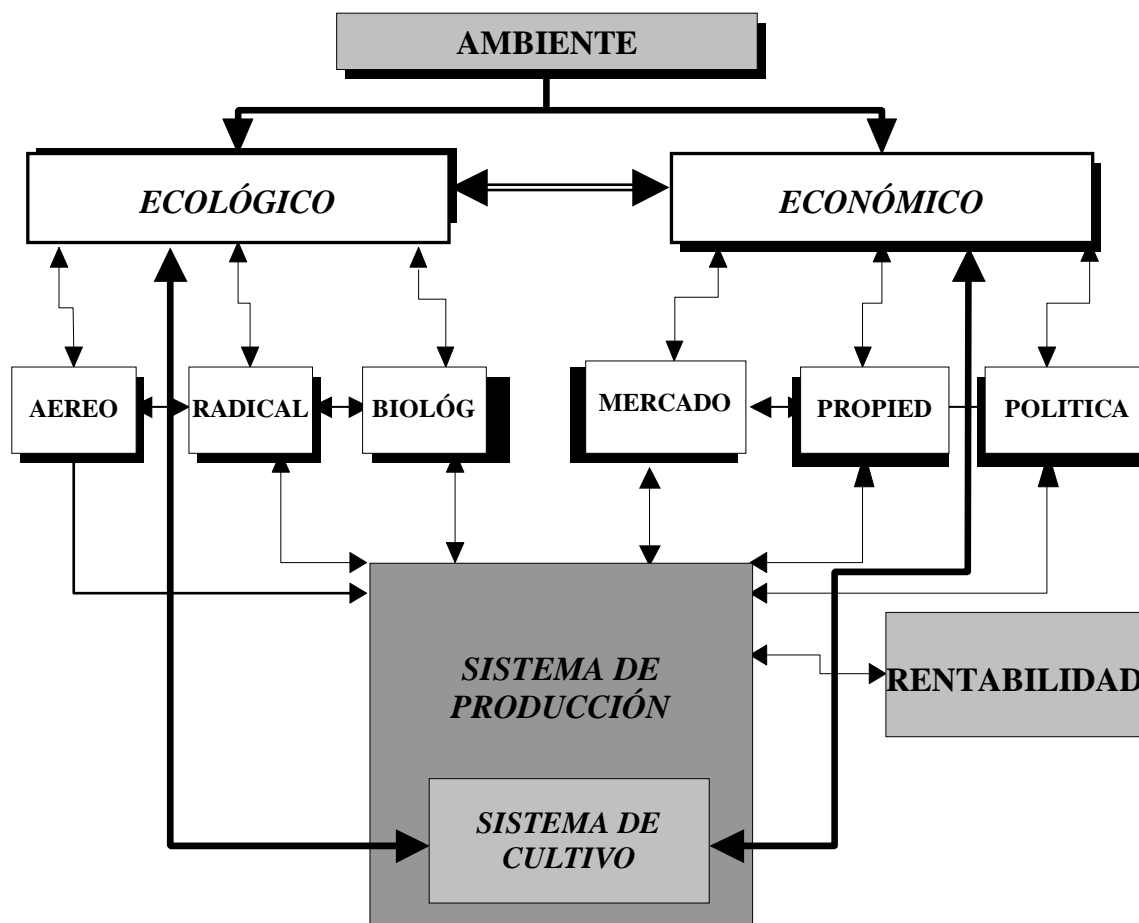


Fig 1.- Estructura del sistema Planta -Ambiente, desde el punto de vista de la Producción Vegetal

Por otro lado debemos considerar el **medio biótico**, sobre el que han escrito muchos autores (Ver (1)), todos hacen referencia a las especies agrícolas, pecuarias y con especial énfasis en el hombre como ordenador de las actividades del sistema. También se hace referencia a los microorganismos (que pueden modificar la disponibilidad de nutrientes, la incidencia de enfermedades, o la existencia de asociaciones simbiotes), a las especies de plantas adventicias al cultivo, la presencia de plagas y organismos beneficiosos. Estos, y otros factores, bióticos contribuyen a modificar las condiciones de crecimiento del cultivo en su hábitat.

El **componente económico** hace relación a la existencia y asignación de los recursos productivos como la tierra, mano de obra, infraestructura, los recursos de capital y la administración de los mismos. El ambiente económico incluye influencias del **mercado** tales como su capacidad de absorción y precios, factores como costo de inversiones, precios de los factores de producción, aspectos cualitativos y cuantitativos de la calidad, así como la temporalidad.

Las actuaciones **políticas** pueden controlar la competencia por restricciones o debido a los costos de transporte, pueden soportar la producción mediante subsidios económicos, o imponer restricciones concernientes a la utilización de fertilizantes, herbicidas, desinfectantes o pesticidas.

En el **componente sociocultural**, se reconoce al productor, como el elemento central en el proceso de toma de decisiones, que afectan los procesos productivos agropecuarios, a su familia y al entorno en que se desarrolla. Conforman lo que se ha venido llamando fenómeno social de la producción (Espinosa, 1986; Nolte y Ruiz, 1989).

**El factor humano** implicado en este sistema es el productor. Depende y actúa en los ambientes ecológico, económico y político. Toma decisiones sobre las especies y cultivares a cultivar y sobre las rotaciones, que están basadas en su experiencia y en la información concerniente al cultivo, el hábitat, y el mercado; sobre sus propias preferencias, y al menos a corto plazo, sobre su propio sistema de producción. A medio o a largo plazo, el primer objetivo que persigue es la rentabilidad de su sistema.

Con base en los conceptos anteriores, podremos definir ahora un **sistema de producción agropecuario** como una unidad productiva. Conformada por un componente biótico, definido a partir de una cobertura vegetal y animal (uso agropecuario), que interactúa con el componente físico (suelos, agua y oferta climática), regulado en su funcionamiento por las condiciones económicas o socioculturales del productor, cuya administración y gestión está dinámicamente relacionada con el medio externo.

En producción vegetal, debe considerarse como subsistema planta a todo el cultivo, por lo que resulta un subsistema dinámico muy complejo. Su productividad está gobernada por numerosos procesos, cada uno de los cuales reacciona de forma especial a los factores ambientales. Además, la planta en un cultivo está sometida a efectos de cobertura que presentan competencias intra- e inter específicas. El cultivo, por tanto, no es solo el resultado del ambiente y de las acciones del cultivador, sino que se retroalimenta de ellos.

A lo largo de este capítulo analizaremos los aspectos concretos de estas influencias ambientales, con especial referencia a las que están relacionadas con el ferti-riego. Comenzaremos clarificando los factores que pueden afectar la productividad de un sistema de cultivo, para comentar las diferentes estrategias conducentes a incrementar las eficiencias de uso hídrico y nutritivo de los diferentes sistemas de cultivo.

## **1.2 Factores que afectan a la productividad de un sistema de cultivo**

El rendimiento de una población vegetal (monoespecífica), tanto cuantitativo como cualitativo, determinan su valor comercial y su rentabilidad. Estos son los objetivos perseguidos por el productor, del patrimonio genético de la planta cultivada. Este rendimiento solo se obtiene en conjunción con las condiciones ecológicas en las cuales este patrimonio genético puede expresarse.

Si todas estas condiciones son ideales con relación a la productividad inherente al genotipo, tanto el rendimiento como la calidad alcanzarán el máximo de su potencial. En la práctica, este objetivo raramente se alcanza y se produce una pérdida cuantitativa o cualitativa como resultado de su expresión en las condiciones reales de crecimiento.

El mejor agricultor es aquel capaz de minimizar estas pérdidas. Una de las herramientas a su alcance consiste en optimizar la nutrición vegetal, sobre todo, pero no exclusivamente mediante el ferti-riego de su agro sistema.

### **1.2.1 Factores internos**

Los únicos factores capaces de influir directamente sobre la productividad son los internos de la planta y comprenden:

**La dotación cromosómica** con todos sus genes (especie, variedad, cultivar, clon, o el genoma de cada individuo), esta es la “dote” inicial y define lo que conocemos como productividad potencial

**La integridad de las estructuras** (órganos, tejidos, células, orgánulos subcelulares) y su capacidad de expansión, a la que se oponen el parasitismo, los daños mecánicos del medio, la competencia espacial con las plantas vecinas (Intra o Inter.-específica). Las alteraciones de esta integridad estructural condicionan internamente la máxima productividad potencial del cultivo

**Las condiciones físico-químicas** predominantes en el interior de cada parte del vegetal, responsables de su crecimiento y de su desarrollo o diferenciación (puesta en escena de su contenido genético) y las señales sistémicas de evocación genética constituyen la componente fisiológica de los procesos productivos. Estas condiciones puede manejarse y modificarse utilizando, entre otras, técnicas de ferti-riego que supongan aportes exógenos capaces de modificar el comportamiento fisiológico del cultivo.

### 1.2.2 Factores externos

Estos solo pueden ejercer acciones indirectas sobre la productividad, a través de las modificaciones que imponen a los factores internos. Este estado no libera a la planta de ser totalmente dependiente del medio exterior para expresar la potencialidad de su genoma. El arte del agrónomo, consiste en valorar las consecuencias de esta doble realidad y ser capaz de modificarla.

Se pueden clasificar los factores externos en tres grandes grupos:

**Factores físicos:** del medio, (energéticos y mecánicos): Iluminación y temperatura (con sus intensidades y ritmos); Textura y estructura del suelo o sustrato, vientos, etc.

**Factores químicos:** (ganancias o intercambios de materia): oxígeno, anhídrido carbónico, agua (líquida y gaseosa), formas minerales, orgánicas u órgano-minerales.

**Factores bióticos:** Inóculos parasitarios o simbióticos (*Rhizobium*, micorrizas, etc.), microflora y microfauna del ambiente radical y aéreo.

Los efectos de proximidad con otros individuos de la población y con las plantas adventicias del cultivo, intervienen a través y sobre estos tres grupos de factores, en sentido favorable (efecto de protección o de asociación con beneficios recíprocos) o en sentido desfavorable (competición, efecto de cobertura o reservorio que favorecen la proliferación de parásitos, alo- o auto toxicidades, etc.)

## 2 Conceptos técnicos y agronómicos del ferti-riego

Para la realización de un adecuado diseño de una instalación de ferti-riego localizada, resulta imprescindible el conocimiento del movimiento y la distribución del agua y los nutrientes en el perfil del suelo. Mediante riego localizado, el agua y los nutrientes disueltos en ella, penetran en el suelo en todas direcciones a partir del emisor, determinando una zona humedecida (bulbo húmedo) y una zona seca no útil para el cultivo. La distribución de la solución nutriente dependerá de múltiples factores tales como propiedades físicas del suelo (textura, estructura, porosidad, conductividad hidráulica, capacidad de infiltración, grado inicial de humedad, nivel de la capa freática, temperatura, etc.), caudal del emisor, distancia entre emisores, dosis y frecuencia de riegos, coeficientes de absorción radicular del cultivo y de evaporación del agua del suelo, etc.

En el perfil de humedad del bulbo húmedo se aprecian tres fases, una zona de transmisión, encharcada y que interesa minimizar por los posibles problemas de asfixia radicular que pueda plantear. Una zona de humedecimiento, donde el agua fluye en la dirección de mínima resistencia y



se mantiene la presencia de aire lo que favorece de desarrollo radicular, esta zona debe tener unas dimensiones acordes con el tamaño y profundidad de enraizamiento específicos del cultivo. Y en tercer lugar un frente de humectación donde se compensa la humedad del bulbo con la humedad original del suelo antes del riego.

Se pretenden unas condiciones constantes de baja tensión del agua en el suelo, lo que se consigue con una aplicación frecuente de agua a las dosis adecuadas. Para no producir un déficit nutritivo en la planta por lavado de nutrientes del perfil del suelo, se realiza una aplicación simultánea de los nutrientes esenciales disueltos. Con estas condiciones, los nutrientes presentan un grado de aprovechamiento muy superior al de sistemas tradicionales, siempre que se suministren en la dosis y equilibrio adecuados, al mostrar mayor movilidad y una distribución más homogénea en el entorno radicular.

La gran ventaja del ferti-riego localizado, no es la posibilidad de usar aguas salinas, sino, junto al ahorro de recursos hídricos, el poder llevar a cabo una fertilización día a día, en función de las variables agro climáticas disponibles, nutriendo al cultivo de una forma totalmente controlada, de tal forma que el suelo pierde casi totalmente su función de reserva o almacén de agua y pasa a tener el mismo comportamiento que un sustrato, siendo un mero transmisor entre el emisor y la raíz del cultivo.

Los sistemas de riego localizado permiten el uso de aguas de riego que por su calidad serían inutilizables bajo sistemas de riego convencionales, ahora bien, debe quedar claro que el uso de aguas de riego de elevado contenido salino implica la necesidad de aportes adicionales que eviten la acumulación progresiva de sales en el bulbo húmedo desplazándolas hacia el frente de humectación y paralelamente se necesita un mayor suministro de nutrientes para compensar las unidades fertilizantes desplazadas junto a las sales nocivas y para contrarrestar los efectos fitotóxicos de ciertos iones (sodio y cloruros, principalmente).

## **2.1 Estrategias para mejorar el ferti-riego**

Actualmente existe una tendencia en horticultura hacia la intensificación, entendida como un incremento en el nivel de insumos externos utilizados por unidad de superficie, con el objetivo de aumentar la productividad y la calidad de las cosechas. Esta tendencia conduce, en muchos casos, a un uso poco eficiente de los recursos naturales, entre ellos del agua y de los nutrientes, y al aumento del valor energético de las actividades productivas. En el marco de una economía de mercado esta casuística provoca un deterioro de las rentas de los horticultores y la reubicación de las producciones hortícolas en territorios y agro sistemas más ventajosos en el ámbito socioeconómico. También repercute, naturalmente, en acrecentar la contaminación en las grandes áreas de horticultura intensiva. Paralelamente a la situación descrita, también se observa que el uso de técnicas de cultivo sin suelo, (que se corresponden con una posición extrema de la secuencia de intensificación), permitiría la sustitución progresiva de recursos naturales, por tecnología. Esta sustitución haría posible una horticultura cada vez más independiente de los recursos naturales. Esto no es aplicable, sin embargo, a todas las técnicas de cultivo sin suelo, ni a todas las formas de gestionarlas, tal como veremos al referirnos al agua y a los fertilizantes.

En el límite del cultivo de plantas en un medio radicular restringido y asilado del suelo natural, como pretenden los CSS, haría posible igualar las aportaciones de agua y nutrientes con los ritmos de extracciones hidrominerales de las plantas cultivadas. En la práctica esto es cuestionable pero se entiende que la posibilidad de control del ferti-riego en los cultivos fuera del suelo es mayor que en los cultivos en suelos naturales.

En los sistemas "cerrados", es decir, los que reutilizan la solución nutritiva como aporte del mismo sistema, es más viable ajustar las aportaciones hidrominerales a los ritmos de absorción de agua y de nutrientes de las plantas. Pero esto es difícil si se utilizan aguas de baja calidad y en condiciones de elevada demanda evaporativa atmosférica, como sucede en el área mediterránea.

En los sistemas de cultivo sin suelo "abiertos", que son los más habituales, resulta necesario un control más exhaustivo del estado hídrico y nutricional de la planta, ya que actualmente las eficiencias son bajas y se generan graves problemas de contaminación.

En resumen, la baja eficiencia en el uso del agua y de los fertilizantes en los sistemas de cultivo carentes de suelo se puede atribuir a dos causas principales:

- ✓ Las dificultades del agrónomo y/o del agricultor en el conocimiento preciso, en tiempo real, de los requerimientos de agua y especialmente de nutrientes de los diferentes sistemas de cultivo sin suelo, en cada una de las diferentes situaciones agro-climáticas.
- ✓ La propia configuración del sistema de producción en cuanto al material vegetal, al clima, al sustrato, a las soluciones nutritivas, a las aguas disponibles y al equipo de irrigación.

Comentada la situación actual de los sistemas de cultivo sin suelo, en relación con el uso indisociable del agua y los fertilizantes, debemos profundizar en las características particulares de estos agro-sistemas. Analizando la metodología y los conocimientos que permitan establecer, en el futuro, estrategias para una gestión más eficiente de los recursos.

### **2.1.1 Estrategias de aporte de fertilizantes**

Tradicionalmente, las aproximaciones para solicitar los problemas de fertilidad de los suelos en la producción vegetal, se han enfocado desde el punto de vista de incrementar los niveles de fertilidad de los suelos, para adecuarlos a las necesidades de producción de las plantas. Por estas técnicas, los factores que determinan la fertilidad de los suelos, como pH y disponibilidad de nutrientes, se ajustan a niveles óptimos para satisfacer las necesidades de una determinada especie. En principio esta estrategia supone el aporte de fertilizantes químicos para alcanzar los niveles de fertilidad deseados en el suelo para cada especie. Esta estrategia ha proporcionado buenos resultados para aumentar la producción de los cultivos en las zonas templadas, donde por regla general, los suelos no presentan propiedades químicas extremas. Sin embargo, los genotipos adaptados a esta estrategia de elevado suministro, tienen una capacidad limitada de adaptación a las condiciones químicas adversas que presentan los suelos de las regiones tropicales y subtropicales. Por ejemplo en América tropical, el 70% de los suelos son ácidos e infértiles (2); en las regiones tropicales y subtropicales los problemas relacionados con la salinidad y la alcalinidad de los suelos, como las deficiencias de hierro y zinc, afectan a la mayoría de los suelos cultivados. El 25% de los suelos de las áreas cultivadas del mundo, presentan problemas químicos agudos. Estas condiciones hacen inviable la aplicación de estas estrategias de mejora de los suelos debido a la extensión que ocupan o a los costes que implica su adecuación.

Durante las tres últimas décadas, las dificultades y los fracasos en la utilización de esta estrategia de suministro elevado, en la mayoría de los suelos tropicales y subtropicales, ha originado una aproximación al problema desde el punto de vista opuesto, es decir: adaptar las plantas a las propiedades del suelo. Esta estrategia requiere la utilización de cultivares mejor adaptados a las condiciones ecológicas imperantes, así como la utilización durante la selección de cultivares de criterios de eficiencia hídrica y nutritiva y de elevada tolerancia a las condiciones adversas (Toxicidad de Al y Mn; Encharcamiento; Salinidad; etc.).

Esta estrategia de bajo suministro utilizando genotipos adaptados, puede dirigirse no solo, a seleccionar cultivares resistentes a las condiciones adversas (ej. Salinidad), sino a la selección de cultivares que utilicen los nutrientes y el agua, tanto presentes en el suelo, como los aportados con el ferti-riego (especialmente P y N en condiciones tropicales) con una mayor eficacia.

La aplicación de esta estrategia utilizando cultivares adaptados con una mayor eficiencia en la utilización de los nutrientes de reserva del suelo, de los fertilizantes y del agua, se basa en la obtención de cosecha que solo pretenden alcanzar entre el 80 y el 90% de la máxima.

## **2.2 Eficiencia hídrica**

En principio, toda agricultura de regadío debe considerarse como insostenible; ya que los procesos de evapotranspiración (ET) concentran las sales presentes en el agua de riego y, a menos que se evacue de la zona radical por percolación mediante un exceso de riego o un exceso de lluvia; estas sales originan pérdidas en la producción del cultivo. Para hacer que la agricultura de regadío sea sostenible, debe mantenerse en equilibrio las sales presentes en la zona radical, lo que requiere una eliminación del exceso de sales por lavado mediante el riego. Este drenaje de los suelos irrigados genera un problema medioambiental que debe tenerse en cuenta para sostener la calidad del agua que se utiliza para posteriores riegos. Este problema se agrava cuando la cantidad de recursos hídricos es limitada: basado en acuíferos subterráneos confinados, agotables o difícilmente regenerables. En estos casos, es necesario adoptar estrategias que mejoren la eficiencia en el uso de agua por parte de los cultivos, así como aquellas que incrementen la eficiencia en el almacenamiento y la distribución del agua disponible.

La mejora en la eficiencia hídrica de los cultivos puede conseguirse:

- ✓ Alterando las condiciones medioambientales para disminuir el déficit de presión de vapor y, por tanto, la eficiencia en la Evapotranspiración.
- ✓ Mejorando la eficiencia de Transpiración, es decir, su potencial genético para incrementar la fotosíntesis por unidad de agua transpirada.
- ✓ Mejorando la eficiencia en el uso del agua, es decir, su capacidad para incrementar la producción de materia seca total o de cosecha por unidad de evapotranspiración.

La eficiencia en el uso del agua puede modificarse por factores de

- ✓ Manejo, como densidad, rotación, fecha de plantación, elección del cultivar, etc.
- ✓ Biológicos, como las características que hacen que unos determinados cultivos o cultivares este mejor adaptado a determinadas condiciones de estrés que otro. o
- ✓ Ambientales entre las que cabe destacar las propias de la localización del cultivo, o la modificación de las condiciones en el ambiente del mismo, y fundamentalmente el riego y la fertilización.

## **2.3 Eficiencia nutritiva**

El concepto de sostenibilidad de los sistemas productivos se enfoca en el sentido que el sistema no se deteriore con el tiempo. En este sentido, los mayores esfuerzos se han realizado en mantener los recursos considerados como no renovables. El suelo se considera un recurso no renovable, mientras que el agua puede considerarse como renovable ya que se restituye en cierta medida al propio ciclo global del agua.

Desde el punto de vista agronómico y en sentido operacional, las diferencias de eficiencia nutritiva en los genotipos de plantas cultivadas se definen normalmente por las diferencias en el crecimiento relativo o en la cosecha cuando se cultiva la planta en un medio deficiente (3). Para un determinado genotipo, la eficiencia para un determinado nutriente se refleja en su habilidad para producir una

elevada cosecha, con respecto a un genotipo estándar, en un medio en el que ese nutriente es deficiente (4). Esta definición puede aplicarse a la comparación de genotipos intra-específicamente (cultivares o líneas) o a la comparación de cultivos de especies diferentes.

La mayoría de los estudios realizados sobre eficiencia nutritiva, centran su interés en los aspectos agronómicos, comparando la producción, o el porcentaje de reducción de la cosecha en cultivares a los que se les ha mantenido con un suministro deficiente de un determinado nutriente. Pero en los programas de selección genética, deberían utilizarse en sentido opuesto, es decir, la obtención de cultivares capaces de alcanzar producciones adecuadas, en condiciones de deficiencia.

## 2.4 Ferti-riego: Eficiencia hídrica y nutritivas

Diferentes situaciones ambientales van a incidir directamente sobre la componente transpirativa de la ET, alterando la cantidad de agua que atraviesa el sistema Suelo-Planta-Atmósfera, en la mayoría de los casos sin afectar significativamente a las necesidades nutritivas del cultivo.

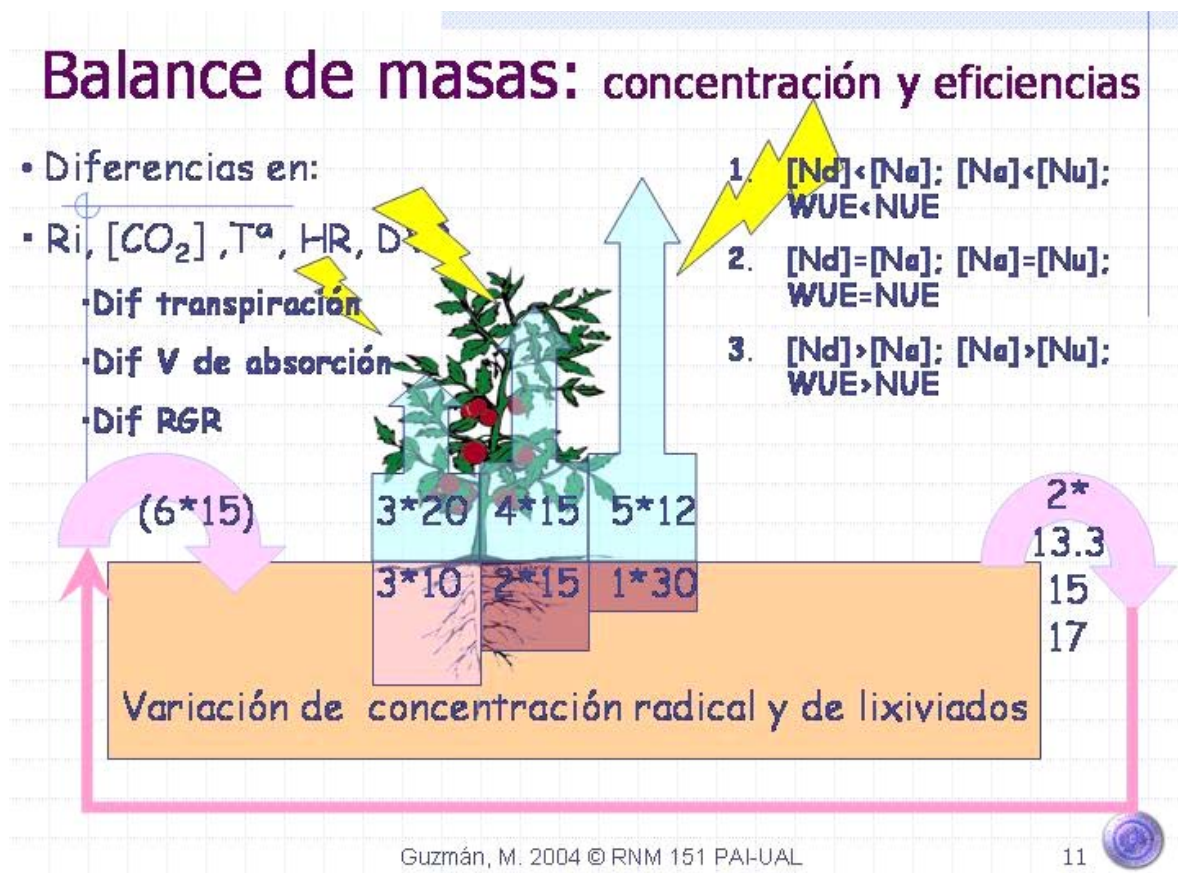


Fig. 2.- Balance de masas aplicado al ferti-riego y diferentes situaciones de eficiencia.

Por otro lado, diferentes situaciones culturales pueden afectar a las necesidades nutritivas del cultivo, sin afectar a la demanda hídrica del mismo. Esta diversidad de situaciones se presenta con una diversidad similar de situaciones de eficiencia nutritiva, entre las que solo podremos considerar como “ideal” aquella que resulte en la misma eficiencia para cada uno de los componentes de la nutrición vegetal: carbónica, hídrica y mineral (5).

En el caso que nos ocupa, las desviaciones de esta situación ideal hacen que el cultivo sea más o menos eficiente en la utilización de agua que de elementos nutritivos (situaciones 1 y 3 de la figura 2). Como consecuencia, los drenajes o los lixiviados obtenidos, constituirán una solución más o

menos concentrada que la solución aportada. Resulta evidente que los elementos no nutritivos, presentes en la solución de ferti-riego, solo se presentarán en situaciones de mayor concentración (1 en la figura 2), por lo que la cantidad total de sales en los drenajes, lixiviados o solución del suelo, tenderá a ser mayor que la aportada.

La reutilización de los drenajes obtenidos como nueva solución de ferti-riego en los sistemas cerrados, hace que el proceso sea algebraicamente aditivo y dependiente de las condiciones imperantes entre sesiones consecutivas de ferti-riego para periodos de tiempo más o menos largos.

Desde este punto de vista hay que tener en cuenta dos aspectos fundamentales de la solución de ferti-riego: sus variaciones de composición y sus variaciones en concentración

Sin entrar en consideraciones sobre la oportunidad de utilizar como elemento de diagnostico para estas variaciones las soluciones rizosféricas (edáfica o de sustrato) o las de drenajes. Resulta evidente que la utilización de los drenajes, desde el punto de vista de su composición cuantitativa y cualitativa, está fuertemente condicionada:

- a) Por la variación que ejercen sobre la solución aportada la influencia de los factores ambientales y el nivel de crecimiento del cultivo.
- b) Por la mayor o menor aproximación existente entre la solución “ideal” aportada y las necesidades reales del propio cultivo en el periodo considerado.

Teniendo esto en cuenta; los esfuerzos en la planificación del ferti-riego deben centrarse, no solo en definir las extracciones hídricas y nutritivas para un cultivo en unas condiciones particulares, sino en generar modelos capaces de responder en tiempo real a las variaciones que se producen en la composición y en la concentración de las soluciones estimadas.

### **3 Bibliografía**

1. Krung, H.1997. Environmental Influences on Development, Growth and Yield. In: The Physiology of Vegetable crops. Wien, H.C. (ed). 101-180. CAB International Wallingford. UK.
2. Sánchez, P.A. and Salinas, G. 1981. Low input technology for managing Oxisol and Ultisol in tropical America. *Adv. Agron.* 34, 280-406
3. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. London. UK
4. Graham, R.D. 1984. Breeding for nutritional characteristics in cereals. In Advances in Plant Nutrition (PB. Tinker and A. Läuchli, eds) Vol 1. 57-102. Praeger New York. USA
5. Martin-Prével, P. Gagnard, J. and Gautier, P. 1984. L'Analyse Végétale dans le Contrôle de l'Alimentation des Plantes Tempérées et Tropicales. Lavoisier Tec-Doc. Paris Cedex. FR.



# PROBLEMÁTICA ECONÓMICO AMBIENTAL DEL FERTI-RIEGO<sup>©</sup>

Elizabeth Urbano Salazar

Escuela Politécnica del Ejercito Quito. Ecuador.

Av El Progreso s/n. Telf (5932)2870192

[eliurbano@hotmail.com](mailto:eliurbano@hotmail.com)

José López Gálvez

Coordinador RED XIX.A CYTED

[jlgalvez@ual.ecs](mailto:jlgalvez@ual.ecs)

## 1 Introducción

La cantidad de tierra per cápita para producción agrícola ha declinado dramáticamente en todo el mundo durante las últimas décadas, y se espera que continúe reduciéndose, es así que se estima que para el año 2025 la tierra per capita en producción será 56 % menos que la de 1965. Por otro lado se espera que la población mundial en 25 años sea de alrededor de 8 billones, 2 billones más que la población actual. Esta tendencia de crecimiento requiere que los rendimientos por unidad de superficie continúen incrementándose.

El ferti-riego se presenta como una de estas tecnologías que ayudarán a incrementar en alto grado el nivel de productividad de la tierra con relación al área utilizada. Como toda tecnología nueva, la fertigación presenta ventajas y desventajas obviamente las primeras superan con creces a las otras.

La fetirrigación se define como la aplicación de fertilizantes en el agua de irrigación (FERTilización + IRRIGACIÓN, esta agua fertilizada llega al cultivo de una manera económica y eficiente mediante la utilización de tuberías y equipos que en gran parte están hechos de material plástico. El motivo por el que se escogió este material es debido a; su durabilidad, facilidad de incorporar aditivos, de fabricación, de instalación, transporte y bajo costo respecto de otros materiales, entre otras razones.

Actualmente es casi imposible desarrollar una tecnología de ferti-riego sin la utilización de materiales plásticos en sus equipos y por lo tanto estamos frente a una de las más emblemáticas interdependencias entre el plástico y la agricultura.

Se puede practicar la fertigación en riegos por aspersión, pivote central y líneas transportables y más comúnmente con riego por goteo, microjets y microaspersores siendo en estos últimos en donde más implementos plásticos encontramos.

Mucha de la tecnología desarrollada en la industria del plástico a favorecido enormemente a la agricultura técnica como es el caso del cultivo de rosas de exportación. Es imposible imaginar una plantación de rosas sin la utilización de tuberías, mangueras y emisores elaborados con plástico de alta tecnología. En estos, a más de su eficiencia de trabajo, ofrecen una durabilidad de años, con un mínimo de mantenimiento en relación con otros materiales que no darían las mismas facilidades.

Naturalmente no todos los tipos de riego permiten realizar la fertirrigación, ya que la exigencia principal es obtener la máxima uniformidad en la aplicación. De hecho la fertirrigación se asocia básicamente con los riegos localizados de alta frecuencia (riego por goteo, exudación, microaspersión, etc.) sin perjuicio de su posible aplicación en otros casos (aspersión). (3)

## **2 Problemática económica del ferti-riego.**

En la última década en el Ecuador, y desde hace algunas décadas en los países iberoamericanos, el sector agroindustrial ha tomado considerable importancia, convirtiéndose en una de las principales fuentes de ingresos económicos para éstos países, así como el generador de múltiples plazas de trabajo. En el caso de Ecuador la aplicación de tecnología más las condiciones de clima favorables lo ha llevado a convertirse en uno de los principales países exportadores de flores gracias a la alta calidad de su producto. Esto no es obra de la casualidad, sino el resultado de la competencia que ha obligado a la búsqueda y aplicación de nuevas tecnologías, exigiendo a las compañías de riego investigar y desarrollar unidades que permitan mantener su calidad y altos rendimientos en los cultivos implementados. (4)

### **2.1 Inversión inicial del equipo de riego**

El principal problema que presenta la implementación de la fertirrigación es que, en gran medida esta acompañada de una alta inversión inicial, si se la compara con el tipo de riego y fertilización tradicional.

Los problemas del sector agropecuario de los países latinoamericanos ha girado alrededor de: falta de canales adecuados de comercialización, planificación agrícola, líneas de crédito reducidas, falta de desarrollo en investigación de tecnologías nuevas y propias que respondan a las necesidades del agricultor, falta de conocimiento en el manejo de equipos de fertirrigación, entre otros.

Generalmente en los países desarrollados sucede que cuanto más tecnología se aplique al cuidado del cultivo mayor será la ganancia que se obtenga de él, pero para llegar a ello es necesario realizar una inversión inicial elevada, que con el paso del tiempo dará enormes compensaciones.

En los países con menor desarrollo, se tiene el grave riesgo de perder estas inversiones iniciales, pues la falta de conocimiento del manejo adecuado de los equipos, de asesoramiento técnico oportuno, de repuestos o implementos generalmente importados ponen en riesgo dicha inversión.

Respecto a los fertilizantes solubles usados en este proceso, se debe indicar sus altos costos en especial por ser importados, constituyéndose también en muchos casos en sustancias que contaminan y afectan el equilibrio normal del suelo. Esto es especialmente grave al ser aplicados en cantidades excesivas, por falta de conocimiento, pues se maneja mucho el criterio de que cuanto más se fertilice mayor será la producción.

La ciencia y el conocimiento del hombre esta en constante evolución y por lo tanto, son constantes los descubrimientos que realizan científicos de todos los países para mejorar y aumentar la productividad de los cultivos, en el contexto de la globalización es de gran importancia la generación del conocimiento a fin de dar solución a los problemas locales de cada país.



## 2.2 Mantenimiento y uso del equipo de ferti-riego

Al hablar de fertigración estamos hablando de tecnología, que por si trae como consecuencia la necesidad de tener un mayor cuidado y manejo del sistema al igual de la necesidad de tener personal capacitado, equipos y materiales para obtener un eficiente resultado. El uso de fertigración casi siempre requiere de costos adicionales como el uso de motores de bombeo de agua, filtros de depuración e incluso de la construcción de reservorios lo que aumenta su costo inicial. Todos estos rubros constituyen una valiosa ayuda para el agricultor, sin embargo, él debe tener en cuenta que es necesario mantener su inversión y trabajarla a toda su capacidad a través de un plan de mantenimiento adecuado y un uso eficiente.

Los principales problemas que enfrenta el usuario del equipo de riego es el daño o la deterioración de sus equipos debido a la falta de un mantenimiento periódico y adecuado, lo que genera pérdidas y desperdicio de fertilizantes.

## 2.3 Fertilizantes solubles

Otro factor que incide en el aspecto ambiental y económico en el uso de la fertigración, es la facilidad de incorporar fertilizantes solubles, en el agua los cuales en ciertos casos tiene un costo adicional por ésta cualidad. Además, se debe tener un conocimiento muy tecnificado de cómo realizar la preparación de estos fertilizantes ya que de existir una mala combinación de ellos pueden formarse precipitados que no son asimilables por la planta u ocasionar taponamientos en los emisores. El uso inadecuado de éstos fertilizantes a la larga contaminará las aguas subterráneas.

Los problemas que inicialmente podrían aparecer con el uso del fertiriego se ven enormemente compensados, entre otras por las siguientes ventajas:

Facilidad y rapidez de aplicación del agua y fertilizantes ahorrando así la mano de obra que se utilizaría de la forma tradicional.

- ✓ El uso eficiente del fertilizante, debido a que se puede realizar un cálculo más exacto de la cantidad de nutriente que requiere la planta y la profundidad a la que se quiere llegar en el suelo.
- ✓ Disminuir la presencia de enfermedades y plagas debido a que controla el nivel de humedad ambiental principalmente dentro de los invernaderos. Además, que, al lograr nutrir a la planta con los niveles exactos de fertilizantes, esta tendrá una menor posibilidad de ser susceptible a enfermedades.
- ✓ En sectores donde el agua abunda durante ciertas épocas de año y luego escasea de forma dramática, también es una ventaja el uso de éste sistema, porque dosifica el uso del agua y fertilizante a lo largo del cultivo. Pudiendo llegar a establecer la cantidad de agua que se requiere a lo largo del ciclo vegetativo de la planta. Basado en esos cálculos tener un reservorio de agua que ayude a optimizar el uso de la misma, a lo largo del año, sin afectar la productividad de la planta y más bien mejorarla. Esto último a ayudado en mucho a desarrollar la agricultura en sectores en donde a escaseado el agua en momentos cruciales del cultivo

## 3 El medio ambiente en relación con el ferti-riego

Una permanente preocupación en los últimos 10 años, ha sido el llevar de la mano la tecnología con la conservación ambiental, de tal manera que los nuevos paquetes tecnológicos no afecten nada o casi nada al medio ambiente.

Si estudiamos las curvas de absorción de nutrientes de las plantas, observaremos que la necesidad de los mismos va en aumento conforme se va desarrollando la planta. Esta curva es muy semejante

a la curva de requerimientos hídricos, lo que nos demuestra que el nivel de agua y el nivel de nutrientes van de la mano durante el desarrollo de las plantas.

En años anteriores la fertilización de los suelos era uno de los principales factores de contaminación de aguas freáticas o subterráneas principalmente por lixiviados de nitratos. Pero en los últimos años, a través del uso del fertirriego, combinado con el uso controlado del agua, ha disminuido considerablemente este tipo de contaminación a la vez que ha disminuido ostensiblemente el uso de fertilizantes debido a su facilidad de asimilación por la planta.

En muchas ocasiones estas contaminaciones de mantos acuíferos se debían a que se hace una sola aplicación de fertilizantes nitrogenados para todo el ciclo del cultivo. Debido a la gran movilidad que presenta el nitrato, este se lixiviaba, pero con la fertigación, el fertilizante nitrogenado puede ser dosificado a lo largo del cultivo haciendo más eficiente su asimilación y contaminando menos el suelo.

Es sabido que el nitrógeno es uno de los elementos más utilizados en la agricultura. Es uno de los denominados macro nutrientes por su elevado uso en el proceso fotosintético de la planta, pero al mismo tiempo el nitrógeno es muy volátil y a su vez fácil de lixiviar en el suelo. Se el considera como una de las fuentes más comunes de contaminación, tanto en el aire como en las aguas freáticas, este factor de contaminación es tal vez uno de los que principalmente controla el uso de la tecnología de la fertigación bien administrada, disminuyendo al máximo las pérdidas de nutrientes que finalmente serán principalmente asimiladas por las plantas.

Un problema distinto es el que presentaba el fósforo, ya que este elemento, debido a su baja movilidad en el suelo, debe ser aplicado a un nivel profundo dentro de las capas del suelo agrícola, ya que así puede ser adsorbido con mayor facilidad por las raíces de la planta. Por intermedio de la fertigación se optimiza la aplicación de este macro nutriente con el uso, por ejemplo, del ácido fosfórico el cual es de absorción más fácil gracias a su uso combinado con el agua de riego, logrando así nutrir a la planta en forma adecuada y oportuna; Además, este ácido puede ser usado sin temor debido a que no corroe los componentes plásticos del sistema de riego.

El cultivo de vegetales con ayuda de la fertigación, ha disminuido enormemente la presencia de enfermedades y plagas, lo que representa una ayuda en la disminución de pesticidas los mismos que han sido muy cuestionados por sus efectos secundarios en el ambiente y en los seres humanos.

Tal es la conveniencia del uso de la fertigación que aun los agricultores llamados Orgánicos la utilizan en sus cultivos, ya que consideran que, no solo son compatibles, sino además son complementarios. A tal punto llega este criterio que en la actualidad se producen y sacan al mercado productos fertilizantes “orgánicos” solubles en agua para poder ser utilizados en los sistemas de fertigación y cuyos resultados han sido prometedores.

La presencia de materia orgánica en el suelo es muy importante en la fertigación. La importancia del contenido de materia orgánica en el aspecto práctico es ampliamente reconocida por el agricultor que aporta estiércol y enmiendas orgánicas en las tierras a las que presta un mayor cuidado. El nivel de materia orgánica tiene un marcado efecto, en primer lugar sobre las condiciones, físicas del suelo mejorando la estructura del mismo. Esta mejora se debe sobre todo a la formación de agregados migajosos muy estables. Como consecuencia de ello mejora la aireación, la permeabilidad, la capacidad de reserva del agua, etc. Por otra parte, la materia orgánica desempeña un papel importante en la fertilidad del suelo: aumenta su capacidad de retención de nutrientes, mantiene algunos de los elementos en forma asimilable para las plantas y crea en general un ambiente más favorable para el desarrollo de las raíces. (3)

Otro factor ambiental muy importante que incide en la fertigación es la cantidad y calidad de agua, todos conocemos que paulatinamente la cantidad de agua en el mundo se va reduciendo de tal manera que los países desarrollados se preocupan en usarla eficientemente y de conservar éste valioso recurso. Además, se debe observar la calidad para que pueda ser utilizada para este fin.

En el Ecuador al igual que en muchas zonas de Iberoamérica la calidad del agua varía mucho de zona a zona e inclusive se puede decir que varía de finca a finca. Esto debido a la contaminación a la que este recurso se puede ver expuesto a lo largo del trayecto desde la fuente hasta las diferentes fincas, ya que a menudo durante este trayecto se utilizan acequias abiertas en las que puede ingresar cualquier elemento contaminante. Otra de las razones de esta variación de calidad es la fuente de la que proviene, ya que al atravesar por zonas montañosas de distinto origen geológico, el agua se ve alterada en su composición química por los elementos dominantes en los materiales minerales. Como es el caso de excesiva presencia de Boro en la provincia del Cotopaxi en el Ecuador, presencia que en algunos casos se presenta en tal concentración que resulta tóxico para algunos cultivos, como es el caso de la rosa.

Para la implementación del fertirriego se debe tomar muy en cuenta los muchos puntos que pueden afectar la calidad de agua con la que se desea trabajar, entre los principales parámetros que se deben considerar están:

- ✓ Conductividad
- ✓ pH
- ✓ Sulfatos, Cloruros, Carbamatos, bicarbonatos, boratos. Etc.
- ✓ Dureza
- ✓ Materias orgánicas
- ✓ Microorganismo (3)

La interpretación de todos estos parámetros resulta muy compleja por lo que se requiere normalmente el asesoramiento de un especialista. Generalmente, este aspecto debe considerarse desde el principio, es decir en la elaboración del proyecto del cultivo, ya que puede determinar en muchos casos, el método de riego más apropiado, la repercusión económica y el impacto ambiental de la instalación del proyecto. (3).

Es muy sabido que los riegos por manto o los riegos por gravedad tienen el inconveniente de la pérdida de suelo (erosión), la cual ha llegado a dejar estériles muchos de los suelos andinos en Suramérica. Esto sin tomar en cuenta la cantidad de agua que se llega a desperdiciar debido su uso ineficiente. Estos dos temas son completamente solucionados con el uso de la fertigación tecnificada.

## **4 Conclusiones**

El hombre buscando siempre una mayor productividad de sus cultivos, altera la naturaleza química del suelo al introducir fertilizantes para incrementar el potencial nutricional de las plantas. Debido a que cada tipo de cultivo requiere en la mayoría de los casos de nutrientes muy diversos, específicos y variables en su cantidad. Se han desarrollado tecnologías avanzadas que logran aportar estos requerimientos con mayor exactitud y eficiencia como es el caso de la fertigación.

Como es lógico la instalación de un sistema de riego representa una mayor inversión inicial. Este hecho debe ser analizado pormenorizadamente, para determinar la capacidad técnica de manejar y mantener el sistema y de realizar los cálculos adecuados que permitan al cultivo maximizar su potencial productivo y reflejarse en réditos para el agricultor.

Cada vez es mayor la preocupación de la humanidad hacia el ecosistema que le rodea y del que toma sus recursos y materia prima para desarrollarse. Esta preocupación está llegando al punto en el que se intenta afectar cada vez menos a los flujos naturales de energía que en la naturaleza se desarrollan. El desarrollo de la fertigación es un ejemplo de esa búsqueda de eficiencia y de afectación reducida al medio en que se desenvuelve la agricultura.

Se requiere continuar desarrollando y perfeccionando este tipo de tecnologías a fin de que se reduzcan la cantidad de suelos que se pierden por mal manejo, se reduzcan los niveles de contaminación hídrica y atmosférica, en la búsqueda del mejoramiento de la calidad de vida del ser humano.

Investigar nuevos sistemas de ferti-riego localizado, de bajos costos que sean accesibles a pequeños y medianos agricultores, a fin de mejorar los sistemas tradicionales desarrollando tecnología propia que sea amigable con el ambiente.

## **5 Bibliografía**

1. Steward W. M Fertilizantes y el ambiente, Informaciones agrícolas IMPOFOS, julio 2001 No44 pag 6,
2. Ludwick, al, El manejo de fertilizantes a través de los sistemas de riego (fertigación) Informaciones Agronómicas N.27 INPOFOS, abril 1997.
3. Vivancos Dominguez, Fertirrigación, Ed. Mundi-prensa, Madrid España, 1993
4. Zapata, Rodrigo. Memorias I Encuentro de agroplasticultura en el Ecuador. Junio 2004.

# COMPONENTES SOCIO-ECONÓMICAS Y AMBIENTAL DEL SISTEMA DE CULTIVO FORZADO<sup>©</sup>

José López Gálvez

Coordinador Red XIX.A CYTED

[jlgalvez@ual.es](mailto:jlgalvez@ual.es)

## 1 El sistema de cultivo forzado.

El concepto de agricultura ha sido tradicionalmente entendido como propio de actividades muy dependientes del medio físico natural. No debe, pues, extrañar que la prosperidad agrícola de una zona fuera concebida como algo consustancial con circunstancias favorables de suelo, clima y agua. La condición desfavorable de alguno de estos factores limitaría el potencial de diversas prácticas agrarias, hasta el punto de que éstas lleguen a perder su interés económico.

La técnica de producción o forzado de cultivos consigue modificar, total o parcialmente, las variables ambientales haciendo que los cultivos se desarrollen con cierta independencia de los factores climáticos. Esta técnica empezó a practicarse desde muy antiguo. La posibilidad de realizar el cultivo mediante abrigos transparentes era conocida por los romanos que observaron como *ellos admiten el sol y el día sin sol (luz)* (1). Los pepinos que el Emperador Tiberio necesitó comer diariamente por prescripción médica *se cultivaban en macetas apoyadas sobre ruedas, para que pudieran transportarse al sol fácilmente y en días invernales pudieran ser retirados a abrigos transparentes* (2). La siguiente frase muestra como, en esta época, se puso el acento crítico en esta forma de cultivo: *¿no están en contra de la Naturaleza, aquellos que desean una rosa en invierno, mediante vapor de agua caliente y una oportuna modificación del ambiente, al cultivar en periodo de invierno aquella flor de primavera?* (3).

La implantación del invernadero coincide con la utilización del vidrio en la construcción. Así en el s. XV, coincidiendo con el fervor económico y cultural en Europa, aparecen las *orangeries* en Francia. En ellas se cultivaban especies de otras latitudes, en especial naranjas y limones, por sus propiedades medicinales. A partir del s. XVIII, la nobleza y las casas reinantes se interesaron por estas construcciones, utilizándolas para el cultivo de plantas exóticas recogidas en lugares lejanos. El empleo generalizado del vidrio y su adaptación como material de cerramiento en invernaderos permitió su construcción a gran escala, sobre todo, por parte de viveristas y cultivadores de planta ornamental. El exponente más importante de esta técnica de cultivo se tiene en Holanda donde en 1904 había 30ha y casi 7.000ha en 1970 (4). Sin embargo, el alto coste de estos invernaderos,

consecuencia de la especial estructura para soportar el peso del cristal y por el precio de éste, no ayudó a la rápida extensión de esta tecnología.

La crisis del petróleo del año 1973 impuso la realización de investigaciones agrarias encaminadas a disminuir la cantidad de energía consumida por unidad producida. Se consiguieron en esta época materiales de cerramiento muy ligeros, de gran transmisividad a la radiación solar y con buen efecto termo aislante a las radiaciones de onda larga. Con la introducción de los plásticos flexibles surge la rápida expansión de los invernaderos. A la par que en los distintos países del mundo se desarrollaban las industrias de materiales plásticos, la evolución de la superficie cultivada bajo película de dicho material aumentó considerablemente. La revolución que está suponiendo el desarrollo de materiales plásticos y su aplicación a la agricultura está propiciando un profundo cambio en la concepción de las prácticas agrarias. Estos materiales, además de alterar las condiciones ambientales de cultivo: acolchados, pequeños túneles, mallas de protección, cerramiento de invernaderos, etc.; intervienen en la mejora y manejo del agua: redes de distribución, depósitos reguladores, sistemas de riego, etc.

Las principales aplicaciones de los materiales de los materiales plásticos en la aplicación de cultivos son (5).

**El acolchado.** Consistente en la colocación de una lámina plástica traslúcida u opaca sobre el suelo. De esta manera se mejora las condiciones térmicas del sistema radical de la planta, se disminuye la evaporación desde el suelo y se evita la proliferación de malas hierbas. Últimamente se viene utilizando para realizar la desinfección del suelo, técnica conocida con el nombre de solarización.

Cuadro 1.- Superficie (ha) y plástico (t) para acolchado en el mundo, en 1992.

Zona	ha	t
Europa	300.000	75.000
África/Oriente Medio	10.000	2.500
América	200.000	50.000
Asia/Oceanía	3.500.000	350.000

Por países destaca China con 2.000.000 ha, Japón con 150.000 ha y Corea con 100.000 ha. España al igual que Francia tienen unas 70.000 ha cada una.

**El pequeño túnel.** Esta técnica se emplea para mejorar las condiciones de suelo en los aspectos relacionados con temperatura y humedad. Además modifica las condiciones ambientales del cultivo en sus primeras fases de desarrollo. Se estima que en 1992 había unas 230.000 ha, destacando China con 85.000 ha y Japón con 55.000 ha, en España hay unas 17.000 ha.

**La cubierta directa.** Se trata de una técnica más reciente, que está desplazando al pequeño túnel debido a su menor exigencia en mano de obra. La superficie ocupada en el mundo con esta aplicación, en 1992, era de unas 35.000 ha.

**El invernadero.** Con la llegada de los materiales plásticos se constituyeron tres grandes vías de evolución de esta tecnología, en función del grado de protección de los cultivos:

- a) En primer lugar, continua con el invernadero tradicional de estructura y cubierta de material rígidos. Este invernadero incorpora perfeccionamientos en el esqueleto estructural, utilizándose acero inoxidable y aluminio en los herrajes, para recibir el material de cerramiento (vidrio o placa,...). Incluso se mejora el microclima dotándolo de medios activos para su control con sistemas de calefacción, ventilación, iluminación, inyección del anhídrido carbónico, gobernado por medios automáticos. Por lo general, este tipo de estructuras se utiliza en zonas frías o se construyen para el cultivo de plantas de alto valor o para investigación.

- b) En segundo lugar, en zonas templadas comienza la construcción de invernaderos que utilizan para su cerramiento materiales flexibles, no permanentes, lo que admite soportes estructurales más ligeros. Este tipo de construcción viene ayudado en su expansión por la crisis energética y la concienciación de la limitación de los recursos naturales. Se abre aquí una nueva línea de evolución de invernaderos que representan, respecto a los de material de cerramiento rígido, mayores ventajas técnicas y económicas, derivadas de la flexibilidad de los materiales de cerramiento y de su menor peso, permitiendo unas estructuras más económicas. En algunos casos, para mejorar su microclima, se les dota de calefacción y de iluminación.
- c) En tercer lugar, la tecnología de invernaderos la constituyen unas estructuras de bajo coste de inversión, realizadas artesanalmente con materiales poco elaborados. Estos invernaderos se caracterizaban por mejorar su microclima de forma pasiva, actuando como captadores solares, con lo que consiguen aumentar la integral térmica en su interior.

Cuadro 2.- Superficie (ha), de invernaderos, cerrados con material flexible, en 1997.

Europa occidental	100.000
Europa del Este	31.000
África	23.000
Oriente Medio	26.000
Oriente/Oceanía	285.000
América	22.000
TOTAL	487.000

Fuente: Marco (2000).

La superficie cubierta por invernaderos, con cerramiento de material plástico flexible, en el mundo no ha dejado de aumentar en los últimos años, pasando de unas 100.000ha en 1980 a más de 485.000ha en 1997, estos se concentran casi en un 50% en Asia y cerca del 25% en el área mediterránea (6).

Un ejemplo de desarrollo de esta tecnología de producción agraria tiene lugar en las Islas Canarias y en el sureste español; de manera particular en Almería, donde la superficie ocupada por este sistema de cultivo ha ido creciendo, año tras año, haciendo del suelo, de un área desértica, uno de los factores limitantes para el desarrollo del sistema.

Cuadro 3.- Evolución de la superficie (ha) de invernaderos.

Año	Holanda	España	Almería
1904	30	0	0
1927	2.025	0	0
1946	3.254	0	0
1968	6.946	546	30
1970	7.236	1.220	920
1975	7.906	4.400	2.975
1980	8.760	11.270	7.150
1985	8.973	18.680	11.850
1986	9.088	20.260	12.300
1987	9.210	26.160	13.200
1988	9.322	26.564	14.300
1990	9.769	28.100	16.500
1994	10.800	42.426	25.000
1997	11.200	46.000	30.000
1998	11.250	48.250	30.700
1999	11.300	50.700	31.200
2000	11.300	52.500	32.500
2001	11.200	55.000	35.400
2002	11.300	57.500	37.500

## 1.1 Producción en invernadero.

Como ya se ha comentado, la agricultura tradicional pone un énfasis en suelo, clima y agua. La presencia de condiciones desfavorables en alguno de estos factores limita el potencial de diversas prácticas agrarias convencionales, hasta el punto de que estas llegan a perder su interés económico. Es el caso de muchas zonas áridas y, en particular, de extensas áreas del sureste español (7). La mala calidad de suelos y la extrema escasez e irregularidad de lluvias; junto a los pocos recursos hídricos superficiales, así como vientos fuertes y frecuentes, determinan el difícil aprovechamiento agrícola de muchas de estas tierras, a pesar de que su medio natural también está condicionado por temperaturas relativamente suaves y por una insolación excelente. La dureza de las condiciones desfavorables enunciadas determina en esta región un cierto carácter desértico.

Un esfuerzo acumulado a lo largo de los siglos va permitiendo invertir el signo negativo del panorama descrito: convirtiendo algunas limitaciones en ventajas, ha desarrollado una agricultura poco convencional, sostenida por la aplicación de agua y nutrientes a un medio en el que las condiciones naturales del sistema suelo-clima han sido parcialmente controladas. La clave del éxito reside en relacionar de modo apropiado el control del suelo (con cultivo enarenado), el control del agua y nutrientes (con riego por goteo) y el control del ambiente (con invernaderos de plástico ‘tipo parral’). La espectacularidad del resultado justifica la inmodestia de asignar al conjunto de las técnicas aplicadas una categoría de tecnología nacional.

Los campos de cultivo se estructuran en unidades de riego protegidas bajo plástico. A este efecto, películas de plástico sostenidas por estructuras de alambre inspiradas en las utilizadas en los parrales (técnica de conducción del cultivo de uva de mesa) actúan como cubierta que mantiene un entorno cerrado, con su microclima parcialmente controlado. Se reduce en éste la evapotranspiración del cultivo, se limitan los daños del viento y se mejoran ligeramente su régimen térmico. Esta técnica de cultivo empezó a realizarse el año 1963.

La inexistencia de suelo agrícola, en numerosas áreas del sureste español, ha obligado a su implantación. Las técnicas de formación de suelo, artificial, son practicadas desde muy antiguo en diferentes lugares de la geografía española. Éstas se pueden encontrar en el sureste peninsular (enarenado), en la provincia de Cádiz (navazos) y en las Islas Canarias (sorribas y picón). En el caso del sistema agrario analizado, cuando se precisaba, el suelo se implantaba antes de la construcción del invernadero. La actual técnica de cultivo en sustrato da un paso más, al utilizar el suelo sólo como apoyo sobre el que se colocan los contenedores. Las características y descripción del enarenado y de los sustratos se pueden encontrar en el epígrafe 1 del apartado 3.

En cuanto al riego por goteo, este permite la aplicación de agua y nutrientes a pie de planta, con la frecuencia precisa. De esta manera, aunque el suelo sigue desempeñando las funciones de soporte mecánico del cultivo y de medio para el transporte de agua y nutrientes, pierde importancia como almacén de reserva de estos. El empleo de sustratos pretende ir a un paso más allá, al promover cultivos que prescinden del suelo para cualquier función otra que la de apoyo.

## 1.2 Evolución e indicadores financieros.

La evolución del sistema agrario del sureste español se puede resumir como sigue (8):

- a) Primera etapa (1970 a 1980), caracterizada por el afianzamiento de la técnica de producción. El cultivo se realiza sobre suelo enarenado, el riego es a pie, el armazón estructural es similar al que se realiza para tutorar la uva de mesa (de aquí la denominación de invernadero parral de Almería). Los materiales plásticos de cerramiento se sujetan a la estructura entre una doble malla de alambre que se puntea. El problema más importante fue el de la mala calidad de los materiales plásticos. La explotación era familiar y la superficie inferior a 1ha.



- b) Segunda etapa (1980 a 1990), quizás la llegada de material vegetal de crecimiento indeterminado sea uno de los aspectos más destacables de este periodo, ya que obliga a dar de mayor altura a los invernaderos. Los materiales plásticos de cerramiento mejoran considerablemente. La generalización de sistemas de riego por goteo, muy tecnificados, se produce en esta etapa. Empiezan a ponerse de manifiesto problemas de agua para riego.
- c) Tercera etapa (1990 a 1995), la mano de obra procedente de África facilita el paso de la explotación familiar a la empresarial, produciéndose un incremento notable de la dimensión productiva. La técnica de cultivo en sustrato con drenaje perdido (lana de roca, perlita y otros) empieza a proliferar. La carencia de suelo, en determinadas zonas, hace que su precio suba, considerablemente, convirtiéndose en factor limitante.
- d) Etapa actual (1995 en adelante), varios son los factores que empujan al sistema a realizar innovaciones. Entre ellos, el alto precio del suelo que impulsa la necesidad de crecer en altura. El nuevo modelo de explotación empresarial conlleva nuevos modelos de gestión de la explotación, en especial en lo referente a la mano de obra. Los principales cambios se orientan al mejoramiento del ambiente del invernadero y del suelo con el empleo de sustratos. En esta etapa la mano de obra es fuente de gran conflictividad social.

A continuación se presentan datos sobre como ha evolucionado en las campañas 90/91 (9), 93/94 y 98/99; los gastos de inversión (cuadro 4), alternativas de cultivo y producción (cuadro 5), y tasas

Cuadro 4. Importe y destino de la inversión (€·m<sup>-2</sup>).

Concepto	Campaña 90/91	Campaña 93/94	Campaña 98/99
Valor de la tierra	2,71	4,21	10,84
Preparación del suelo y enarenado	3,40	3,52	4,21
Construcción invernadero	2,86	4,81	6,02
Instalación de riego, almacén y otros	1,93	2,41	3,01
<b>TOTAL</b>	<b>10,93</b>	<b>14,97</b>	<b>24,01</b>

Fuente: López-Gálvez y Salazar. Investigación no publicada.  
internas de rendimiento (cuadro 6).

La inversión requerida para poner en marcha el sistema de cultivo descrito, comparada con la campaña 90/91, fue casi un 37% superior en la campaña 93/94 y más de un 200% en la campaña 98/99.

Cuadro 5.- Producción (kg/m<sup>2</sup>), precios (ptas/kg) e ingresos (ptas/m<sup>2</sup>), de las principales alternativas de cultivo (campañas 90/91, 93/94 y 98/99).

Alternat.	Cultivos	Produc.	Precios	Ingresos	Produc.	Precios	Ingresos	Produc.	Precios	Ingresos
1	Pepino	8,5	0,38	2,71	8,5	0,40	3,38	8,5	0,45	3,79
	Judía	3,5	0,47	1,96-4,67	3,5	0,54	1,90-5,28	3,5	0,53	1,86-5,65
2	Calabacín	3,5	0,47	1,96	6,0	0,42	2,53	6,0	0,43	2,60
	Melón	5,0	0,30	1,51-3,46	4,0	0,41	1,61-4,15	4,0	0,31	1,25-3,86
3	Pimiento	3,5	0,69	2,41	4,4	0,71	3,13	5,0	0,63	3,13
	Sandía	6,5	0,21	1,37-3,77	5,0	0,26	1,33-4,45	6,0	0,17	1,01-4,14
4	Berenjena	6,0	0,52	3,14	6,0	0,59	3,54	6,0	0,48	2,89
5	Tomate	7,0	0,45	3,15	7,2	0,42	3,04	8,8	0,42	3,71
<b>Media</b>				<b>3,65</b>			<b>4,09</b>			<b>4,05</b>

Fuente: López-Gálvez y Salazar. Investigación no publicada.

La tierra ha multiplicado por cuatro su precio, lo que ha supuesto que mientras que éste suponía el 25% del total de la inversión, en la primera campaña referenciada, en la última ha subido hasta el

45%. Los restantes conceptos o han mantenido su proporción o han bajado respecto a la campaña 90/91.

El cuadro 5 da cuenta del entorno de valores en el que se mueven los rendimientos, los precios y los ingresos para los cultivos y las alternativas más corrientes de la zona. Las tres primeras filas corresponden a alternativas con dos ciclos de cultivo en la campaña. Las dos siguientes a la opción de cultivo único que adoptan algunas explotaciones. Los rendimientos han mejorado, en el periodo de tiempo analizado en: tomate que ha subido más de un 20%, pimiento y calabacín con subidas de un 40%, manteniéndose en los restantes cultivos. Por la parte de los ingresos se observa una mejora media de algo más del 10%.

Cuadro 6.- Evolución de las tasas internas de rendimiento.

Concepto	Campaña 90/91	Campaña 93/94	Campaña 98/99
Inversión	109.337,3	149.698,8	240.963,9
Gastos corrientes	17.590,4	20.542,2	25.602,4
Ingresos	36.445,8	42.168,7	40.487,9
<b>TIR</b>	<b>16,5%</b>	<b>3,3%</b>	<b>2,1%</b>

Fuente: López-Gálvez y Salazar. Investigación no publicada.

El cuadro 6 resume los gastos de inversión, los gastos corrientes y los ingresos. Éste nos muestra cómo la rentabilidad financiera del sistema se ha venido abajo debido al incremento tan importante que ha supuesto los gastos de inversión, como consecuencia del valor tan elevado de la tierra y al escaso incremento que han tenido los ingresos.

Notas. Las Tasas Internas de Rendimiento, para las campañas 1990/91; 1993/94 y 1998/99 se han obtenido considerando una vida útil de 20 años y una Tasa de Actualización del 15%, 12% y 4%, respectivamente, y es importante resaltar que en la campaña 90/91 el plazo de recuperación de la inversión se sitúa en 15 años, para la campaña 1993/94 y en la campaña 98/99 el plazo de recuperación supera la vida útil de la inversión, alcanzándose valores negativos para el valor actual neto (VAN).

Cuadro 7.- Trabajo requerido por el cultivo de pepino en invernadero en dos explotaciones con trabajo familiar y una con trabajo asalariado.

Explotación	h/m <sup>2</sup>	kg de pepino/m <sup>2</sup>	kg de pepino/h
Finca 1	0,21	7,96	37,5
Finca 2	0,19	8,06	43,4
Media	0,20	8,01	40,1
Finca 3	0,53	8,98	16,9

Fuente: López-Gálvez *et al.* 1993

Nota: La finca 1 y 2 se llevan con trabajo familiar y la 3 con trabajo asalariado.

Las líneas que siguen exponen aspectos del agrosistema invernadero que muestran la evolución de la producción y las necesidades de mano de obra en Almería. La importancia de la mano de obra, en este sistema de cultivo, viene dada por su alta exigencia. Los gastos de mano de obra representan más del 40% del total de gastos variando bastante en función de las exigencias de los distintos cultivos. Otro aspecto a considerar es la diferente productividad de la mano de obra familiar frente a la asalariada. El cuadro 8 muestra la elevada productividad que alcanza la mano de obra familiar (40kg de pepino/hora de trabajo) frente a la asalariada (17kg de pepino/hora trabajada). La principal conclusión que podemos extraer es que la rentabilidad es muy sensible a la productividad del trabajo y que esta sensibilidad decae en la medida que los salarios bajan.

**a) Producción hortofrutícola almeriense (campaña 1996/97).**

Del gráfico nº 1, que muestra la evolución de la producción hortofrutícola en toneladas y meses, se desprende que las necesidades de mano de obra en el período que va desde julio a septiembre es mínima.

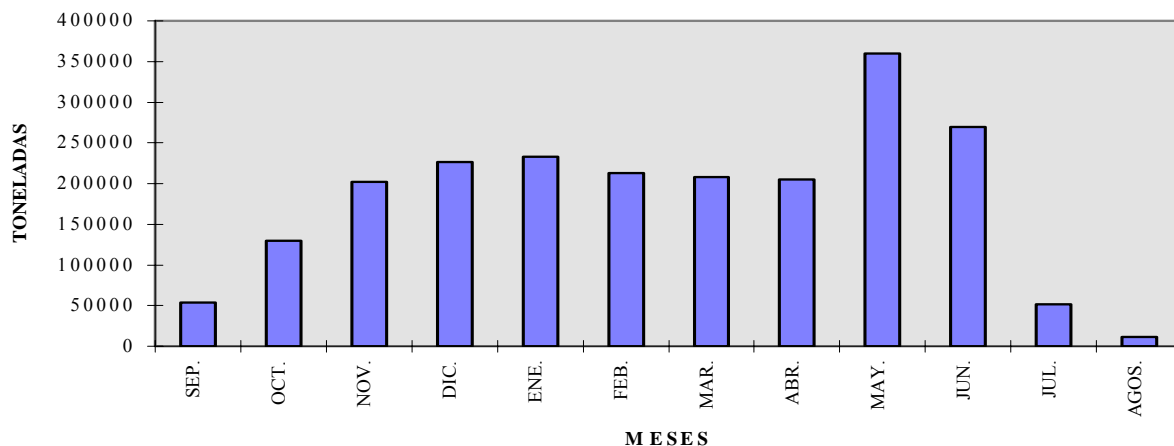


Gráfico 1.- Evolución de la producción horto-frutícola almeriense, campaña 1996/97.

Fuente: López-Gálvez y Salazar. Investigación no publicada.

Durante estos meses las labores culturales se limitan a operaciones puntuales, la mayoría de ellas encargadas a empresas de servicios, como son desinfección de suelos, reparaciones de invernaderos, etc.

En los meses de octubre y noviembre van aumentando paulatinamente las necesidades de mano de obra, hasta llegar a los meses de diciembre y enero donde se alcanzan las máximas necesidades en los cultivos de otoño-invierno.

En los meses de abril, mayo y junio las necesidades de mano de obra para los cultivos de primavera-verano son máximas.

**b) Caso práctico de cálculo de necesidades: mano de obra en cultivo de pepino y judía.**

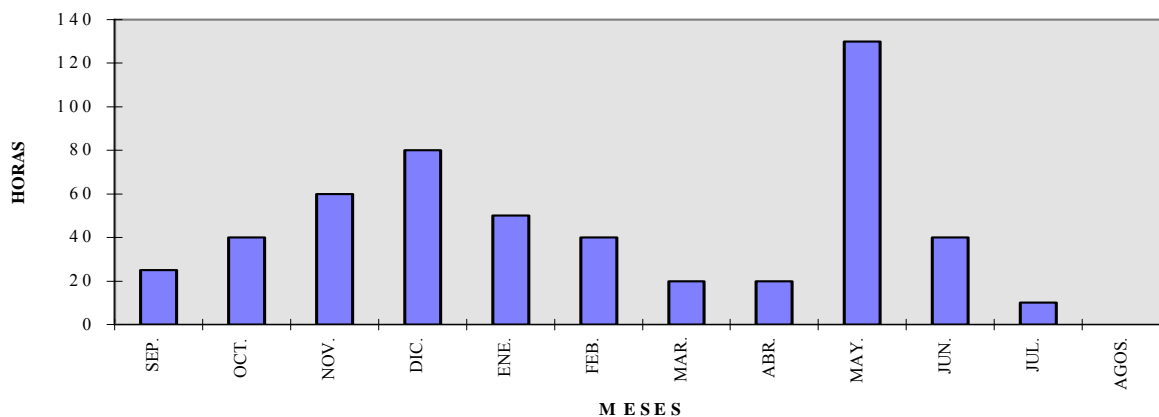


Gráfico 2.- Distribución de horas de trabajo en pepino y judía campaña 1987/88.

Fuente: López-Gálvez, et al. (1993)

El gráfico nº 2 muestra la distribución de horas de trabajo en la producción de pepino, cultivado en el período septiembre-enero, y judía, en los meses de febrero a julio, los datos proceden de un trabajo experimental (10).

Dicho trabajo pone de manifiesto las dificultades, en disponibilidad de mano de obra, que traería consigo la coincidencia en preferencias de cultivo de grandes colectivos.

Esta situación supondría que para el mes de mayo, caso de que todas las explotaciones de invernadero en Almería (30.000 ha) hicieran ese ciclo, una cantidad de jornales equivalente a unos 370.000 jornales diarios durante el mes de mayo lo que haría inviable este ciclo de cultivo.

### c) Estimación de necesidades de mano de obra en cultivo de tomate.

En el gráfico nº 3 se muestra una experiencia que se desarrolló en la zona norte de la pedanía de Balanegra en el término municipal de Berja (Almería), durante la campaña 1998-99 (11). La superficie de estudio era una hectárea, el transplante se realizó el 15/9/98 y el arranque para final de mayo de 1999. El tomate se cultivó dejando 8 frutos por inflorescencia para su comercialización en ramilletes. Los problemas que se suscitaron fueron los siguientes:

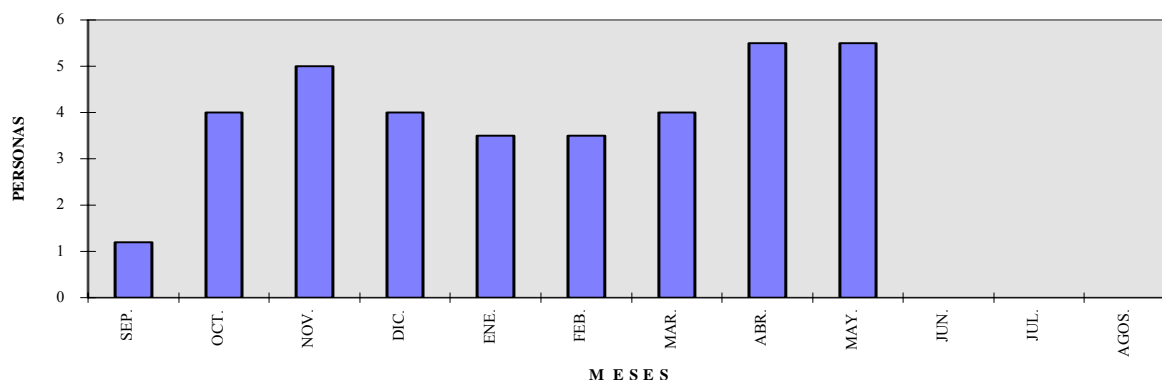


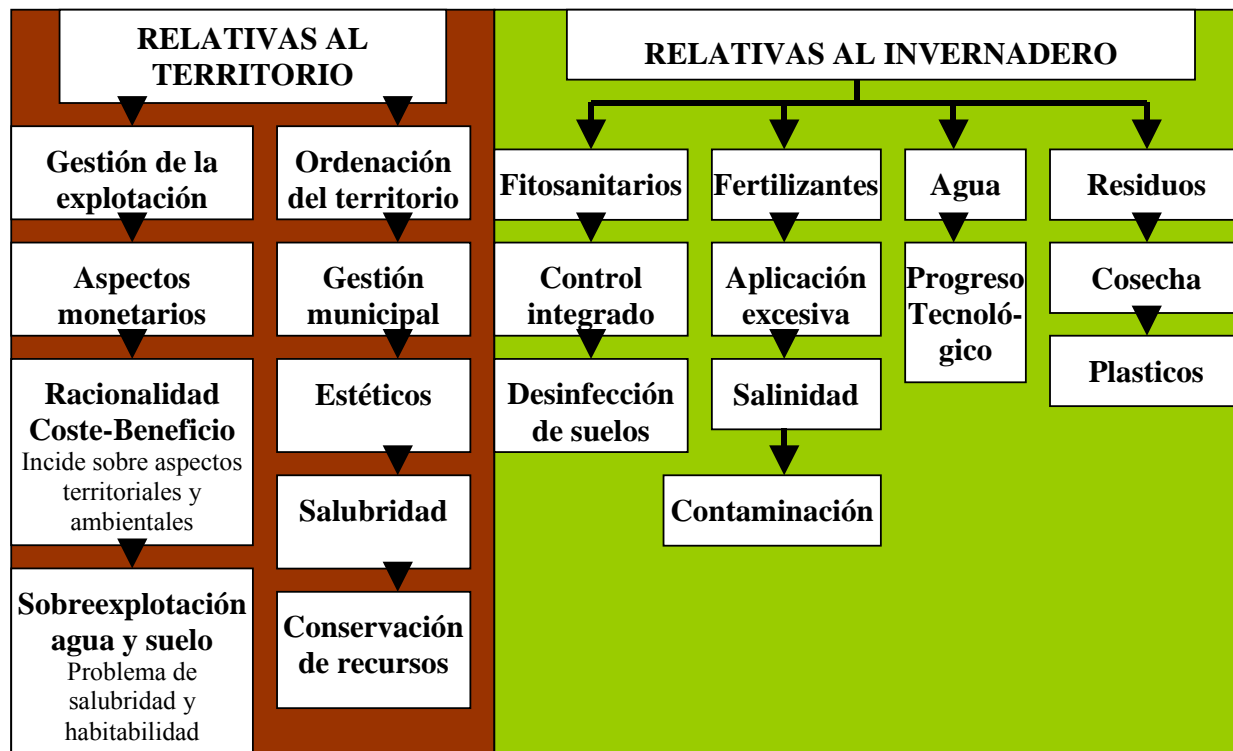
Gráfico 3.- Estimación de las necesidades de mano de obra en una hectárea de tomate (invernadero sin calefacción), campaña 1998/99.

Fuente: López-Gálvez y Salazar. Investigación no publicada.

- 1) Dificultades en la gestión de la mano de obra, debido a que tiene que despedir trabajadores durante algunos meses para pasar a contratarla en los meses siguientes. Si pensamos que la mano de obra existente está escasamente cualificada, que estos obreros al despedirlos son contratados en otras zonas, con lo que difícilmente regresarán a la explotación anterior. Podemos entender la cada vez menor eficiencia de estos operarios ya que cuando han adquirido una cierta formación el empresario se ve obligado a prescindir de ellos.
- 2) Con la intención de proporcionar una estabilidad a la mano de obra existente en los cultivos, necesaria en los meses de mayores exigencias, las explotaciones empresariales están procediendo a incrementar la productividad en los meses de menor actividad mediante la adopción de tecnología. La consecuencia de la puesta en práctica de estas iniciativas han aumentado las dificultades de disponibilidad de mano de obra, lejos de solucionarlas, que se acentúan por la mayor demanda creada.

## 2 Componente ambiental del sistema de cultivo forzado.

La agricultura de invernadero, al igual que otros procesos económicos, no solo opera sobre un medio físico y territorial concreto, sino que su actividad empieza y termina en la naturaleza. El proceso se inicia con el empleo de recursos naturales y termina generando residuos, con la consiguiente incidencia medioambiental, al utilizar el medio como sumidero (ver esquema 9).



Esquema 1.- Efectos ambientales del sistema de cultivo forzado en Almería

Referentes al territorio hay que tener en cuenta las cuestiones que a continuación se relacionan:

- Gestión de la explotación.** La gestión de las fincas se centra, prioritariamente, en los aspectos monetarios y, en segundo lugar, en los físicos dado que éstos condicionan a los primeros. El comportamiento del agricultor individual movido por la racionalidad coste-beneficio, puede incidir, y en este caso incide, sobre los aspectos territoriales y ambientales. La situación actual está caracterizada por la sobreexplotación de los recursos hídricos (declaración provisional de acuífero sobreexplotado del Campo de Dalías); y por la presión depredadora sobre el suelo que ocasiona, desde problemas de salubridad y habitabilidad en la zona, hasta problemas técnicos para el control racional de plagas y enfermedades de los cultivos.
- Ordenación del territorio.** La ordenación del territorio debería ocupar un lugar importante, desde la perspectiva, de la gestión municipal. Ésta tiene que contemplar, además de los aspectos estéticos, aquellos otros que inciden negativamente sobre los recursos, fundamentalmente de suelo y agua, como son su agotamiento y/o contaminación. De ahí la conveniencia de tender puentes entre ambas racionalidades para que la gestión cumpla los objetivos razonables de rentabilidad a corto plazo de las fincas y de sostenibilidad a medio y largo plazo del sistema de explotación.

Relativo al invernadero hay que tener en cuenta, además del suelo agrario y sustratos (naturales y artificiales) que analizaremos más adelante, los siguientes aspectos:

- a) **Fitosanitarios.** Los productos fitosanitarios usados en la agricultura, los podemos clasificar según su origen en tres grupos: minerales, vegetales y compuestos orgánicos de síntesis (12). Los dos primeros, salvo excepciones, no presentan problemas de contaminación. Los compuestos orgánicos de síntesis son los que plantean mayor riesgo debido tanto a su persistencia como a la de sus metabolitos, así como a su toxicidad. Los mayores problemas los plantean los productos organoclorados, organofosforados y los carbamatos. La aportación de un producto fitosanitario va a tener su efecto sobre el suelo, donde es retenido, y sobre las aguas al ser arrastrado hasta acuíferos, ríos, lagos, etc. La persistencia del producto o sus metabolitos en el suelo pueden plantear alteraciones, de consecuencias escasamente estudiadas, tanto en la microfauna del suelo como sobre algunos vegetales donde pueden ocasionar problemas de toxicidad. También, o lo que es más grave aun, un aumento de la toxicología a través de los sucesivos pasos de las cadenas tróficas. Los restos de los productos fitosanitarios que van a parar al agua pueden causar daños verdaderamente importantes. Además de ser el agua un vehículo muy importante de contaminación, los productos resultantes de la hidrólisis o de la acción de microorganismos pueden ser a veces más tóxicos que los originales.
- b) **Fertilizantes.** El uso poco controlado de los fertilizantes puede provocar la salinización del suelo y la contaminación de las aguas por iones nitrogenados y fosfatados. Los nitratos y nitritos diluidos en la solución del suelo, son absorbidos por los complejos coloidales arcillo-húmicos constituyendo una reserva de nitrógeno. Cuando aumenta los aportes de este elemento, sobrepasando la capacidad de retención del suelo y de asimilación, tanto de los microorganismos como de la cubierta vegetal. Los iones nitrato, son lavados del suelo mediante el agua aportada por el riego o la lluvia, arrastrándolos hasta los cursos superficiales y subterráneos de agua. Los fosfatos son también fuente de contaminación de acuíferos. Éstos provienen fundamentalmente del abonado y en menor medida de los productos fitosanitarios que contienen fósforo. Los elementos N y P influyen en la producción de biomasa acuática.

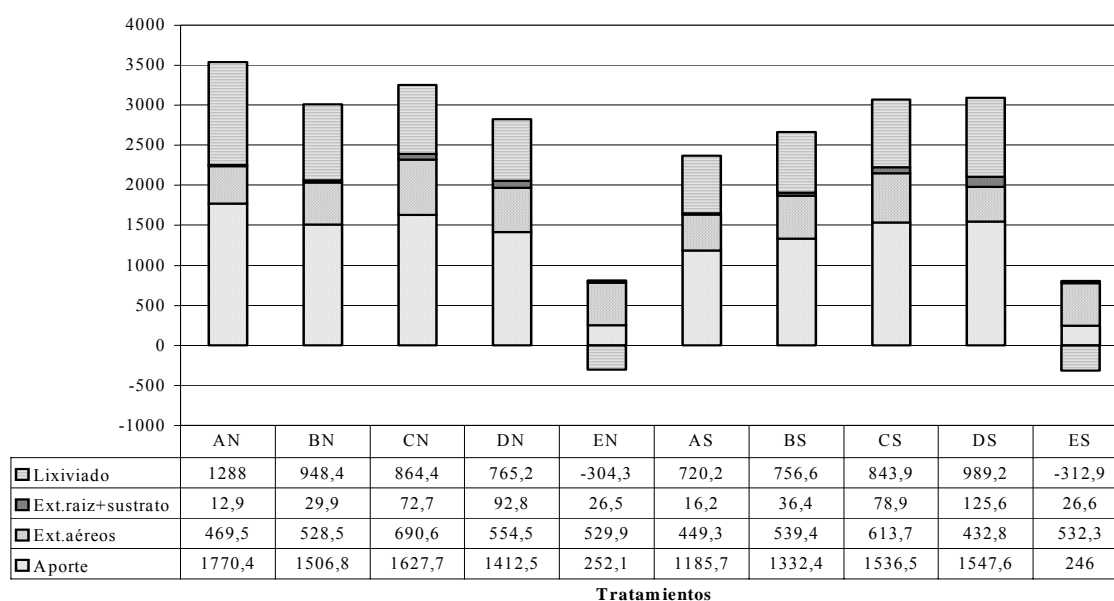


Gráfico 4.- Balance de macronutrientes (t/ha).

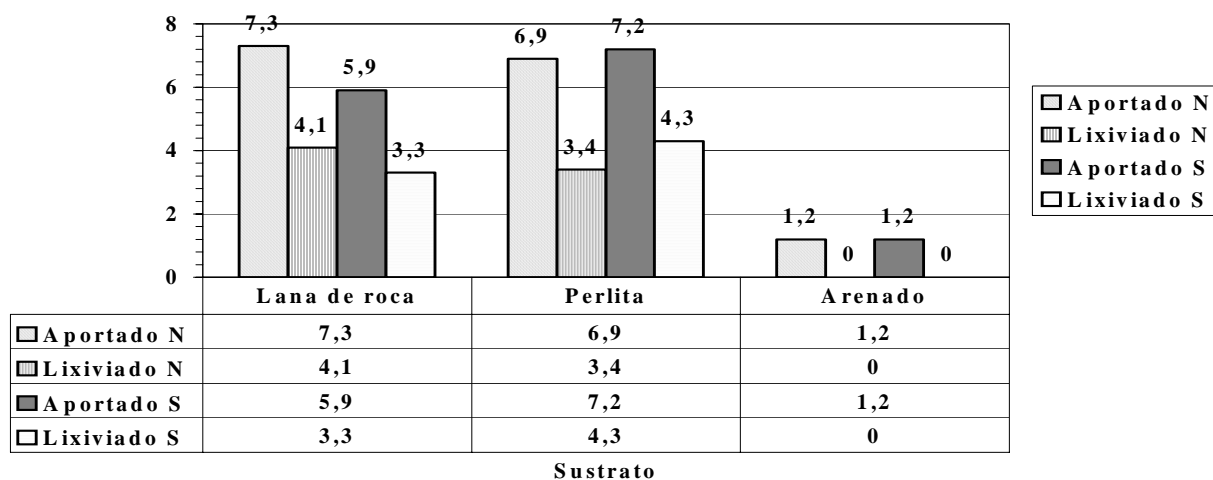


Gráfico 5.- Balance de nitrógeno (kg/ha).

Fuente: López-Gálvez y Naredo (1996). Notas: El gráfico 5 muestra la cantidad de elementos fertilizantes (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Ca y Mg) aportado y lixiviado por un cultivo de tomate sobre suelo enarenado (E) y diferentes sustratos( A y B= lana de roca. C y D=perlita), con dos calidades de agua (N=Agua de 0,5 dS/m y S= Agua de 3 dS/m). El gráfico52 muestra para el mismo trabajo experimental el balance de nitrógeno.

- c) **Otros residuos.** A los residuos sólidos dejados por los sustratos hay que añadir los del cultivo y los de los plásticos de cerramiento del invernadero que por lo general duran dos años. El esquema 3 ilustra el funcionamiento en términos físicos de un invernadero donde se cuantifica también los elementos líquidos (agua más fertilizantes) perdidos por lixiviación. Los envases plásticos de los productos fitosanitarios y de los fertilizantes plantean también problemas importantes.
- d) **Agua.** Supone la primera entrada en importancia en el sistema de cultivo en invernadero. Y dada la escasez del recurso en el sureste peninsular y, particularmente, en Almería nos detendremos de manera particular en este punto (13). Para ello analizaremos el invernadero y el consumo de agua, y el progreso tecnológico.

## 2.1 El invernadero y el consumo de agua.

El invernadero genera un microclima diferente al del exterior al reducir la radiación solar, el déficit de presión de vapor, la evaporación y anular la velocidad de viento. La consecuencia es que la demanda evaporativa del invernadero se reduce. Para el invernadero “parral de Almería” la reducción es de un 50% de la ET<sub>0</sub> (evapotranspiración de referencia) en invernadero con respecto a la ET<sub>0</sub> exterior (14). De lo anterior se desprende con claridad que el invernadero parral mejora, multiplicándolo varias veces el rendimiento del agua, siendo el consumo de agua del cultivo de tomate en invernadero parral en Almería de 30 m<sup>3</sup>/t, mientras que en Holanda con invernadero de vidrio y cultivo en sustrato es de 15 m<sup>3</sup>/t (15). Las zonas marginales, como eran la mayoría de las del sureste español, hoy ocupadas por invernaderos, han conseguido un gran desarrollo económico. Esta situación ha generado la proliferación de nuevas superficies de riego que están poniendo en peligro la continuidad del sistema.

La expansión de la superficie de invernadero, a pesar de su mayor rendimiento en el uso del agua, está aumentando la demanda hídrica absoluta de este tipo de agricultura (ver gráfico 6). Además, con el desarrollo económico de la zona, aumenta necesariamente la demanda de agua de

abastecimiento para usos urbano, turístico e industrial. Todo ello está ocasionado problemas acusados de descenso del nivel de los pozos, en algunos casos con intrusión marina (como los detectados, a principios de los años 80 en el Campo de Dalías, por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), hoy Instituto Tecnológico y Geominero (ITGE)). Desde entonces ha aparecido una abundante legislación, que ha pretendido regular la gestión del agua<sup>1</sup>. La realidad es que a pesar de la prohibición de nuevas puestas en regadío en Almería, en general, y en el área afectada por el Decreto, en particular, se ha incrementado la superficie regada sin apreciarse un incremento paralelo en la cantidad de agua gastada. Este hecho viene motivado por el proceso de modernización que ha supuesto el pasar de riego a pie a riego por goteo, el entubamiento de gran parte de la red de conducción y la construcción de depósitos reguladores que aunque aumentan las pérdidas por evaporación, reducen las mayores pérdidas.

El gráfico 6 muestra como el Decreto de 1984 y las sucesivas Disposiciones y Decretos no han servido para que se redujera la presión sobre los acuíferos sobreexplotados y ni siquiera para mantener la superficie regada. Dando lugar a un cierto confucionismo que al ser preguntados los agricultores sobre el particular emiten opiniones como la que sigue: *“si no se puede hacer, no se puede hacer para nadie. Y, si te viene la denuncia y pagas la sanción, ya es legal el invernadero. El problema del agua no se soluciona poniendo 6.000 €/ha: o se construye o no se construye”*(16).

---

<sup>1</sup> Por hacer mención de *excepcionales circunstancias con peligro de intrusiones salinas en los acuíferos*, merece algunos comentarios la ley 15/1984 de 24 de mayo. Por una parte, crea perímetros de protección imponiendo restricciones para el alumbramiento y captación de aguas subterráneas así como *para cualquier modificación de las obras o de las instalaciones elevadoras que aumenten el caudal alumbrado o para la implantación o ampliación de cualquier superficie de regadío con aguas subterráneas*. Por otra parte, concede carácter prioritario a las actuaciones y obras que puedan iniciarse para el aprovechamiento en riego de aguas residuales, construcción de pequeños embalses y cualesquiera otras destinadas al ahorro de aguas.

La intención del legislador, sin lugar a dudas loable, no reconoce de hecho el carácter de recurso limitante que, de una manera natural, suele corresponder al agua en regiones donde escasea: habida cuenta de que otras condiciones climáticas son favorables, el recurso limitante en regiones semiáridas puede ahora ser, inesperadamente, el suelo. En efecto, no es al recurso agua al que se ponen límites bien definidos, sino a la superficie regada. Se explica así que el precio del agua mantenga un valor reducido, en tanto que el tándem suelo-agua se revaloriza astronómicamente (en forma paralela a las tierras de los regadíos tradicionales, con el agua -barata- asegurada por su indisoluble asociación a las obras primarias de sus correspondientes sistemas). Tal vez la prohibición de que dicha superficie se extienda más allá del perímetro protegido facilita la fiscalización del cumplimiento de la ley; pero tal limitación no implica una reducción de extracciones si no se incentiva adecuadamente la utilización eficiente del agua disponible, dentro de dicho perímetro. A este fin sí puede contribuir el segundo de los objetivos propuestos, como, según se comentó más arriba, es el caso de pequeños embalses, cuyo mejoramiento en el manejo de los riegos tradicionales es notable.

Ya al amparo de la vigente ley 29/1985 de Aguas, el Real Decreto 2618/1986, repetidamente prorrogado, impone restricciones para la explotación de aguas subterráneas, en zonas que se definen. Más recientemente, de nuevo en el marco de la misma ley, fue aprobado el Real Decreto 531/1992, de 22 de mayo, también sobre *medidas administrativas especiales para la gestión de los recursos hidráulicos*. Faculta de nuevo a determinadas confederaciones hidrográficas a reducir los suministros de agua y su distribución, *aún cuando hubieren sido objeto de concesión*. En particular, se disponen normas para su aplicación en las *cuencas comprendidas entre los ríos Adra y Andarax, ambos inclusive*, y encomienda a la Confederación Hidrográfica del Sur el establecimiento de *directrices para el ahorro de agua en todos los sectores, así como los criterios de prioridad para la asignación del recurso*. Su Junta de Gobierno establecerá, en su caso, las *dotaciones de agua para cada uno de los distintos usos, quedando referidos los derechos concesionales a estas dotaciones reducidas*. De conformidad con dicha disposición, el organismo mencionado queda facultado para *acordar la reducción o suspensión de cualquier aprovechamiento de agua*, así como para *imponer a los usuarios el establecimiento de dispositivos de modulación, regulación y medición en los canales de riego públicos y privados, mediante obras que podrán ser realizadas con cargo a los presupuestos de Confederación o de la Dirección General de Obras Hidráulicas*.

---



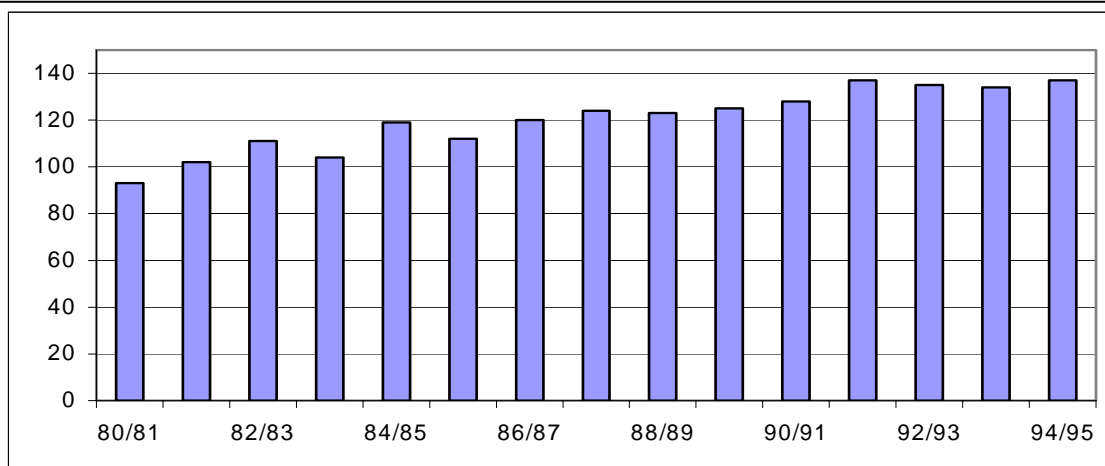


Gráfico 6.- Evolución del agua (hm<sup>3</sup>/año) suministrada al Campo de Dalías y a Almería capital.  
Fuente: Atlas hidrográfico de Andalucía. 1998. Junta de Andalucía e Instituto Tecnológico GeoMinero de España.

## 2.2 El progreso tecnológico.

La introducción del *riego por goteo*, con sistemas a presión, tiene lugar durante la década de los 70, en los sistemas agrarios más competitivos del territorio español. Su expansión, ininterrumpida desde entonces, tiene lugar no solo a costa del riego tradicional a pie, sino también gracias al agua ahorrada con los mejores rendimientos ahora posibles; además, porque se usan recursos adicionales, por nuevos o más intensos alumbramientos.

Es de interés hacer notar una paradójica situación que viene resultando en gran parte del levante español como consecuencia de la escasez de recursos hídricos: avances tecnológicos como los relacionados con el bombeo en pozos profundos y con la aplicación de técnicas de riego por goteo muy eficientes vienen intensificando la sobreexplotación de acuíferos.

En respuesta a esta preocupación, se aprobarían diversas disposiciones reguladoras<sup>1</sup>. Este es el caso de Almería, donde los acuíferos, que proporcionan el agua a su regadío más productivo muestran evidencias de sobreexplotación, con intrusión marina. Sin perjuicio de otras consecuencias, en todo el Campo de Dalías, las restricciones no han supuesto la congelación de proyectos de puesta en riego (17).

Por lo tanto y en lo que respecta al progreso tecnológico, se advierte el riesgo de una excesiva tecnificación que posibilita procesos de perforación y bombeo cuyo uso generalizado se muestra incompatible con el manejo sostenible de los recursos. Así, cuando los productos agrarios encuentran condiciones de mercado favorables, la consiguiente tendencia a intensificar la demanda de agua se hace excesivamente agresiva. Sin un control social, cada vez más necesario, la disponibilidad de técnicas capaces de explotar recursos cada vez más accesibles puede llevar a situaciones de agotamiento y hacer más difícil el equilibrio para utilizar debidamente el agua renovable.

<sup>1</sup> No obstante, conviene observar que las citadas reales disposiciones no han resuelto el objetivo último de controlar las extracciones de los acuíferos. El incontrolado desarrollo del regadío en una importante fracción de la zona considerada no parece haber encontrado aún el deseado freno por parte de la administración pública, en cuanto a la ordenación racional del alumbramiento y uso de recursos hídricos subterráneos.

Vigente ya la Ley de Aguas de 1985, y al amparo de su artículo 56, el R.D. 2618/86 de 24 de diciembre declaró sobreexplotado los acuíferos del Campo de Dalías, estableciéndose condicionantes para la ejecución o modificación de obras de alumbramiento y las exigencias para la implantación o ampliación de cualquier superficie de regadío.

**Podemos resumir lo anterior diciendo que:**

- a) El que los aspectos hídricos, ambientales y territoriales sean competencia de las administraciones, no quiere decir que los agricultores deban permanecer insensibles a ellos. Antes al contrario hay que establecer puentes institucionales entre ambos para revitalizar la vida social de las organizaciones. En el caso del regadío, agricultores, comunidad de regantes, junta de usuarios del acuífero y confederación hidrográfica deberían tener una participación mas activa en los problemas que les atañen.
- b) Un uso tan intensivo y depredador del suelo como el que ha impuesto la agricultura de invernadero, en el sureste español, reclama una política de ordenación del territorio y un cuidado del paisaje mucho más estrictos que los actuales. Y no solo para compatibilizar con la estética y habitabilidad más elemental, sino por problemas de índole técnico en relación con la salubridad y productividad del propio sistema de cultivo.

### **2.3 Tecnología y sostenibilidad de los sistemas de cultivo.**

A pesar de que el medio natural de determinadas áreas, del sureste español, está condicionado por temperaturas relativamente suaves y por una insolación excelente, se hace difícil el aprovechamiento agrícola por condiciones edafoclimáticas extremadamente hostiles.

La confluencia de condiciones climáticas favorables y de avances tecnológicos ha significado que la realidad actual, del sureste de la península ibérica, y más concretamente del Campo de Dalías haya superado todas las previsiones cuando, hacia 1950, se planificó el desarrollo agrario de este Campo. El proceso entonces iniciado, con el aprovechamiento de sistemas de alumbramiento y distribución del agua, ha impulsado una agricultura de riego cada vez más intensiva, sostenida por una síntesis afortunada de antiguas prácticas de cultivo y por diversas innovaciones técnicas. Así la técnica del suelo enarenado, la protección del cultivo bajo plástico y el riego por goteo, aportaron la “tecnología apropiada” con la que paliar los factores limitantes de suelo y agua. El invernadero tipo parral ha sacado partido del factor relativamente abundante sol, al tiempo que protege del viento al cultivo y reduce la demanda evapotranspirativa.

Hay que señalar que la escasez de agua, en cantidad y en calidad, constituye el principal factor limitante para el desarrollo de la agricultura en el Campo de Dalías. Los nuevos sistemas de transporte, distribución y aplicación del agua hacen que el riego se aplique, en los campos de cultivo, con rendimientos muy estimables que no van por lo general acompañados de una disminución del gasto de agua en la zona, debido al crecimiento incontrolado de la superficie regada. Esta situación ocasiona problemas de sobreexplotación de acuíferos que genera intrusión marina.

*Los costes que se reconocen al agua nos son el reflejo de los que deberían corresponderle, en primer lugar, por tratarse del recurso fundamental para mantener el desarrollo económico y hacer posible la protección ambiental; en segundo lugar, por su escasez y, finalmente, pero no con menos importancia, por las inversiones y gastos que exige el ponerla disponible. El agua representa un porcentaje mínimo de los gastos de cultivo y, en consecuencia, los regantes no son sensibles al pequeño ahorro adicional que podría resultar de esfuerzos para mejorar el rendimiento del uso del agua en el campo (18).*

Con el fin de no devaluar los conceptos de **desarrollo sostenible** y **tecnología apropiada** conviene aclarar que nos estamos refiriendo a la aplicación de innovaciones que se adaptan a las características de una zona y permiten el mantenimiento estable de sus recursos naturales. El uso eficiente del agua constituye así el principal requisito de una tecnología apropiada a zonas áridas,

capaz de desarrollar en ellas una agricultura sostenible. Porque lo mismo que una sentencia popular dice que “cualquier finca puede ser mejorada hasta la total ruina de su propietario” también la producción agraria de un territorio puede ser “mejorada” hasta ocasionar la total ruina de los ecosistemas que la sostienen.

La consecuencia de este modo de razonar es que el mercado deja de ser la panacea que garantiza por sí sola el “óptimo económico”; para convertirse en un instrumento más a utilizar sobre bases controladas para conseguir soluciones que se adapten a determinados objetivos o estándares socialmente acordados sobre el entorno físico. Lo cual empuja a abrir el universo económico a la realidad física, a sus modelos predictivos, a las opciones tecnológicas y a los procesos de negociación social, trasladando el centro de discusión económica desde el interior del mercado hacia informaciones e instituciones exteriores al mismo.

### 3 Bibliografía

1. Martialis, M.V. 93 AD. *Epigrami*. Liber VIII. Ep. 14
2. Plinio, S.G. 77 AD. *Naturalis historia*. Liber XIX: 19,4 y 23,5.
3. Séneca, L. A. 63 AD. *Epistula morales ad lucilium*. Liber XIX: Ep. 13.
4. Gómez-López, J.D. 1993. *Cultivos de invernadero en la fachada sureste Peninsular ante el ingreso el la C.E.*. Mº. de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica.
5. Papasei, P., J. Badiola y E. Armengol. 1997. *Los plásticos y la agricultura*. Ed. De Horticultura, S.L.
6. Marco, I. 2000. Los plásticos como cubierta de invernaderos y túneles. *Plasticulture*, Nº. 119
7. López-Gálvez, J. y A. Losada. 1998. Evolución de técnicas de riego en el sudeste de España. *Ingeniería del agua*, Vol. 5, Nº.3: 41-50.
8. López-Gálvez y R. Marins Peil. 2000. La modernidad en el sistema de producción hortícola en el sudeste español. *Plasticulture*, Nº. 119.
9. Los datos de la campaña 90/91 proceden de Naredo, J. y J. López-Gálvez. 1992. Los cultivos bajo plástico en el área de Almería. *Actas XII Congreso Internacional de Plásticos en Agricultura*. CEPLA. Granada (España).
10. López-Gálvez, J., J. Sánchez-Carreño, J. M. Naredo y N. Castilla. 1993. Análisis técnico económico de estructuras alternativas al invernadero de cubierta plana parral-Almería. *Investigación Agraria: Producción y protección vegetales*. MAPA.
11. López-Gálvez, J. y J. Salazar. Datos no publicados sobre una investigación en curso.
12. López-Gálvez, J.; J. Sáchez y E. Viñuela. 1990. El uso de productos fitosanitarios en un cultivo de pimiento bajo abrigo plástico en Almería. *Phytoma España*, nº.151: 3-19.
13. Losada, A. y J. López-Gálvez. 1997. *Gestión del regadío en el Campo de Dalías*. En: La gestión del agua de riego. J. López-Gálvez y J.M. Naredo (eds.). Edita: Fundación Argentaria-Visor (dis.,s.a.).
14. Fernández, Mª.D.; F. Orgaz; y J. López-Gálvez. 1995. *La demanda evaporativa en el invernadero parral*. I simposium Iberoamericano sobre: Aplicación de los plásticos en las tecnologías agrarias. CEPLA-FIAPA.
15. Stanghellini, C. 1994. *Balance hídrico y manejo de microclima en invernadero*. Tecnología de invernaderos. Curso superior de especialización. FIAPA-Junta de Andalucía.
16. Losada, A. y J. López-Gálvez. 1997. *Gestión del regadío en el Campo de Dalías*. La gestión del agua de riego. 1997. J. López-Gálvez y J.M. Naredo (eds.). Fundación Argentaria-Visor Distribuciones.
17. Corominas, J. 1988. *La infraestructura hidráulica de regadío en Almería*. El sector agrario y agroalimentaria del año 2.000. Instituto de Estudios Almerienses.
18. López-Gálvez, J. y A. Losada. 1997. *Uso del agua de riego en Almería*. La economía del agua en España. Coed. Fundación Argentaria-Visor dis. s.a.: 143-176



# COMPONENTES DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS COLOMBIANOS CON FERTI-RIEGO<sup>©</sup>

Miranda, D.

Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

[dmirandal@unal.edu.co](mailto:dmirandal@unal.edu.co)

Ingeniero Agrónomo., M. Sc.

## 1 Caracterización y antecedentes de los sistemas de ferti-riego en Colombia.

En Colombia, la introducción de los métodos de fertirriego en los cultivos data de hace 20 años, sin embargo, su utilización en los diferentes sistemas productivos, no ha obedecido a un proceso de planificación propiamente dicho. Más bien a esfuerzos de productores en forma individual y a trabajos de investigación de Instituciones como el ICA, el HIMAT, el INAT, algunos gremios de la producción y Federaciones de productores. Todas estas Instituciones de una u otra manera, se han visto influidas por los avances tecnológicos de países donde la revolución verde hizo escuela (EE.UU), México y por países Europeos principalmente de España, tanto en cultivos transitorios y en algunos cultivos permanentes.

La fruticultura ha sido una de las actividades que en el país ha marcado la pauta en los últimos 30 años y sus desarrollos en algunas especies como los Cítricos, el Banano, el Mango, la Vid, la Fresa, los cuales, llevaron a avances importantes en el componente riego.

En los años 70 los cítricos empiezan a jugar un papel importante en la producción agrícola y en la economía nacional gracias a las investigaciones realizadas en las décadas anteriores sobre las variedades y el nivel de tecnología empleado. En el año 1973 se inicia por parte de la Federación Nacional de cafeteros la política de diversificación de las zonas cafeteras, al observar que el mercado mundial del café se estabilizaba y el área establecida era suficiente para atender la demanda internacional. Este programa representó un gran impulso para el sector frutícola, pues cultivos que antes eran considerados tradicionales y que tenían un bajo uso de tecnología, se establecen en zonas más desarrolladas, con avances en su nivel de tecnología, lo que contribuiría a diversificar la producción en esas áreas. Para este mismo periodo se implementó en Chile, un revolucionario sistema de producción frutícola, que proporcionó un gran apoyo a nuestra fruticultura, presentando un modelo agroindustrial.

A mediados de los 70 el banano encabeza la lista como el principal producto de exportación, seguido por el mango y los cítricos, pero estos más para el mercado interno. Se inician las exportaciones de fresa en forma discreta pero efectiva. Otros productos con posibilidades

importantes para esta época fueron la guanábana, el lulo y las limas ácidas, pero con una gran limitante, que eran poco conocidos en otras latitudes. En la década de los 80 se incrementan las áreas plantadas en frutales, el nivel de tecnología presenta avances, la oferta de productos es buena y las conexiones con el mercado son aparentemente atractivas. Las frutas de exportación predominantes fueron el banano, la Vid, el melón, el mango y la piña que tuvieron una política de apoyo importante de subsidio y protección a la agricultura nacional.

En el año 1991, se inicia lo que se denominó el Proceso de apertura económica que ocasiona un gran golpe a la economía agrícola nacional, pues se inicia un proceso de competencia por volúmenes y calidades entre la producción agrícola del país y el mercado mundial abierto. A esta competencia se suman las normas de calidad, las exigencias en volúmenes y frecuencia de exportaciones que han colocado a nuestra fruticultura en una situación difícil de competencia y de poca sostenibilidad en los mercados.

A finales de la década de los 90 son pocos los productos colombianos posesionados en el mercado internacional, por los factores antes mencionados. Solo se mantiene las exportaciones de banano, cada vez menos competitivas por precios, la uchuva como segundo producto de exportación y algunas otras especies aisladas como son la pitahaya, la curuba, la Feijoa, y las limas ácidas principalmente. Esta situación se mantiene hasta los inicios del siglo XXI.

## **2 Aspectos generales de los programas de ferti-riego en Colombia.**

El agua como recurso fundamental para la producción tecnificada de cultivos no ha sido motivo en nuestro país, de grandes estudios escritos y en general, debido a su abundancia, no se le ha dado la importancia que ha tenido en otros pueblos o culturas, con limitados abastecimientos.

La situación actual muestra que aunque Colombia ha sido considerado por su riqueza hídrica el cuarto en el mundo, con una alta disponibilidad de agua dulce, este recurso ha venido disminuyéndose en forma acelerada a través del tiempo, debido a la intervención de paramos, bosque de niebla, ríos, humedales, entre otros <sup>1</sup>.

El país posee 18,2 millones de hectáreas cultivables de las cuales 7,8 millones pueden ser objeto de irrigación, de prácticas de drenaje o control de inundaciones. Actualmente se estima que el total de tierra en producción bajo riego y con drenajes está alrededor de 800.000 hectáreas, con un caudal de uso cercano a los 1000 metros cúbicos por segundo. El análisis de estas cifras y de estos estimativos, bajo un enfoque tecnológico moderno, conducen a la conclusión de que en Colombia hay una sensible sub utilización de los recursos de agua y tierra para fines agrícolas y pecuarios.

El objetivo del riego es proporcionar a las plantas el agua necesaria para lograr un normal desarrollo del cultivo. El riego se puede considerar como una práctica tecnológica que de ser integrada con otras, permite aumentar la producción de una manera sostenible y competitiva, lo cual garantiza la seguridad alimentaria, la disminución de la pobreza y el mejoramiento de la calidad de vida de los productores <sup>1</sup>.

El estado Colombiano dentro de sus limitadas posibilidades ha apoyado la investigación en riegos y drenajes. Esto ha permitido obtener información técnica para nuestras condiciones agroclimáticas y socioeconómicas <sup>11</sup>.

El riego en diferentes especies agrícolas del país, se ha aplicado tradicionalmente de tres formas: riego superficial, riego a presión y riego subterráneo <sup>15</sup>.

## 2.1 El riego superficial

Es aquel que se aplica sobre la superficie del terreno y su flujo o movimiento ocurre por acción de la gravedad. El riego por superficie, comúnmente denominado riego por gravedad, puede ser aplicado por diferentes métodos, tales como: Zanjas en el terreno, fajas o melgas con bordes, depósitos de agua en forma de represa, zanjas de riego, por medio de surcos, por melgas, por corrimiento y a nivel.

## 2.2 El riego a presión

Es aquel que se suministra al suelo a través de tuberías de conducción a presión, depositando el agua por vía aérea por medio de aspersores de impacto o boquillas difusoras. El riego a presión llamado aspersión, requiere para su funcionamiento de una fuente de poder (bomba) que se encarga de impulsar el agua a través de las tuberías para su aplicación. Este sistema puede emplear equipos fijos, semipermanentes y portátiles.

## 2.3 El riego subterráneo

Es aquel en el que el agua es aplicada bajo la superficie del suelo y ésta, por movimiento de capilaridad alcanza el sistema de raíces de las plantas de cultivo.

Como resultado de las observaciones y experiencias acerca del funcionamiento de los anteriores sistemas, ante todo del análisis de sus desventajas y de la presión de algunas casas comerciales, aparecen otros modelos de suministro de agua para las especies agrícolas de importancia en el momento.

## 2.4 El riego por goteo

Tabla 1 . Características de los sistemas de riego por goteo empleados en Colombia

Sistema	Ventajas	Desventajas
Por goteo	La economía de agua y de los nutrientes al aplicar solo las cantidades necesarias de agua y de nutrientes a través del sistema de riego se reducen considerablemente las pérdidas por escorrentía y percolación	Los altos costos de instalación y mantenimiento y la necesidad de personal calificado para su operación
	Aumento de la producción, como consecuencia de lo anterior se logran mayores rendimientos de los cultivos y en algunos casos reducción del periodo vegetativo.	La exigencia de un diseño técnicamente bien realizado para evitar pérdidas en conducción o en suministro.
	Mejor control de malezas y enfermedades, con la aplicación simultánea de agroquímicos a través de las tuberías de conducción y por la formación de zonas secas que retrasan o impiden el desarrollo de las malezas.	El taponamiento de goteros que debe ser disminuido por medio de sistemas de filtrado bien diseñados y por disoluciones nutritivas con nutrientes compatibles
	El sistema tiene bajos requerimientos de presión	La acumulación excesiva de sales en el bulbo de humedecimiento en zonas donde las lluvias no son suficientes para su lavado
	Ofrece la posibilidad de regar suelos con diferentes gradientes de pendiente en forma uniforme	Tiene una mayor exigencia de revisión en los diferentes componentes del sistema

Es una técnica que consiste en aplicar lenta y frecuentemente la cantidad de agua que la planta necesita para su desarrollo (González et al, 1988). Este riego se puede aplicar en forma superficial o sub superficial a través de un sistema de tuberías sobre las que van instalados los goteros que

emiten caudales de agua pequeños y uniformes. La aplicación del agua en forma puntual, desarrolla un área húmeda alrededor de las raíces que se denomina bulbo de humedecimiento. Tabla 1<sup>16</sup>.

Estos sistemas de suministro del agua para la década de los noventa, se emplearon en forma creciente especialmente en cultivos de alto valor comercial como las flores, el banano, el maracuyá, la vid, la fresa, el melón y algunos frutales destinados a la exportación. El sistema es ideal para zonas donde la precipitación es escasa o donde su distribución es irregular durante las épocas del año y en el caso de las flores, como cultivos bajo cubierta.

Análisis realizados por varias entidades del estado y principalmente privadas, para estos años, determinaron que en nuestras condiciones, el riego por goteo tenía varias ventajas y era susceptible de introducirle modificaciones.

## 2.5 El riego por micro aspersión

El riego por micro aspersión es un sistema de suministro de agua, que se asperja en forma dirigida hacia la zona donde hay mayor distribución radial de raíces de un cultivo, mediante emisores (microaspersores, microjets, entre otros) y guarda grandes similitudes con el goteo. (Tabla 2). Los microaspersores son pequeños, modulares, montados sobre una base y conectados a tuberías laterales mediante insertadores (fijos y desarmables) y tubería flexible de PVC.

Tabla 2. Características de los sistemas de riego por micro-aspersión empleados en Colombia

Sistema	Ventajas	Desventajas
micro aspersión	La economía del agua	El aspersor debe ubicarse verticalmente, para garantizar un buen funcionamiento
	La adaptación del patrón de humedad al desarrollo del follaje del árbol, llegando a cubrir el 70% del área formada por la gotera del árbol.	El humedecimiento en el tronco del árbol puede causar enfermedades y facilitar pudriciones
	Una mayor versatilidad en su ubicación y mejor control visual de su funcionamiento.	En huertos jóvenes hay demasiada interferencia del viento
	Menos riesgo de obstrucción comparado con los goteros y menos exigencia en su manejo.	Tendencia del sistema radical a concentrarse en la zona de mayor pertinencia del microaspersor.

## 2.6 La fertirrigación

Es entendida como la aplicación de diferentes fertilizantes a través del agua de riego, a cultivos, durante las diferentes etapas de su desarrollo. A través del fertirriego se combina el riego con la aplicación de fertilizantes (sales nutritivas) de alta solubilidad, método muy reconocido para mantener el nivel de fertilidad y el suministro de agua óptimos, de acuerdo con los requerimientos específicos de cada cultivo y del tipo de suelo, dando como resultado altos rendimientos y una mejor calidad de los cultivos. (Tabla 3). La esencia de la fertirrigación es crear unas condiciones de “Disolución nutritiva” en el suelo. Además se pueden aplicar químicos para el control de enfermedades<sup>1 5 23</sup>.

Los periodos de aplicación están en función de la fenología del cultivo y de los puntos críticos para la absorción de los elementos. La planta va absorbiendo dosis variables de todos los elementos minerales, de acuerdo con sus estados de desarrollo y algunos como el Ca y el P, son absorbidos por la planta desde las etapas iniciales hasta la senescencia.



Tabla 3. Características de los sistemas de ferti-riego utilizados en Colombia

Sistema	Ventajas	Desventajas
Ferti-riego	Ahorros entre el 20 y 60% de los fertilizantes, generados básicamente por aspectos como la localización apropiada, la disminución de pérdidas por lixiviación, volatilización o fijación.	El manejo incorrecto o el suministro inadecuado por desconocimiento de los requerimientos del cultivo y su comportamiento fisiológico
	Mayor asimilación de los fertilizantes por su adecuada disolución	Obturaciones por precipitados causados por incompatibilidad entre los distintos fertilizantes en mezcla o con el agua de riego o por disoluciones insuficientes
	Mejor distribución en la superficie y en profundidad que se consigue con la elección correcta de los emisores	Aumento excesivo de la salinidad del agua de riego causando problemas al desarrollo del cultivo
	Adecuación de la aplicación e acuerdo con las necesidades del cultivo durante su ciclo	Necesita alta inversión en instalaciones e infraestructura y el empleo de fuentes de fertilizantes normalmente más costosos que los convencionales
	Rapidez de la aplicación que es de mucha utilidad en cultivos de ciclo corto	
	Costos operacionales muy reducidos.	

## 2.7 Identificación de sistemas productivos que incluyen ferti-riego en Colombia

En Colombia, en los procesos productivos que incluyen el componente de fertirriego, se pueden identificar los siguientes sistemas productivos:

- ✓ Sistemas de producción ubicados en clima cálido (0-1000 msnm), en suelos planos mecanizables, con disponibilidad de infraestructura de riego y fertirriego, en cultivos transitorios, establecidos a plena exposición, pertenecientes a grandes productores de agricultura empresarial.
- ✓ Sistemas de producción ubicados en clima cálido (0-1000 msnm), en suelos planos mecanizables, con disponibilidad de infraestructura de riego y fertirriego, en cultivos transitorios, establecidos a libre exposición, pertenecientes a medianos y pequeños productores de agricultura comercial.
- ✓ Sistemas de producción ubicados en clima cálido (0-1000 msnm), en suelos planos mecanizables y ondulados, con disponibilidad de infraestructura de riego y fertirriego, en cultivos permanentes (especies hortofrutícolas), establecidos a libre exposición, pertenecientes a grandes productores de agricultura empresarial.
- ✓ Sistemas de producción ubicados en clima medio (1000-2000 msnm), en suelos ondulados, con disponibilidad de infraestructura de riego y fertirriego, en cultivos transitorios (especies hortícolas), establecidos a libre exposición, pertenecientes a grandes medianos y pequeños productores de agricultura comercial.
- ✓ Sistemas de producción ubicados en clima frío (2000-3000 msnm), en suelos planos mecanizables, con disponibilidad de infraestructura de riego y fertirriego, en cultivos semipermanentes y transitorios hortofrutícolas (flores, frutas y hortalizas), establecidos bajo estructuras de cubierta (diferentes tipos de invernaderos), pertenecientes a grandes productores de agricultura comercial<sup>22</sup>.

Al interior de estos sistemas productivos, existen diferentes funciones objetivo para la producción por parte de los tipos de productores y usos de tecnología variables que los ubican en diferentes niveles de desarrollo.

### 3 Componente económico de los sistemas que incluyen fertirrigación

El **componente económico** hace relación a la existencia y asignación de los recursos productivos como la tierra, mano de obra, infraestructura, los recursos de capital y la administración de los mismos. La importancia de este componente es proporcionar la viabilidad económica de una inversión adicional al interior del sistema productivo, que son los métodos para fertirrigación.

En este punto no nos detendremos a hacer un análisis económico de las inversiones en fertirriego, pues hacen parte de otros capítulos. Solamente mencionaremos aquellos aspectos relacionados con el manejo económico y financiero de algunas explotaciones en cultivos a plena exposición (caso del tomate) y algunas experiencias en cultivos bajo cubierta (principalmente Flores).

#### 3.1 Análisis económico del cultivo de tomate, en sistemas de ferti-riego.

En la tabla 4, se hace el análisis de costos para el cultivo del tomate *Lycopersicon esculentum* Tipo Milano, producido en la región denominada Meseta Alta de Ibagué, Departamento del Tolima – Colombia. Se incluyen todos los costos de producción relacionados con esta especie y se determinaron las tasas de retorno a la inversión. Calculándose una tasa de retorno promedia de 3,07, esto indica que en esta inversión, por cada peso invertido, el retorno es de 2,69 para tres ciclos productivos en promedio, considerándose una buena inversión para este sector <sup>4</sup>.

Tabla 4. Costos de producción de tomate Híbrido Coloso, por hectárea para un año (\$ Colombianos), en la meseta alta de Ibagué (Tolima-Colombia). Densidad 23000pl/ha.

Ítem	unidad	Valor \$	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo3	Total
<b>INVERSIONES DEPRECIABLES</b>						
Sistema de fertirriego	5 años	8.000.000	533.333	533.333	533.333	1.600.000
Guadaña	5 años	560.000	62.222	62.222	62.222	62.222
Fumigadora de palanca	2 años	76.581	12.761	12.761	12.761	12.761
Infraestructura semilleros	2 años					
Grapas		1.350	113			113
Esterilla (6 de 10m <sup>2</sup> )		500	11.000			11.000
Estacas		50	600			600
Postes polisombra		3.500	5.250			5.250
Alambre negro cal. 18		828	138			138
Alambre tensores postes		1.000	536			536
Alambre polisombra		1.118	306			306
Cascarilla de arroz		1.667	1.111			1.111
Ceniza de arroz		1.667	2.222			2.222
Infraestructura. lote	(33camas)					
Postes de Iguá 2,5 m		3.000	95.238			95.238
Alambre tensores cal.10		1.000	6.803			6.803
Alam tendido polisombra		1.118	24.310			24.310
Guadua y listones		375	95.333			95.333
Varillas de hierro		4.056	10.730			10.730
<b>TOTAL INVERSIONES (1)</b>			<b>862.009</b>	<b>608.319</b>	<b>608.319</b>	<b>2.078.647</b>

Tabla 4. (CONTINUACIÓN). Costos de producción de tomate Híbrido Coloso, por hectárea para un año, en la meseta alta de Ibagué (Tolima-Colombia). Densidad 23000pl/ha.

Item	unidad	Valor \$	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo3	Total
<b>COSTOS VARIABLES</b>						
Valor mano de obra	\$/Jorn	8.500	2.988.054	1.748.875	1.850.875	6.587.804
Semillas 23.810 pl/ha	\$/g	27.800	661.640	661.640	661.640	1.984.920
Cascarilla de arroz lote	\$/ha	1.667	180.000			180.000
Ceniza de arroz lote	\$/ha	1.667	400.000			400.000
Abono orgánico lote	\$/ha	80.000				
Fertirriego semilleros	\$/ha					
Nutrientes mayores		258	3.483	3.483	3.483	10.449
Nutrientes menores		146	788	788	788	2.364
Fertirriego lote	\$/ha					
Cal dolomita		102	28.866	28.866	28.866	86.598
Cloruro de potasio estándar		394	215.124		215.124	430.248
Nitrato de amonio		447	276.892	32.155	276.892	585.939
Nitrato de calcio		705	110.716	110.716	110.716	332.149
Superfosfato triple		1.159	825.208	825.208		825.208
Urea		577	182.846	182.846	182.846	548.537
Urea		280	13.720	69.160	13.720	96.600
Fertilizante edáfico	\$/ha	200.000	200.000			200.000
Fungicidas	\$/ha		167.563	167.563	167.563	502.689
Coadyuvantes	\$/ha		116.753	116.753	116.753	350.204
Herbicidas	\$/ha		13.147	13.147	13.147	39.441
Otros	\$/ha	255	69.353	69.353	69.353	208.060
Plástico mulch doble faz	\$/ha		1.821.465			1.821.465
Empaques	\$/ha					
Canastilla plástica			1.000.000			1.000.000
Poly-hilo cal 6.000			123.760	123.760	123.760	371.280
<b>TOTAL COSTOS. VARIABLES (2)</b>			<b>8.654.152</b>	<b>4.154.295</b>	<b>3.835.508</b>	<b>16.643.956</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>						
Administración (5%)	\$/año		432.708	207.715	191.775	832.198
Imprevistos (3%)	\$/año		259.652	124.629	115.065	499.319
Arrendamiento	\$/año		500.000			500.000
Asistencia técnica	\$/año		30.000	30.000	30.000	90.000
<b>TOTAL COSTOS FIJOS (3)</b>			<b>1.222.332</b>	<b>362.344</b>	<b>336.841</b>	<b>1.921.516</b>
<b>COSTOS TOTALES (1)+(2)+(3)</b>			<b>10.738.493</b>	<b>5.124.956</b>	<b>4.780.668</b>	<b>20.644.119</b>
<b>RENDIMIENTOS (Kg/ha)</b>			28.128	28.128	28.128	84.384
<b>PRECIO PRO. (\$/Kg)</b>			750	750	750	750
<b>INGRESO (\$/ha)</b>			<b>21.096.000</b>	<b>21.096.000</b>	<b>21.096.000</b>	<b>63.288.000</b>
<b>COSTOS DE PRODUCCIÓN (*)</b>			<b>10.738.493</b>	<b>5.124.956</b>	<b>4.780.668</b>	<b>20.644.119</b>
<b>MARGEN BRUTO</b>			<b>10.357.507</b>	<b>15.971.042</b>	<b>16.315.332</b>	<b>42.643.881</b>
<b>TASA DE RETORNO</b>			<b>1,96</b>	<b>4,12</b>	<b>4,41</b>	<b>3,07</b>

(\*) Un Dólar US\$ equivale a \$2870. Fuente: Barreto, 2002.

### 3.2 Análisis de un cultivo de rosas, como modelo de producción de cultivos bajo cubierta (invernaderos).

De acuerdo con las cifras del departamento administrativo Nacional de estadística DANE, en el año 2000, en Colombia la floricultura ocupó el primer lugar como generadora de divisas dentro de las exportaciones no tradicionales. En este mismo año el país exportó flores frescas cortadas a los mercados internacionales por un valor de US\$ 580,6 millones, lo que representa un aumento del 5,5% respecto a los exportados en 1999. En volumen, las cifras pasaron de 147902 toneladas exportadas en 1999 a 169659 toneladas en 2000, lo que significa un crecimiento del 14,7%<sup>3</sup>.

El componente económico de estos sistemas es muy complejo, por cuanto en el país, este mercado no solo aporta divisas, también es un importante generador de empleos directos (alrededor de

75.000). Así mismo se estiman unos 50.000 a través de un número de empresas relacionadas con las industrias de plásticos, cartón, bandas de caucho, madera y agroquímicos, las cuales abastecen la floricultura.<sup>3 27</sup>

Un presupuesto parcial, para un ensayo de fertirriego en flores, se muestra en la tabla 5, para un total de 1030 camas empleando 600L/cama fertirrigada<sup>28</sup>.

Tabla 5. Un análisis de costos para fertirrigación en flores.

fuelle	(ppm)	% E.	adic	(ppm)	g/L	g/ca	Tot.g	\$/U	\$cama	Total
Nitrato de amonio	200	26N			0,211	126,8	130606	0,28	35,5	36.570
Acido fosforico	50	27P			0,185	111,1	114444	1,37	176,6	181.875
Nitrato de K	180	38K	13,4	63	0,474	284,2	292737	1,5	426,3	439.105
Nitrato de Ca	100	19Ca	15,5	82	0,526	315,8	325263	0,92	291,8	300.543
Sulfato de Mg	48	10Mg			0,480	288,0	296640	0,47	157,0	161.728
KelatexMn	1,5	9Mn			0,017	10,0	10300	17,09	171,0	176.099
KelatexB	1	20B			0,005	3,0	3090	8,5	25,5	19.418
KelatexFe	0,5	9Fe			0,006	3,0	3433	17,09	57,0	58.700
KelatexCu	0,5	9Cu			0,006	3,3	3433	17,09	57,0	58.700
KelatexZn	0,1	9Zn			0,001	0,7	687	17,09	11,4	11.740
Molibdato de amonio	0,1	54Mo			0,0002	0,1	114	41,4	5,3	4738

Total IVA 16% 1.449.218 Costo/ha 305.508 Costo/ha/mes 1.313.685 TRM US Dolar 2327 = 0,6

#### 4 El componente socio-cultural de los sistemas que incluyen fertirrigación

En este componente, se reconoce al productor, como el elemento central en el proceso de toma de decisiones, que afectan los procesos productivos agropecuarios, a su familia y al entorno en que se desarrolla. Conformando lo que se ha venido llamando fenómeno social de la producción<sup>22</sup>.

Para este análisis es importante anotar que existen varios tipos de productores que están vinculados a la producción de especies agrícolas, con diferentes características en cuanto a formas de tenencia de la tierra, recursos disponibles para la producción y uso de diferentes modalidades de mano de obra.

A continuación se hace una descripción sucinta de estos productores; de la existencia de agremiaciones que los agrupan y de otras características importantes, que han aportado al desarrollo del fertirriego, como complemento a los procesos productivos agrícolas del país. Iniciando con los productores tipo de los cultivos transitorios, los de cultivos semipermanentes y finalmente los de los cultivos permanentes.

##### 4.1 Tipos de productores y organizaciones en cultivos transitorios

Los primeros indicios de organización de productores en torno a actividades relacionadas con el suministro del riego a los cultivos, se dio en Colombia, con la creación de los distritos de pequeña escala, denominándose así, a aquellos distritos en los cuales la extensión total no superaba las 500 ha. y que además tenían características relacionadas con la concentración de pequeños y medianos productores. Así el área en poder de pequeños productores debía ser al menos del 51% del total y el número de agricultores equivalente como mínimo al 75%<sup>11 12</sup>.

En un distrito de pequeña escala el número de usuarios debe ser mayor o igual a 20. Un usuario de un distrito de riego se definía como toda persona natural o jurídica que explota en condición de propietario, tenedor o poseedor bajo acreditación, un predio ubicado en el área del Distrito, debiendo cumplir con reglamentos la utilización de servicios, manejo y conservación de obras.

La máxima organización de usuarios en los distritos es la asociación de usuarios del distrito, que tiene entre otros los siguientes objetivos: Mejorar y mantener las obras prediales, asegurar de

manera equitativa entre los usuarios la adecuada distribución del agua, operar el sistema de entrega de agua, procurando evitar pérdidas y resolver disputas que puedan surgir entre los usuarios <sup>11</sup>.

El tipo de agricultura desarrollada por los usuarios era la predominante en las áreas de influencia del distrito (algodón, arroz, maíz, hortalizas, frijol, entre otros) y en torno a ellas, existían diferentes métodos de acompañamiento para el proceso productivo.

Los productores ubicados en áreas aledañas o distantes a los distritos, eran usuarios de sistemas de crédito agropecuario, lo que les permitía, hacer uso de algunas técnicas de adecuación y suministro de agua a los cultivos.

Una agremiación que dio mayor impulso a los programas de adecuación y riego fue la Federación Nacional de Algodoneros y los recursos la Caja de Crédito Agrario Industrial y Minero y entre la Entidades del Sector el ICA, CORPOICA y el INAT, que se destacaron por sus proyectos de investigación <sup>11 15</sup>.

## 4.2 Tipos de productores y organizaciones en cultivos semipermanentes

Dentro de los cultivos semipermanentes, las especies más importantes, por su relación directa con la utilización de sistemas de riego, son en orden de importancia, el banano y las flores. Las otras especies frutícolas mencionadas anteriormente, con excepción del cultivo de la papaya y el Maracuyá, han tenido desarrollos muy incipientes en riego.

En el caso del Banano, el tipo de productores vinculados a esta actividad se pueden agrupar en medianos y pequeños productores con una superficie cultivada de 45.000 ha y unos volúmenes de producción de 1.650.000 Mt <sup>14</sup>.

Colombia hace parte de la Red Internacional para el mejoramiento del banano y plátano cuya misión es aumentar la productividad y estabilidad del banano y el plátano cultivado por pequeños productores para el consumo doméstico, los mercados locales y de exportación <sup>18</sup>.

Tiene como objetivo central el organizar coordinar un esfuerzo global de investigación sobre banano y plátano, para el desarrollo, la evaluación y la diseminación de cultivares mejorados para la conservación y utilización de la diversidad de las Musáceas. <sup>18</sup>.

Con respecto a las flores, las dos zonas productoras más importantes, como se mencionó anteriormente, están ubicadas en los departamentos de Cundinamarca (Sabana de Bogotá) y en el departamento de Antioquia. En estas zonas, existen asociaciones de fincas productoras de flores, que toman la denominación de Grupos (ejemplo, Grupo Cota, Grupo Chía, Flor América, S.A). Entre las fortalezas de estos grupos están, su capacidad económica, lo que les permite manejar un número considerable de fincas, disponer de importantes avances tecnológicos, tener acceso a especialistas en diferentes áreas del conocimiento, de quienes reciben asesoría y capacitación y lograr un posicionamiento dentro del Gremio floricultor <sup>3</sup>.

Existe además una entidad de carácter privado que da un apoyo importante a este importante renglón de la producción llamada Asociación Colombiana de Exportadores de Flores ASOCOLFLORES, creada como entidad gremial sin ánimo de lucro, en el año 1973.

La creación de este gremio obedeció a la necesidad sentida de los productores y exportadores de defender su posición en los mercados internacionales de flores y poder llegar al desarrollo de la floricultura en todos sus componentes: productivo, tecnológico, investigativo, (aunque carece de un Centro de investigación), transporte de la producción y bienestar integral de sus trabajadores.

**Asocolflores** hace parte de diferentes comités y consejos económicos, tanto del sector público, como privado, con el fin de asegurar un lugar justo para las exportaciones dentro de las

negociaciones bilaterales y multilaterales comerciales impulsadas por el nuevo orden económico. Este gremio ha constituido con el gremio de importadores de flores del estado de la Florida, el Colombian Flower Council (CFC), desde 1987, con sede en la ciudad de Miami, cuyo objetivo primordial es promover el consumo de flores colombianas, en ese mercado <sup>8</sup>.

En cuanto a la administración de personal las empresas realizan planeación estratégica en forma anual, determinando las necesidades de personal, procurando disminuir el número de rotaciones, especializando cada vez más al personal en determinadas labores. Al interior de las empresas se realizan diagnósticos priorizando las necesidades presupuestales para el desarrollo de programas de prevención y riesgo de la floricultura, programas culturales, recreativos entre otros <sup>3</sup>.

Existe un programa social ambiental del cual hace parte un alto número de empresas denominado **Florverde**, para el mejoramiento socio ambiental de las empresas floricultoras. Dentro del subprograma gestión humana la formación y desarrollo permite que los trabajadores, con la aplicación de su capacidad intelectual y una práctica diaria formativa, obtengan un desarrollo profesional y un crecimiento personal en una empresa con un continuo aprendizaje. En la administración del recurso humano se busca que los trabajadores encuentren en la organización un tratamiento justo, equitativo y participativo para una relación contractual de mutuo beneficio. En salud ocupacional y bienestar laboral se permite mantener entre las personas, el medio ambiente, los equipos materiales e instalaciones, el más alto grado de bienestar, seguridad y protección <sup>3</sup>.

### 4.3 Tipos de productores y organizaciones en cultivos permanentes

Los renglones permanentes que hemos mencionado anteriormente, han estado en manos de diferentes tipos de productores, grandes en su mayoría y medianos, con acceso a altos niveles de tecnología, con disponibilidad de recursos económicos, posibilidades de asesoría técnica, recursos de crédito y propietarios de sus fincas. La tecnificación de los huertos consiste en el uso de recursos genéticos mejorados y de buena calidad, establecimiento de plantaciones altamente tecnificadas, con distancias y densidades de población adecuadas, uso de maquinaria, sistemas de riego y fertirriego y tecnologías avanzadas para poscosecha. También existen predios de pequeños productores dedicados a la producción de frutales, como árboles de patio casero, con un sistema tradicional de manejo, sin mayores beneficios económicos.

Los gremios de la producción establecidos en torno a los cultivos permanentes, como son la Asociación Colombiana de productores de Cítricos (ASOCITRICOS), la federación nacional de productores de mango (FEDEMANGO), la asociación Colombiana de productores de Guanábana (COLGUANABANA), Asociación de productores de Pitahaya (ASOPITAHAYA), entre otros, fueron gremios creados por esfuerzos de grupos de productores, cuya problemática de producción y comercialización, ameritaba su conformación. Algunos se formaron con el apoyo del programa nacional de diversificación de zonas cafeteras de FEDERACAFE, iniciado en el año 1973. Otras Entidades de carácter privado como el grupo agroindustrial GRAJALES y Agropecuaria El NILO tuvieron ingerencia en el desarrollo de especies frutícolas como la Vid, el Maracuyá, el Melón y la Papaya en la zona del Valle del Cauca, con altos niveles de tecnificación y uso de sistemas de fertirriego.

La solidez de algunos de los gremios antes mencionados, ha sido muy efímera, por cuanto, los cultivos han presentado problemas tecnológicos, organizacionales y de mercado, que han hecho profundas crisis, lo que ha debilitado las agremiaciones, a tal punto de lograr su desaparición. La situación actual de los gremios antes mencionados es de un desestímulo total, por escasez de recursos y falta de políticas estatales de apoyo.

## 5 El componente físico de los sistemas productivos

### 5.1 Características de las zonas agrícolas donde se desarrollan programas de riego y fertirriego en Colombia

Colombia es un país que posee dentro de su paisaje geográfico diferencias fisiográficas, geomorfológicas, hidrográficas y demográficas las cuales están interrelacionadas. La diversidad del relieve contribuye a la variación de la temperatura, conformando los pisos térmicos. Tabla 4.

Tabla 4. Pisos térmicos de Colombia.

Piso térmico	Altitud	Temperatura	% superficie
Cálido	0-1000 m	Mayor a 24 °C	83%
Templado	1000 a 2000 m	17-24 °C	9%
Frío	2000 a 3000 m	12 a 17 °C	6%
Páramo	Mayor de 3000 m	Menor de 12 °C	2%

FUENTE: Geografía económica de Colombia 1984<sup>21 19</sup> „

El régimen de lluvias o precipitación y su distribución geográfica, tiene un gran interés para la realización de diferentes actividades agrícolas. El país comprende 4 zonas pluviográficas que se relacionan en la Tabla 5.

Tabla 5 . Zonas pluviográficas de Colombia

Zonas	Precipitación anual	Región
Mínima pluviosidad	Menos de 500 mm	Guajira, Santa Marta, Soatá
Menor pluviosidad	500-2000 mm	Altiplano Cundiboyacense, Santander, Valle, Cauca, Llanuras del Atlántico, Norte de los Llanos, Altiplano Nariñense y Valle del Alto Magdalena
Media pluviosidad	2400-4000 mm	Macizo Antioqueño Caldense, Hoya del Catatumbo
Alta pluviosidad	4000-11000 mm	Costa Norte del Pacífico, Piedemonte Llanero, Valle medio del Magdalena, Amazonía

FUENTE: Geografía económica de Colombia, 1984<sup>21</sup>

La precipitación efectiva es aquella lluvia útil o utilizable para las diferentes labores de preparación, manejo del suelo y consumo del cultivo.

La evaporación es el proceso mediante el cual una cantidad de agua puede ser emitida desde una superficie de agua libre, a través del cambio en el estado del agua (de líquido a vapor). La medición de la evaporación se realiza con la ayuda de un tanque evaporímetro Tipo A. La evaporación es determinada por la acción de los factores temperatura, viento, humedad y por la radiación solar.

El balance hídrico, es la utilización de los datos reales de precipitación y de información climática, para el cálculo de las necesidades de agua por los cultivos. El balance hídrico puede ser utilizado para la implementación, aplicación y operación de riego y drenaje de campos agrícolas, identificar los periodos de déficit o excesos de agua, en la elaboración de calendarios agrícolas y hacer estimaciones de rendimiento.

Tabla 6. Áreas de influencia de los distritos de riego en diferentes pisos térmicos y zonas agro ecológicas de Colombia

Departamento	Distrito de Riego	Municipio	Zona Agro-ecologica	Area (Nal) (Ha)	Area Relativa Nal (%)
Boyacá	Siachoque	Siachoque	Pa	52.049	0.05
Boyacá	Samacá	Samacá	Pc	1.762.496	1.54
Nariño	San Pedro	Potosí	Fb	137.426	0.12
Nariño	Rosalmonte	Buesaco	Fg	39.420	0.03
Tolima	Las leonas	Cajamarca	Fn	2.835.086	2.48
Santander	Palchal	Suratá	Fm	1.755.272	1.54
Guajira	Marimondas	Fonseca	Mg	3.882.330	3.40
Antioquia	Piñones	Olaya	Mg	3.882.330	3.40
Santander	Bucaré	Matanza	Mg	3.882.330	3.40
Nariño	El Tejar	Consacá	Mb	45.671	0.04
Atlántico	Sabana Gato	Sabanalarga	Cn	869.793	0.76
Atlántico	San Gil	Baranoa	Cj	2.291.905	2.01
Guajira	Matítas	Riohacha	Cj	2.291.905	2.01
Córdoba	San Blas	San Bernardo	W	2.314.346	2.03
Tolima	El Mortiño	El Carmen	Cu	2.494.155	2.18
Santander	Peña Grande	Galán	Cx	1.407.547	1.23
Meta	Aguazarcas	El Dorado	Kd	1.443.750	1.52

FUENTE: CORPOICA.. Informe de actividades Convenio CORPOICA\_INAT, 1996 <sup>919</sup>.

### 5.1.1 Los Distritos de riego

En Colombia entidades como el Instituto Nacional de adecuación de tierras (INAT), el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y la Corporación Colombiana de investigación agropecuaria (CORPOICA), han desarrollado proyectos tendientes a caracterizar el componente físico de las zonas donde se han establecido los distritos de pequeña, mediana y gran irrigación. Clasificación que depende del área de cobertura del Distrito, de su capacidad de suministro y del número de productores beneficiarios del Programa de riego.

La construcción de obras de infraestructura que permiten el manejo del riego, drenaje y/o protección contra inundaciones, siempre que se haga para dar un aumento de la productividad en zonas agrícolas, se denomina un distrito de adecuación de tierras.

Un **Distrito de riego** es un área delimitada, en la cual existe un conjunto de obras de ingeniería que trabajan armónica y eficientemente con el objeto de suplir las necesidades hídricas de los cultivos. Las zonas geográficas donde tradicionalmente se han desarrollado infraestructura de riego y distritos de pequeña y mediana irrigación en Colombia, se muestran en la Tabla 6 <sup>919</sup>.

### 5.1.2 Características físicas de los suelos de los distritos de riego en Colombia

Otras propiedades del suelo relacionadas con el riego y sus diferentes formas de suministro son: La densidad real, la densidad aparente, la porosidad y la velocidad de infiltración. Estas variables también han sido caracterizadas y analizadas por el Convenio CORPOICA-INAT y constituyen una información básica, para el diseño de métodos de suministro de agua. Tabla 7. A pesar de la información existente al respecto aún se observan falencias en el diseño de proyectos productivos que se limitan al empleo de la información de tipo químico y de fertilidad de suelos, desconociendo la importancia de la información física.



Tabla 7. Características físicas de los suelos de los distritos de riego en pequeña escala en zonas productoras agrícolas de Colombia

Distrito	PROF. (cm)	D. APA. (g/cc)	D. REAL (g/cc)	INFILT. (cm/h)	TEXTURA	CC %	PMP (%)
Siachoque	0-20	1.66	2.53	1.83	F.Arc	31.7	24.63
Samacá	0-20	1.48	2.54	3.45	F.Arc	31.2	25.55
Sabana San Blas	0-40	1.52	2.53	0.10	F:Arc-Arc	37.0	30.92
Matitas	0-20	1.30	----	0.98	F.Arc	41.4	21.00
Piñones	0-30	1.39	2.65	--	F.	34.1	18.25
Las Leonas	0-20	1.48	2.66	--	F.Arc	25.1	23.32
El Mortiño	0-20	1.18	2.46	15.8	F.Ar	39.0	29.58
Peña Gra.	0-20	1.25	2.63	0.11	Arc	46.3	39.80
Aguazarcas	0-20	1.07	2.48	1.12	F.Arc	33.4	29.69
	0-30	1.37	2.69	9.51	F.Arc	30.0	25.25

PROF: profundidad; D.APA: Densidad aparente; D.REAL: Densidad real; INFILT: infiltración; CC Contenido de humedad en capacidad de campo; PMP: Contenido de humedad en Punto de marchites permanente.

FUENTE: CORPOICA. Informe de actividades Convenio CORPOICA-INAT .1996 <sup>9 19</sup>.

## 6 Interacción de los componentes físico y biótico de los sistemas productivos

### 6.1 Requerimientos hídricos de las plantas

El óptimo desarrollo de las plantas está regulado por las condiciones climáticas, la disponibilidad de agua y la disponibilidad de nutrientes, de acuerdo con las etapas de desarrollo del cultivo<sup>28</sup>. Los requerimientos en cada una de estas fases, pueden ser determinados mediante el comportamiento de las curvas de “Coeficiente de cultivo Kc”.

Los requerimientos hídricos para las especies agrícolas de ciclo corto, más importantes de Colombia, se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Necesidades hídricas de algunos cultivos transitorios de importancia económica en Colombia, en diferentes distritos de riego.

Distrito	Cultivo	Fase inicial		Fase desarrollo		Fase media		Fase final		total	
		Ciclo (días)	NH (mm)	Ciclo (días)	NH (mm)	Ciclo (días)	NH (mm)	Ciclo (días)	NH (mm)	Ciclo (días)	NH (mm)
Las Leonas	Frijol arbust.	20	58.4	40	178	30	81.5	20	45	110	362.9
Bucaré	Frijol arbust.	30	42	45	126.5	45	166	15	43.7	135	372.8
Palchal	Maíz	30	45	40	105	50	190	30	85	150	425
Matitas	Maíz	21	43.9	26	83.7	26	125.9	10	39.2	62	292.8
Bucaré	Tomate	30	40.9	35	93.4	35	147.2	20	71.7	120	353.2
Marimondas	Tomate	24	103.6	32	152.1	32	180.3	20	100.3	108	536.6
Bucaré	Pimentón	26	90	31	140	33	120	10	50	100	400
San Blas	Sandía	19	35.2	26	85.2	30	130.9	15	57.3	90	308.6
Espinal	Algodón	20	42.5	20	98.7	60	317	20	46.8	120	505

Fuente: CORPOICA-INAT, 1966. CORPOICA, 1999 <sup>7 9 11 12 24</sup>.

#### 6.1.1 Los requerimientos hídricos en cultivos semi-permanentes más importantes

Los cultivos semipermanentes son aquellos cuya duración del ciclo productivo es mayor de dos años. Entre los cultivos semipermanentes desarrollados y con importancia económica en Colombia, están algunos frutales como son: el Maracuyá *Passiflora edulis*, la papaya (*Carica papaya* L.), la granadilla *Passiflora ligularis* Juss, el tomate de árbol *Cyphomandra betacea*, el Lulo *Solanum quitoense*, el banano *Musa* sp y las flores entre otros. Tabla 9.

Tabla 9. Necesidades hídricas para un año, de algunos cultivos semipermanentes de importancia económica en Colombia, en diferentes zonas productoras.

Cultivo	Fase inicial		Fase desarrollo		Fase media		Fase final		total	
	Ciclo (días)	NH (mm)	Ciclo (días)	NH (mm)	Ciclo (días)	NH (mm)	Ciclo (días)	NH (mm)	Ciclo (días)	NH (mm)
Maracuyá	20	58.4	40	178	30	81.5	20	45	110	362.9
Papaya	30	42	45	126.5	45	166	15	43.7	135	372.8
Granadilla	30	45	40	105	50	190	30	85	150	425
Tomate de árbol	21	43.9	26	83.7	26	125.9	10	39.2	62	292.8
Lulo	30	40.9	35	93.4	35	147.2	20	71.7	120	353.2
Banano	24	103.6	32	152.1	32	180.3	20	100.3	108	536.6
Flores (*)										

Fuente: CORPOICA-INAT, 1966. CORPOICA, 1999<sup>6 9 19 26</sup>.

\* Para flores se estima un consumo por ciclo de 126 L/m<sup>2</sup>

### 6.1.2 Los requerimientos hídricos en cultivos permanentes en Colombia

Los cultivos permanentes presentan ciclos productivos mayores de 5 años y pueden alcanzar más de 30 años en producción. Las especies de mayor importancia económica en Colombia son: El café (*Coffea arabica*), el Aguacate (*Persea americana* Mill), el mango (*Mangifera indica* L.), los Cítricos (*Citrus* spp), el cacao (*Theobroma cacao* Robledo), la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.), el Caucho *Hevea brasiliensis* y la Feijoa (*Acca sellowiana* Br). Tabla 10.

Tabla 10. Necesidades hídricas para un año, de algunos cultivos permanentes de importancia económica en Colombia, en diferentes zonas productoras.

Cultivo	Fase inicial		Fase desarrollo		Fase media		Fase final		total	
	Ciclo (días)	NH (mm)	Ciclo (días)	NH (mm)	Ciclo (días)	NH (mm)	Ciclo (días)	NH (mm)	Ciclo (días)	NH (mm)
Café	75	250	90	340	110	425	90	465	365	1500
Aguacate	65	430	90	380	90	409	120	481	365	1700
Cacao	75	420	100	520	110	480	80	300	365	1800
Cítricos	65	220.1	90	290	90	214.6	120	409.5	365	1134.3
Mango	95	296.7	90	370.9	90	406.4	90	383.3	365	1457.5
Palma	80	325	95	400	110	430	80	455	365	1900
Caucho	75	410	85	450	100	425	105	475	365	1800

Fuente: CORPOICA-INAT, 1966. Varios autores. CORPOICA; 1999<sup>9 19 20 26</sup>

## 6.2 Los requerimientos nutricionales

Los requerimientos nutritivos, entendidos como las necesidades de suministro de nutrientes por las plantas, que son indispensables para cumplir con las diferentes etapas de desarrollo, permitiendo unos mayores niveles de producción y productividad de la especie.

La investigación sobre este tema, se ha centrado en algunas especies consideradas de importancia económica para el país, en diferentes épocas. Especialmente en aquellas que han estado respaldadas por los gremios y otras por programas y proyectos de Entidades del Estado.

La mayoría de los estudios se centraron en la determinación de los requerimientos para los elementos considerados mayores y no así, para los secundarios o para los micronutrientes. En las tablas 11, 12 y 13, aparecen los requerimientos de nutrientes para aquellas especies de diferente ciclo, donde han sido determinados.

Tabla 11. Requerimientos nutricionales para especies transitorias de importancia en Colombia.

Cultivo	N (Kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/ha)	K <sub>2</sub> O (Kg/ha)	Ca (Kg/ha)
Frijol arbustivo	133	16	116	64,5
Maíz	190	62	124	
Tomate	110	25	150	
Pimentón	147	84	190	
Melón	122	17	229	
Sandía	30	25	35	
Algodón	85	22	61	

Fuentes: Corpoica , 2000; Barreto et al, 2000, Convenio CORPOICA-INAT, 2000. Paez y Reyes, 2001 <sup>4 12 24 19</sup>

Tabla 12. requerimientos nutricionales para especies semipermanentes de importancia en Colombia.

Cultivo	N (Kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/ha)	K <sub>2</sub> O (Kg/ha)	Ca (Kg/ha)
Maracuyá	130	25	150	
Papaya	150	65	145	
Granadilla	152	18	160	18
Piña	160	40	180	
Lulo	60	120	75	
Banano	420	120	600	
Flores*				

Fuentes: Corpoica , 2000; Convenio CORPOICA-INAT, 2000 <sup>11 19 20</sup>.

(\*) Niveles deseables en hoja para N (3-4%), para P(0,2-0,3%) y K (1,8-3,0%).

Tabla 13. requerimientos nutricionales para especies semipermanentes de importancia en Colombia.

Cultivo	N (Kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/ha)	K <sub>2</sub> O (Kg/ha)	Ca (Kg/ha)
Guanábana	110	90	130	
Aguacate	300	80	400	
Cacao	45	55	200	
Cítricos	270	60	40	
Mango	100	25	110	
Palma	136	14	151	113

Fuentes: Corpoica , 2000; Convenio CORPOICA-INAT, 2000. Arias y Betancourth, 1994. <sup>2 18 19 21</sup>.

### 6.2.1 El diseño de planes de fertilización en Colombia

El diseño de planes de fertilización para la producción de frutales en Colombia, ha dependido de un diagnóstico oportuno en el que se consideran los siguientes factores:

- ✓ La cantidad de nutrimentos que se encuentran disponibles en el suelo
- ✓ La cantidad de nutrientes disponibles en el tejido foliar
- ✓ Los requerimientos nutricionales de la plantas y el conocimiento de sus niveles críticos, de acuerdo con las etapas fenológicas de dichas plantas
- ✓ Las pérdidas potenciales por lixiviación de nutrientes en el subsuelo o la indisponibilidad, al menos temporal de nutrientes debido a reacciones fisicoquímicas en el suelo
- ✓ La eficiencia de fertilizante en función del suelo
- ✓ Los aspectos económicos de la fertilización

En el país hay información preliminar acerca de los requerimientos edáficos y nutricionales de algunas especies y para algunos de ellos se cuenta con datos sobre la extracción de nutrientes. Estos estudios informan acerca de las necesidades mínimas y de la cantidad de fertilizantes que es necesario aplicar para evitar el empobrecimiento progresivo de un suelo <sup>13</sup>. Sin embargo falta aún

mucha evidencia experimental sobre los requerimientos nutricionales por especie en sus diferentes etapas fenológicas.

El análisis de los componentes de los sistemas de producción y de sus interacciones proporciona criterios para el diseño de planes de riego y fertirriego teniendo en cuenta el ambiente, los requerimientos de las plantas y el tipo de fertilizantes requeridos y en formas aprovechables para las plantas.

## 7 Bibliografía

- 1 Amèzquita, CE. Fertirrigación. En Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. Fertilidad del suelo. Bogotá Colombia. 1997. 283p.
- 2 Arias VH, Betancourt R. Respuesta del cultivo de la Guanábana (*Annona muricata* L) a la fertilización edáfica y foliar en dos localidades: El Guamo (Tolima) y Pereira (Risaralda). Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1992.
- 3 ASOCOLFLORES. Reseña histórica de la floricultura Colombiana. Seminario Floricultura avanzada. Facultad de agronomía Universidad Nacional de Colombia 2002.
- 4 Barreto JD, Miranda LD, Aguirre, GM, Echeverry, LA, Caicedo, AM, Campos, VJ. Manual cultivo del tomate tipo Milano en camas plastificadas bajo las condiciones agroecológicas de la Meseta de Ibagué. Editorial DISTRIFORMAS. Ibagué Tolima. 2000.141p.
- 5 Cadahia, LC. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Segunda edición revisada.2000. 475 p.
- 6 Carrillo CS. Evaluación de diferentes formulaciones de fertilizantes sobre la producción de flores y cormos en el cultivo de Freesia (FREESIA x HÍBRIDA) en las variedades Elegance y Destiny. Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1994.
- 7 Castaño EJ. Efecto de la fertirrigación sobre el rendimiento del Algodonero (*Gossypium hirsutum*) en la zona de Espinal Tolima. Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1992.
- 8 Colombian Flowers. <http://www.colombianflowers.com>
- 9 CORPOICA INAT Aspectos básicos del riego. Convenio Corpoica Inat. 1996. 144 p.
- 10 CORPOICA. Manejo competitivo del Algodonero. Primer encuentro Nacional de la cadena algodón-textil-confecciones. Centro de investigación Nartaima. Corpoica. Espinal Tolima. 1999. 134 p.
- 11 CORPOICA INAT . Manejo de cultivos bajo riego en distritos de pequeña escala. Manual de asistencia técnica N°5.2000. 174p.
- 12 CORPOICA INAT Manejo del riego a nivel dpredial en Distritos de pequeña escala. Manual de asistencia técnica n° 4. 2000. 57 p.
- 13 Escobar, CA. Concepto sobre necesidades de riego El Amparo. Cali. Valle. CVC. 1992. 30p
- 14 FAO STAT. DATABASE RESULTS. Statistics Food and Agriculture Organization. [www.fao.org](http://www.fao.org).2002
- 15 FEDERACIÓN NACIONAL DE ALGODONEROS. Bases técnicas para el cultivo del algodón en Colombia. Bogotá Colombia. 1990. 176p.
- 16 González, MC. El riego por goteo. Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1990. 65p.
- 17 IGAC: Atlas ejecutivo. Proyecto SIG. Convenio CORPOICA- CONCIENCIAS. Santa Fe de Bogotá Colombia Tomos I II III. 1997.
- 18 IPGRI-INIBAP. Networking Banana and Plantain - INIBAP Annual Report 1997.
- 19 INAT-CECIL. Manejo integral de cultivos en suelos bajo riego. Manual Básico. 1996. 76p.
- 20 Marín FJ, Polanía DF, Efecto de la aplicación de varias fuentes de nutrientes fertirrigados en la producción de mango (*Mangifera indica* L..) Variedad Tommy Atkins. Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1990.

- 21 Maraño, M, Gómez, H, Vega, A. Geografía económica Colombiana. Serie conozcamos al mundo. Ed. Norma Santa Fè de Bogotá. Colombia. 1984.
- 22 Miranda, LD., Pelaez, ISL, Figueroa, BL. Procesos productivos agropecuarios para el Departamento del Tolima. Estructura y función. Editorial El Poirá S.A. 1999.
- 23 MONOMEROS COLOMBO VENEZOLANOS. Fertilización. Nitrato de Potasio KNO<sub>3</sub>, El fertilizante ideal para los sistemas de riego. Bogotá Colombia 1997. 27p.
- 24 Paez QJ, Reyes BY. Influencia de diferentes esquemas de fertilización con Nitrógeno y potasio sobre aspectos de crecimiento y producción de Melón (*Cucumis melo* L.) híbrido "Excelsior" en la inspección de Cambao, Cundinamarca. Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2001.
- 25 Pava BH, Rivera, PE. Efecto de diferentes volúmenes de agua en Guanábana (*Annona muricata* L) aplicados mediante dos sistemas de riego (goteo y micro aspersión). Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1994..
- 26 Peñalosa FJ. Efecto de la oxigenación del fertilización sobre la nutrición y producción del Pompón (*Dendranthema grandiflora* Tzelev-). Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2002.
- 27 Rincón, L y Sanchez, C. Cadena productiva de flores para corte: Cultivo rosa calidad de exportación. Documento de trabajo impreso. 2002. 45p.
- 28 Villalpando, J. y Ruiz A., 1993. Observaciones Agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Editorial Limusa, México. 133 p.



# COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE CULTIVO EN SUELO ENARENADO Y EN SUSTRATO<sup>©</sup>

José López Gálvez

Coordinador Red XIX.A CYTED.

[jlgalvez@ual.es](mailto:jlgalvez@ual.es)

## 1 Descripción del suelo enarenado y de los sustratos.

El enarenado es un sustrato artificial, típico de la zona de Granada y de Almería. Su historia se remonta a finales del siglo pasado y, en cuanto a la forma en la que surgió, se cuentan las más diversas leyendas. Hay quien atribuye su origen a la observación de un agricultor, llamado Manuel Romero Rivas, al observar cómo las plantas cultivadas sobre arena, mostraban mejor aspecto y mayor precocidad de los frutos. El modo en que llegó esta arena a la parcela es de lo más variada, desde quien dice que fueron montículos de arena formado por los hormigueros, hasta quien comenta que fue la arena dejada por la avenida de una rambla (1).

Para su preparación se incluyen usualmente, además de las labores de subsolado y explanación, el aporte de una capa de tierra vegetal de unos 20cm de espesor con la que se mezclan 5kg de estiércol por m<sup>2</sup> de suelo. A continuación se aplica otra capa de unos 2cm de estiércol (aproximadamente 5kg/m<sup>2</sup>) y finalmente una capa de unos 10cm de arena de playa, con lo que se configura un suelo con cuatro estratos claramente diferenciados, tanto desde el punto de vista físico como de su composición química. El suelo así preparado dura entre 3 y 5 años, pasados los cuales se inicia la operación de 'retranqueo'. Esta técnica de cultivo, que empezó a emplearse a partir de los años 50, ofrece ventajas significativas al conseguir cosechas precoces y elevadas con un alto rendimiento en el uso del agua, al evitar pérdidas por evaporación, permitiendo la utilización, con rendimientos aceptables, de aguas salinas (2). Además, el fuerte estercolado permite suplir las deficiencias en los nutrientes aplicados al cultivo.

Las actuales técnicas de cultivo, en invernadero, están empleando de soporte para las plantas sustratos como: lana de roca, perlita, fibra de coco y otros. Esta práctica se está generalizando con pérdida por filtrado de parte de la disolución de fertilizantes, lo que conlleva problemas ambientales, por causa tanto de dicho filtrado como del propio desecho de los sustratos (3). Describiremos someramente las características de la perlita y la lana de roca ya que son los sustratos que compararemos entre si y con el enarenado, en los epígrafes que siguen.

La perlita es un mineral procedente de depósitos de lava. El material se extrae, se muele y se cierce, calentándose a temperaturas de entre 900 y 1.400°C. Este tratamiento hace que el material se expanda de 4 a 20 veces su volumen original, adoptando formas esféricas porosas. Desde el punto

de vista químico, la perlita es un sustrato inerte, sin capacidad de intercambio iónico. La presentación de este producto para cultivo difiere según el fabricante, pudiéndolo encontrar en sacos o macetas. La granulometría es variada y va desde 6mm a 0,1mm.

La lana de roca se obtiene en un proceso industrial, por fusión a 1.500°C de rocas volcánicas basálticas, calizas y carbón de coque, en una relación de masa 4-1-1 y extrusión posterior que da origen a filamentos, a los que se incorporan resinas para mantener su cohesión. Los filamentos son de pequeño diámetro y no son totalmente insolubles. En contacto con la disolución nutritiva liberan pequeñas cantidades de calcio y de magnesio. La composición química difiere de un fabricante a otro. La lana se presenta en tablas rectangulares con diferentes dimensiones.

Los epígrafes que siguen analizan el rendimiento, en términos físicos y monetarios, de los procesos productivos y su incidencia ambiental, de un cultivo de tomate dispuesto sobre un suelo enarenado y sobre diferentes sustratos. Los datos provienen de un trabajo experimental realizado en las campañas 1992/1993 y 1993/1994, en el Campo de Dalías, dentro de un programa de trabajo destinado a analizar la eficiencia técnico-económica de las diferentes técnicas de cultivo.

El enarenado utilizado fue el usual en Almería con 15 años de implantación y con cultivo ininterrumpido durante ese tiempo.

Los sustratos empleados fueron dos tipos de lana de roca (**A** y **B**) y dos contenedores de perlita (**C** y **D**) de distinta granulometría. Para riego se utilizaron dos aguas con diferente salinidad (CE=0,5dS/m denominada **N** y CE= 3,0dS/m denominada **S**). Los tratamientos fueron:

- ✓ Lana de roca tipo **A** (tabla de 10x10x100cm) y agua **N**. Tratamiento: **AN**
- ✓ Lana de roca tipo **B** (tabla de 24x7,5x100cm) y agua **N**. Tratamiento: **BN**
- ✓ Perlita tipo **C** (maceta de 27L, granulometría 1,5-5mm de diámetro) y agua **N**. Tratamiento: **CN**
- ✓ Perlita tipo **D** (saco de 1,20m de longitudx20cm de diámetro y granulometría de 5mm) y agua **N**. Tratamiento: **DN**
- ✓ Enarenado **E** y agua de riego **N**. Tratamiento: **EN**
- ✓ Lana de roca tipo **A** y agua de riego **S**. Tratamiento: **AS**
- ✓ Lana de roca tipo **B** y agua de riego **S**. Tratamiento: **BS**
- ✓ Perlita tipo **C** y agua de riego **N**. Tratamiento: **CN**
- ✓ Perlita tipo **D** y agua de riego **N**. Tratamiento: **DN**
- ✓ Enarenado **E** y agua de riego **N**. Tratamiento: **EN**

## **2 Recursos utilizados y residuos generados.**

La información que se resume en el cuadro 9 recoge las cantidades de *ingredientes* aplicados y de residuos emitidos para obtener una unidad de producto, en el abanico de *recetas* utilizadas.

El recurso cuantitativamente más importante utilizada en el proceso de cultivo es el agua, seguida de: carbono, hidrógeno y oxígeno. El carbono y parte del oxígeno provienen del aire. Las emisiones de CO<sub>2</sub> que origina el estiércol del enarenado y la ventilación del invernadero mejoran, aunque mínimamente, las cantidades de este factor y por ende la actividad fotosintética de las plantas. Dado que el ensayo se realizó en un único invernadero no permite conocer las posibles diferencias de productividad entre los sustratos y el enarenado, por las mayores concentraciones de CO<sub>2</sub> en este medio de cultivo.

La exigencia en fertilizantes, para obtener la misma cantidad de cosecha, varía para el agua **N**, desde 1 UF, en el enarenado, hasta 4 UF, en los sustratos **A**, **B** y **C**. La diferencia en peso de los materiales movilizados durante el proceso de implantación, del enarenado y de los sustratos, es



mucho más acentuada que en el proceso de cultivo. Cada sistema reclama materiales y procesos de fabricación diferentes.

El agua representa la salida, cuantitativamente, más importante que es tanto mas elevada cuanto mayor es la necesidad de lavado del suelo o sustrato. Las mayores pérdidas se dan con el agua **S** debido a la necesidad de aumentar la fracción de lavado por su mayor concentración salina. La cantidad de agua lixiviada superó los 30L por kilogramo de cosecha en los sustratos **C** y **D**. Le siguen los residuos de cultivo que son superiores en el enarenado. La variación entre fertilizantes lixiviados por los sustratos es escasa, siendo despreciable el lixiviado producido en el enarenado.

## 2.1 Flujos físicos y relaciones de contaminación.

Los cuadros 10 y 11 presentan la entrada de recursos, la salida de cosecha y de residuos, además de las ratios de rendimiento y de contaminación de cada alternativa, para las dos salinidades aplicadas.

Cuadro 1.- Recursos y residuos por unidad de cosecha.

Agua	Conceptos	E	A	B	C	D
N	ENTRADAS					
	AGUA	20,9	49,5	41,4	42,5	38,4
	C, H y O	0,24	0,21	0,21	0,22	0,21
	FERTILIZANTES:					
	En U.F.*	0,01	0,04	0,04	0,04	0,03
	En producto comercial	0,02	0,09	0,08	0,08	0,07
	SUSTRATO	-	0,01	0,02	0,03	0,05
	ESTIÉRCOL	0,19	-	-	-	-
	ARENA	0,94	-	-	-	-
	PLÁSTICO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	SALIDAS					
	COSECHA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	RESIDUOS DE:					
	Cultivo	1,94	1,64	1,62	1,79	1,65
	Agua	1,75	14,9	9,71	12,9	14,2
	Fertilizantes:					
	En U.F.*	-	0,02	0,02	0,02	0,02
	En producto comercial	0,00	0,06	0,04	0,04	0,04
	SUSTRATO	-	0,01	0,02	0,03	0,05
	PLÁSTICO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
S	ENTRADAS					
	AGUA	24,8	44,0	48,4	67,1	66,1
	C, H y O	0,25	0,21	0,21	0,25	0,21
	FERTILIZANTES:					
	En U.F.*	0,01	0,03	0,04	0,05	0,05
	En producto comercial	0,02	0,08	0,09	0,12	0,12
	SUSTRATO	-	0,01	0,02	0,05	0,07
	ESTIÉRCOL	0,23	-	-	-	-
	ARENA	1,11	-	-	-	-
	PLÁSTICO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	SALIDAS					
	COSECHA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	RESIDUOS DE:					
	Cultivo	2,09	1,56	1,61	2,10	1,62
	Agua	2,08	21,6	26,2	30,5	31,1
	Fertilizantes:					
	En U.F.*	**	0,02	0,02	0,03	0,03
	En producto comercial	**	0,05	0,05	0,06	0,08
	SUSTRATO	-	0,01	0,02	0,05	0,07
	PLÁSTICO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Fuente: López-Gálvez y Naredo (1996). Nota: \*U.F. = unidades fertilizantes. \*\* No se controlaron las salidas con el riego de presiembra

Estos datos permiten enjuiciar el comportamiento de los sistemas de cultivo en la utilización de recursos y la emisión de residuos. Resalta el comportamiento más eficiente en el uso de los recursos

y menos contaminante del enarenado, aunque también se acusan importantes diferencias entre los sustratos.

Cuadro 2.- Flujos físicos anuales en t/ha con agua N.

MATERIALES	E	A	B	C	D
<b>ENTRADAS:</b> AGUA	3.571	9.220	7.865	8.496	7.385
C, H y O	40,8	39,8	40,2	45,1	41,3
<b>FERTILIZANTES</b>					
En U. F.	1,2	7,9	6,7	7,2	6,5
En producto comercial	3,2	17,6	15,0	16,2	14,0
<b>SUSTRATO</b>	-	1,7	3,7	6,2	9,7
<b>ESTIÉRCOL</b>	33,3	-	-	-	-
<b>ARENA</b>	160	-	-	-	-
<b>PLÁSTICO</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>SALIDAS:</b> COSECHA	171,1	186,2	189,9	199,6	192,4
<b>RESIDUOS:</b>					
DE CULTIVO	332,0	305,0	307,0	357,0	318,0
DE AGUA	300	2770	1.844	2.569	2.727
DE FERTILIZANTES:					
En U. F.	-	4,6	3,5	3,6	3,1
En producto comercial	0,6	10,4	7,8	8,1	6,8
DE SUSTRATO	-	1,7	3,7	6,2	9,7
DE PLÁSTICO	1,0	1,0	1,00	1,00	1,00
<b>RELACIONES DE EFICIENCIA:</b>					
g de cosecha por L de agua	51,1	20,3	24,3	23,7	26,3
kg de cosecha por g de fertilizante	54,0	10,6	12,7	12,4	13,7
<b>RELACIONES DE CONTAMINACIÓN:</b>					
L de agua lixiviada por kg de cosecha	1,8	14,9	9,7	12,9	14,2
g de fertilizante lixiviado por kg de cosecha:					
En U. F.	-	24,9	18,5	18,1	16,3
En producto comercial	3,5	55,7	41,4	40,5	35,4
g de residuo sólido por kg de cosecha:					
De cultivo	1.940	1.638	1.617	1.789	1.653
De sustrato	-	9,1	19,5	31,1	50,4
De plástico	5,8	5,4	5,3	5,0	5,2
mg de fertilizante en cada L de lixiviado:					
En U. F.	-	1,7	1,9	1,4	1,2
En producto comercial	2,0	3,7	4,3	3,1	2,5

Fuente: López-Gálvez y Naredo (1996). Nota: \*U.F. = unidades fertilizantes. \*\* No se controlaron las salidas con el riego de presiembra

Los sustratos, por lo general, han dado rendimientos de cosecha, por unidad de superficie, mayores que el enarenado. Pero ello conlleva unas exigencias mayores de agua y nutrientes lo cual es importante si se piensa en la posible sustitución del enarenado por sustratos. En efecto, la información contenida en el cuadro 11 permite cuantificar el comportamiento más eficiente y menos contaminante del enarenado frente a los sustratos. El empleo de sustratos con solución perdida, además de multiplicar por más de 2 las exigencias de agua, multiplica por más de 10 los fertilizantes lixiviados, respecto al invernadero tradicional.

Un problema adicional que presenta el sistema de cultivo en sustratos es el derivado de sus residuos una vez utilizados. En efecto, tras sus dos años de vida útil, se convierten en residuos sólidos que, además de no ser fácilmente degradables, están contaminados. El mantenimiento de este sistema de cultivo exige unas entradas anuales de entre 2 y 10t de sustratos por hectárea y unas salidas algo mayores, ya que ganarían peso al incorporar durante el proceso de cultivo residuos orgánicos, químicos y humedad.

Cuadro 3.- Flujos físicos anuales en t/ha con agua S.

MATERIALES	E	A	B	C	D
<b>ENTRADAS:</b> AGUA	3.571	7.062	7.931	9.147	9.223
C, H y O	36,1	33,3	34,7	34,2	29,6
FERTILIZANTES					
En U. F.	1,2	5,5	6,2	7,2	7,2
En producto comercial	3,5	13,1	14,7	17,0	17,1
SUSTRATO	-	1,7	3,7	6,2	9,7
ESTIÉRCOL	33,3	-	-	-	-
ARENA	160	-	-	-	-
PLÁSTICO	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>SALIDAS:</b> COSECHA	144,2	160,7	164,0	136,3	139,4
RESIDUOS:					
DE CULTIVO	301,0	250,0	264,0	286,0	226,0
DE AGUA	300	3.474	4.301	4.158	4.337
DE FERTILIZANTES:					
En U. F.	-	3,1	3,4	3,7	4,8
En producto comercial	0,6	7,4	8,0	8,8	11,4
DE SUSTRATO	-	1,7	3,7	6,2	9,7
DE PLÁSTICO	1,0	1,0	1,00	1,00	1,00
<b>RELACIONES DE EFICIENCIA:</b>					
g de cosecha por L de agua	43,0	22,9	17,3	15,0	15,2
kg de cosecha por g de fertilizante	41,0	12,3	11,2	8,0	8,2
<b>RELACIONES DE CONTAMINACIÓN:</b>					
L de agua lixiviada por kg de cosecha	2,1	21,6	26,2	30,5	31,1
g de fertilizante lixiviado por kg de cosecha:					
En U. F.	-	19,4	20,6	27,1	34,4
En producto comercial	4,2	45,9	48,7	64,3	81,6
g de residuo sólido por kg de cosecha:					
De cultivo	2.088	1.556	1.610	2.098	1.621
De sustrato	-	10,6	22,6	45,5	69,6
De plástico	6,9	6,2	6,1	7,3	7,2
mg de fertilizante en cada L de lixiviado:					
En U. F.	-	0,9	0,8	0,9	1,1
En producto comercial	2,0	2,1	1,9	2,1	2,6

Fuente: López-Gálvez y Naredo (1996). Nota: \*U.F. = unidades fertilizantes.

La enorme variabilidad, en las exigencias de recursos y residuos por unidad de producto, que se observa entre las distintas formas de producción consideradas es un hecho a destacar. Por ejemplo la cantidad de agua **N** demandada, varía desde los 20 L/kg de tomate producido en el enarenado, hasta los 49 L en el sustrato **A**. Para el agua **S** la variación fue desde 25L/kg en el enarenado hasta los mas de 65 en los sustratos **C** y **D**. En el mismo sentido se mueven los fertilizantes.

La diferencia en peso de los materiales movilizados durante el proceso de implantación del enarenado y de los sustratos, es mucho más acentuada que durante el proceso de cultivo. Cada sistema reclama materiales y procesos de fabricación diferentes. El enarenado exige importantes cantidades de arena y estiércol por unidad de cosecha. La gran cantidad de arena demandada 160t/(ha año), hace de ella la segunda entrada en importancia después del agua. En la zona objeto de estudio se plantea el problema no tanto de escasez absoluta de la misma, ya que la arena no es un factor limitante en zonas desérticas, sino del mayor coste que supondría traerla de puntos mas alejados con objeto de disminuir su impacto ambiental y paisajístico como ocurre en el litoral almeriense. La emisión de residuos en este caso se limita al lixiviado de determinados iones presentes en el estiércol.

Los sustratos reclaman cantidades variables de material que oscila de 1 a 7 con el agua **S**. Aunque esas cantidades son mucho menores a las requeridas por el enarenado, plantean una doble problemática. Por una parte, los sustratos no son el resultado de una actividad extractiva directa ni

constituyen un subproducto. Para su fabricación se requiere someter a las rocas volcánicas, utilizadas como materia prima, a procesos industriales muy exigentes en energía y, por tanto, contaminantes. Por otra parte, una vez utilizados se transforman en residuos muy voluminosos y contaminados. El plástico del invernadero tiene un peso relativamente pequeño.

Si quisiéramos considerar la sostenibilidad global de cada sistema de cultivo, pasando de la escala micro del experimento a la agregada del conjunto de la zona, bastaría con multiplicar las cantidades que aparecen en los cuadros por el número de hectáreas ocupadas por el sistema de cultivo. Ello permitiría cotejar las extracciones de agua y los lixiviados inherentes a cada técnica de cultivo, con las disponibilidades y capacidad de dilución de los acuíferos de la zona. Y también la cantidad de residuo sólido que habría que gestionar en cada caso.

## 2.2 Balance energético.

Los cuadros 4 y 5 muestran información sobre los balances energéticos de cada técnica de cultivo. El cálculo del balance energético se ha apoyado en la información física proporcionada por los datos experimentales. El contenido energético de los materiales y productos que intervienen en el proceso, no se han analizado directamente, sino que proceden de distintas fuentes (4),(5),(6). Por esta razón los balances energéticos deben considerarse meramente orientativos de un orden de magnitud y no como el resultado de mediciones directas.

Cuadro 4.- Balance energético (tep/ha). Agua N.

MATERIALES	E	A	B	C	D
<b>ENTRADAS:</b> AGUA	0,12	0,31	0,26	0,28	0,25
FERTILIZANTES	0,48	3,38	2,88	3,11	2,72
SUSTRATO	-	1,83	3,85	6,35	9,93
ESTIÉRCOL	0,20	-	-	-	-
ARENA	0,13	-	-	-	-
PLÁSTICO	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
<b>SALIDAS:</b> COSECHA	4,3	5,4	5,2	5,2	5,7
<b>RATIO DE RENDIMIENTO</b>	1,40	0,70	0,57	0,44	0,38

Fuente: López-Gálvez y Naredo (1996).

Los datos de los balances energéticos resaltan la importancia que tiene la energía aplicada a los procesos previos al cultivo para obtener: agua, fertilizantes, sustratos y plásticos. Esta energía se incrementa sensiblemente en el caso del cultivo en sustrato, en razón del mayor gasto que supone la obtención del propio sustrato y de los fertilizantes que tan abundantemente utilizan.

Cuadro 5.- Balance energético (tep/ha). Agua S.

MATERIALES	E	A	B	C	D
<b>ENTRADAS:</b> AGUA	0,12	0,24	0,27	0,31	0,31
FERTILIZANTES	0,47	2,27	2,55	2,94	2,96
SUSTRATO	-	1,83	3,85	6,35	9,93
ESTIÉRCOL	0,20	-	-	-	-
ARENA	0,13	-	-	-	-
PLÁSTICO	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
<b>SALIDAS:</b> COSECHA	3,9	5,3	5,0	4,1	4,6
<b>RATIO DE RENDIMIENTO</b>	1,27	0,82	0,57	0,35	0,30

Fuente: López-Gálvez y Naredo (1996).

El gasto energético relacionado con la aplicación de agua (red de distribución, bombeo y desalación) es relativamente pequeño si lo comparamos con los fertilizantes. La energía empleada en los procesos de extracción, molienda y transporte de las rocas volcánicas utilizadas, es de un kilogramo equivalente de petróleo (kep) por cada kilogramo de sustrato. A este gasto medio se ha llegado después de consultar a especialistas del campo energético y con técnicos de casas

productoras. Al gasto anterior se le ha añadido una cantidad, estimada, que es la energía gastada en el transporte desde las industrias productoras hasta la zona de implantación.

La energía empleada en los sustratos hasta ponerlos en la parcela supera al gasto anual medio exigido en el enarenado por la aportación de arena y estiércol, habida cuenta de su prolongada vida y suponiendo que se traiga de zonas próximas como ocurre en la zona del Campo de Dalías.

Otro aporte energético que no suele incluirse, en este tipo de ejercicios, es el de la radiación solar, por tratarse de un bien verdaderamente libre y gratuito. La energía que recibió el invernadero por este concepto fue de 417tep/ha. Su exclusión de las entradas de energía en los sistemas agrarios, circunscribiéndolas sólo a las aplicadas por el hombre, es lo que permite obtener rendimientos superiores a la unidad al relacionarla con la energía contenida en la cosecha.

Los elementos considerados dan cuenta del grueso de la energía aplicada por el hombre a las técnicas de cultivo analizadas. Permiten advertir marcadas diferencias, así el cultivo en sustratos reclama entre tres y cinco veces más energía que el enarenado, para obtener por término medio sólo 1tep/ha mas de cosecha que en el enarenado.

De forma general podemos concluir que el cultivo en enarenado, al ser menos exigente en energía y hacer un uso más eficiente de la misma, se revela menos contaminante y más sostenible.

### **2.3 Cosecha: cantidad, calidad y precio.**

Para pasar de la dimensión física de la cosecha a la monetaria de los ingresos necesitamos multiplicar las unidades físicas de producto por sus correspondientes precios. Hay que advertir que los precios de mercado varían con las calidades comerciales, siendo poco sensibles al contenido químico de los productos. Por esta razón el mercado se inclina más por los tomates producidos en sustrato que presentan un mejor aspecto visual. Los mayores contenidos en azúcares y los menores contenidos en nitrógeno que presentan los tomates producidos en enarenado no son valorados aún por el mercado. Con todo debemos advertir que la tendencia que apunta a valorar más los productos de la agricultura “biológica” o “ecológica” frente a la química podría jugar a favor del enarenado en el futuro.

Los precios de las hortalizas varían a lo largo del año. Por ello, no debemos obviar la distribución de la cosecha a lo largo del ciclo de cultivo, así como la evolución temporal de los precios para las distintas calidades.

Los gráficos 1 y 2 muestran como al comparar los rendimientos diarios de los sustratos y del enarenado se produce una asimetría en su comportamiento. Los sustratos entran antes en producción y a partir de un momento del ciclo de cultivo empiezan a decaer. Para el ciclo de cultivo analizado, los sustratos entran en producción antes que el enarenado, pero su rendimiento diario al final es bastante menor en cantidad y calidad. Por el contrario el enarenado es menos precoz, pero mantiene un crecimiento sostenido hasta casi el final del ciclo donde su rendimiento diario decrece. Los precios evolucionan de forma paralela en los sustratos y en el enarenado, siendo unas 10 pta/kg mayor en los tomates cultivados en sustrato. Al final del ciclo de cultivo el precio percibido por la cosecha en el enarenado supera al de los sustratos. La mayor precocidad de los sustratos ha resultado estéril, a efectos de precios, dado que durante la primera mitad del ciclo los precios son inferiores a los de la segunda mitad.

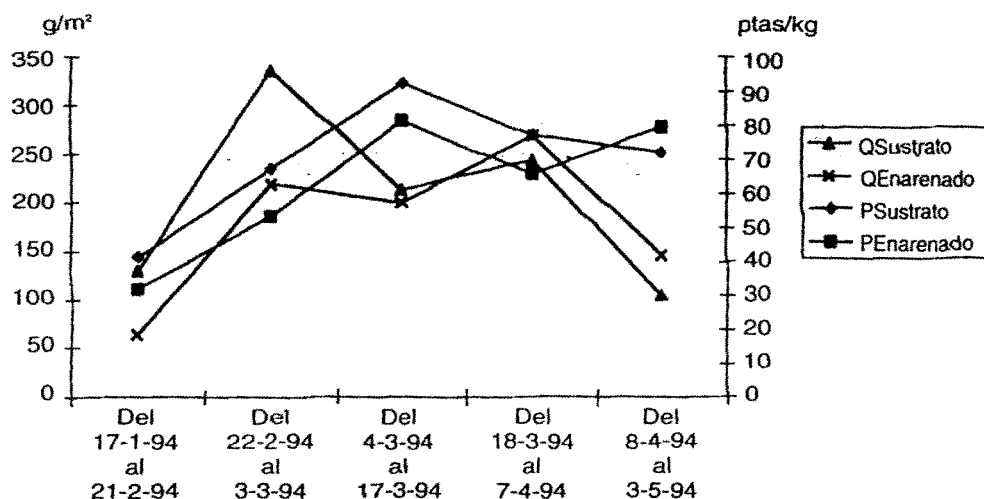


Gráfico 1.- Evolución de los rendimientos y del precio de la cosecha en los sustratos y en el enarenado. Agua de 0,5dS/m (Q=cantidad y P=precio). Fuente: López-Gálvez y Naredo (1996).

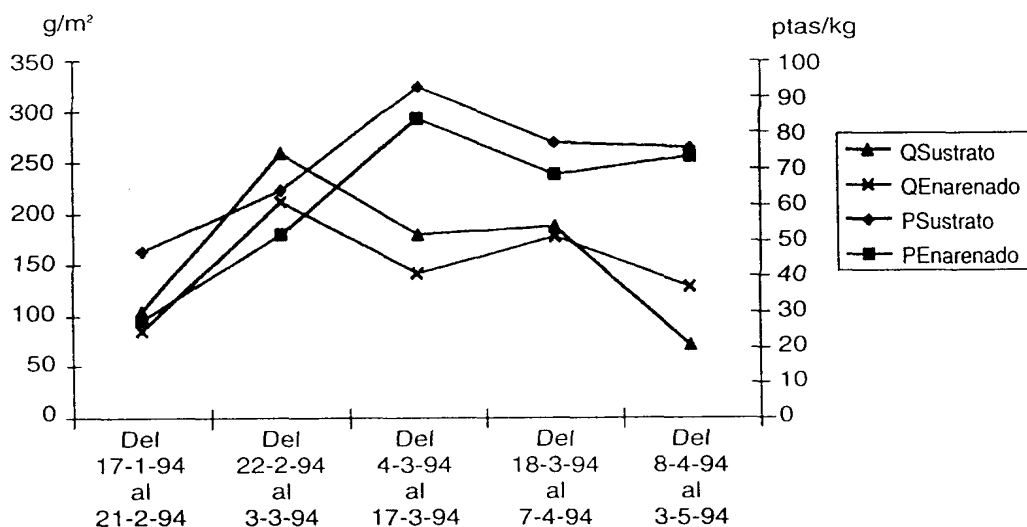


Gráfico 2.- Evolución de los rendimientos y del precio de la cosecha en los sustratos y en el enarenado. Agua de 3,0dS/m (Q=cantidad y P=precio). Fuente: López-Gálvez y Naredo (1996).

## 2.4 Rentabilidad financiera.

El análisis de la rentabilidad financiera se debe realizar considerando distintas alternativas de inversión. En nuestro caso vamos a considerar las que aparecen en el cuadro 6. Podemos apreciar que en el marco del análisis físico, el número de opciones que hemos analizado se reduce a cinco, mientras que en el análisis monetario se eleva a once que son las que siguen:

- ✓ El enarenado existe y sólo se realiza la operación de retranqueo (aporte de 10kg/m<sup>2</sup> de estiércol). Este es el caso E<sub>1</sub>.

- ✓ La finca dispone de suelo agrícola, pero hay que aportar estiércol y arena para construir el enarenado. Este es el caso E<sub>2</sub>.
- ✓ La finca no dispone de suelo agrícola, precisando de roturado, aportación de tierra y aportación de estiércol y arena para construir el enarenado. Este es el caso E<sub>3</sub>.
- ✓ Los sustratos se valoran a precios de mercado y se ha considerado los dos sistemas de riego mas utilizados en las fincas que disponen de esta técnica de cultivo.

Las dos opciones de inversión de los sustratos responden a la posibilidad de instalar uno u otro

Cuadro 6.- Alternativas de inversión.

Suelo	análisis físico	análisis monetario
ENARENADO	E	E <sub>1</sub>
		E <sub>2</sub>
		E <sub>3</sub>
SUSTRATOS	A	AR <sub>1</sub>
	B	AR <sub>2</sub>
	C	BR <sub>1</sub>
		BR <sub>2</sub>
	D	CR <sub>1</sub>
	CR <sub>2</sub>	
		DR <sub>1</sub>
		DR <sub>2</sub>

equipo de riego. El precio de los mismos depende del grado de automatización de la cabeza del sistema, sin que ello tenga que afectar, en adecuadas condiciones de manejo, a la calidad del riego mismo, ni a la cosecha permaneciendo los gastos e ingresos corrientes del cultivo invariables en estas opciones.

El cuadro 7 resume el importe y los años de vida útil de las inversiones consideradas. Éste se

Cuadro 7.- Coste de la inversión (10<sup>3</sup>pta/ha) y vida útil (años).

Inversión	Coste	Vida útil	Equipo de riego	Vida útil
A	1.526	2	1.750-4.000	7
B	1.526	2	1.750-4.000	7
C	1.800	2	1.750-4.000	7
D	1.380	2	1.750-4.000	7
E	1.000-5.700	3-17	1.000	7
Roturado	0-1.000	40		
Tierra	0-1.700	20		
Estiércol	1.000	3		
Arena	2.000	10		
C.I.	8.000	20		
O.C.	1.500	40		
C.T.	7.000	40		

Fuente: López-Gálvez y Naredo (1996). Notas: Para el coste de la inversión se han tomado precios correspondientes a la campaña 1992/1993. C.I.: coste invernadero. O.C.: obra civil. C.T.: compra tierra.

completa con los epígrafes relativos a compra de tierra, coste del invernadero y obra civil. De esta manera, al completar las inversiones, se conseguirá conocer los índices de rentabilidad calculados para la explotación en su conjunto.

El desglose de inversión realizado permitirá responder, con los datos de la cosecha y su precio, a tres cuestiones que son prioritarias sobre la rentabilidad financiera que guía la opción entre enarenado y sustrato. Una primera pregunta a contestar es la de hasta qué punto interesa financieramente introducir sustratos para sustituir un enarenado cuando sólo se requiere la inversión en retranqueo (E<sub>1</sub>). Una segunda pregunta a contestar es la de hasta qué punto interesa financieramente introducir sustratos para sustituir un enarenado degradado, cuya restauración

requiere de las labores de retranqueo y aporte de arena ( $E_2$ ). Y una tercera pregunta plantea si interesa más introducir sustratos o implantar el enarenado con aporte de suelo agrícola cuando se carece de éste ( $E_3$ ).

Las respuestas a las preguntas anteriores se apoyan en los rendimientos, los precios y los costes de mercado obtenidos durante el ciclo de cultivo analizado. Una vez identificados el coste de cada alternativa de inversión, los años de vida útil que se le atribuyen y los flujos anuales de ingresos netos de cada una de ellas, se procede a calcular sus correspondientes tasas internas de rendimiento (TIR), como índices significativos de cada hipótesis de inversión considerada. Este cálculo se ha realizado de dos maneras. Por una parte, incluyendo sólo la inversión en enarenado o sustrato y sus correspondientes equipos de riego, bajo el supuesto que estuviesen amortizadas y funcionando el resto de las instalaciones del invernadero. Por otra, incluyendo los elementos básicos de inversión referenciados en el cuadro 15 que reclama la completa puesta en marcha de la explotación.

Una vez calculadas la rentabilidad que se deriva de los ingresos y gastos a los precios de mercado, cabe preguntarse hasta qué punto las administraciones pueden orientar las decisiones de los agricultores hacia proyectos más sostenibles o ambientalmente más saludables. Esto mediante alteraciones del marco institucional que modifiquen los actuales escenarios de precios y costes. Siendo la sobreexplotación y contaminación y contaminación de los acuíferos el principal problema, del área donde se ha realizado el trabajo, se ha optado por valorar la externalidad negativa. Para ello se ha imputado una estimación del coste que supondría producir dicha agua mediante desalación del agua del mar. Al sumar a los costes ordinarios el coste de esta función desaladora, que hasta ahora ha venido realizando la naturaleza gratuitamente, se puede apreciar hasta qué punto el uso más o menos eficiente del agua que hacen los sistemas de cultivo alteran su rentabilidad.

La externalidad negativa derivada de los residuos sólidos de los sustratos desechados, se ha valorado por el coste de traslado a vertedero de dichos residuos. La abundancia y la poca valoración del suelo en áreas desérticas, como es buena parte de Almería difícilmente permiten imputar costes de vertedero capaces de modificar de forma sustancial los actuales costes de cultivo.

Los cuadros 8 y 9 muestran los resultados que permiten enjuiciar la rentabilidad de las distintas alternativas de inversión consideradas para las dos salinidades de agua aplicadas. El análisis de la inversión y de los gastos corrientes muestra como la rentabilidad del capital destinado a los gastos corrientes (columna C) es mayor en el enarenado que en los sustratos, en el caso del tratamiento con agua N, mientras que con agua S los sustratos A y B se comportan mejor que el enarenado y éste mejor que los sustratos C y D. Por otra parte la inclusión de las externalidades (coste de desalación del agua y traslado de los sustratos desechados a vertedero) eleva los gastos corrientes hasta el 18% en el enarenado y algo más del 30% en los sustratos para el tratamiento N.

Las TIR, correspondientes a cada opción de inversión, permiten responder a cada una de las preguntas anteriormente planteadas. La primera columna numérica del cuadro contiene las TIR para la inversión parcial en suelo o sustrato y equipo de riego. La segunda para la inversión total de implantación del sistema de cultivo. La información referida al tratamiento N se complementa con el cálculo de las TIR cargando en concepto de externalidades los gastos de desalación del agua utilizada y de traslado a vertedero de los residuos de sustrato.

Respondiendo a las preguntas por el mismo orden que se plantearon.

En primer lugar, podemos decir que, para el cultivo analizado, no resulta financieramente interesante sustituir por sustratos un enarenado que esté sólo pendiente de la labor de retranqueo.



En segundo lugar, que sólo interesaría sustituir un enarenado necesitado de retranqueo y aportación

Cuadro 8.- Análisis de la inversión y de los gastos corrientes de cultivo (cifras en  $10^3$  pta/ha).

Agua	1	2	3	A	B	C	D	F
N	E <sub>1</sub>	476		10.834	3.949	3,10	4.119	2,63
	E <sub>2</sub>	676		10.834	3.949	3,10	4.119	2,63
	E <sub>3</sub>	1.401	100,0	10.834	3.949	3,10	4.119	2,63
	AR <sub>1</sub>	1.628	116,2	13.141	4.650	2,83	6.273	2,09
	AR <sub>2</sub>	1.949	139,1	13.141	4.650	2,83	6.273	2,09
	BR <sub>1</sub>	1.628	116,2	13.311	4.493	2,96	5.892	2,26
	BR <sub>2</sub>	1.949	139,1	13.311	4.493	2,96	5.892	2,26
	CR <sub>1</sub>	1.765	126,0	14.486	4.685	3,09	6.209	2,33
	CR <sub>2</sub>	2.086	148,9	14.486	4.685	3,09	6.209	2,33
	DR <sub>1</sub>	1.555	111,0	13.047	4.451	2,93	5.801	2,25
DR <sub>2</sub>	1.876	133,9	13.047	4.451	2,93	5.801	2,25	
S	E <sub>1</sub>	476		8.726	3.197	2,73	3.822	2,28
	E <sub>2</sub>	676		8.726	3.197	2,73	3.822	2,28
	E <sub>3</sub>	1.401	100,0	8.726	3.197	2,73	3.822	2,28
	AR <sub>1</sub>	1.628	116,2	11.397	4.006	2,84	5.252	2,17
	AR <sub>2</sub>	1.949	139,1	11.397	4.006	2,84	5.252	2,17
	BR <sub>1</sub>	1.628	116,2	11.666	4.157	2,81	5.567	2,10
	BR <sub>2</sub>	1.949	139,1	11.666	4.157	2,81	5.567	2,10
	CR <sub>1</sub>	1.765	126,0	9.803	4.028	2,43	5.666	1,73
	CR <sub>2</sub>	2.086	148,9	9.803	4.028	2,43	5.666	1,73
	DR <sub>1</sub>	1.555	111,0	9.951	4.070	2,44	5.742	1,73
DR <sub>2</sub>	1.876	133,9	9.951	4.070	2,44	5.742	1,73	

Fuente: López-Gálvez y Naredo (1996). Notas: 1. Alternativas. 2. Inversión por año de vida útil. 3. Índices de inversión, E<sub>3</sub> = 100. A. Ingresos brutos. B. Gastos sin externalidades. C. A/B. D. Gastos con externalidades. E. A/D.

de arena por sustratos si se optara en éstos por el equipo de riego más barato.

En tercer lugar, que si se carece de suelo fértil interesa más introducir sustratos que implantar el enarenado con aportación de tierra.

Cuadro 9.- Comparación de las TIR

Alternativa	Sustrato+riego N	Total N	Sustrato+riego* N	Total* N	Sustrato+riego S	Total S
E <sub>1</sub>	261,4	-	232,6	-	194,0	-
E <sub>2</sub>	134,6	-	120,0	-	99,4	-
E <sub>3</sub>	81,6	23,5	72,7	20,8	59,8	16,7
AR <sub>1</sub>	199,6	33,1	166,0	26,7	128,7	22,3
AR <sub>2</sub>	118,6	29,1	97,5	23,1	77,4	19,2
BR <sub>1</sub>	189,3	32,1	156,0	26,0	134,4	23,3
BR <sub>2</sub>	113,4	28,2	92,8	22,5	80,8	20,0
CR <sub>1</sub>	182,2	33,5	144,9	26,4	134,2	22,1
CR <sub>2</sub>	111,6	29,5	89,5	23,0	80,0	18,9
DR <sub>1</sub>	186,7	30,9	151,2	24,6	112,7	18,0
DR <sub>2</sub>	110,3	27,1	88,7	21,3	65,4	15,1

Fuente: López-Gálvez y Naredo (1996). Nota: \* las TIR se han calculado incluyendo las externalidades.

La introducción de las externalidades relativas al agua y a los residuos de sustratos, mejora la posición del enarenado, pero no llega a alterar las conclusiones antes avanzadas. Lo cual nos lleva a apreciar que el aumento del precio del agua, o el pago por la evacuación de residuos sólidos, no son instrumentos eficaces para orientar las decisiones de inversión, hacia usos más eficientes y menos contaminantes del agua y de los materiales. Las TIR de la inversión total, mantienen unos valores relativamente aceptables tras cargar las externalidades, lo que deja entrever la posibilidad de que los sistemas de producción intensiva analizados sean capaces de soportar íntegramente los costes de desalación. Posiblemente los actuales o futuros sistemas de obtención de agua desalada mejoren su rendimiento reduciendo el coste de 175pta/m<sup>3</sup> que se ha imputado en este ejercicio (7). En este caso, la liquidación de los acuíferos por sobreexplotación no acarrearía la desaparición de esta

agricultura, pero si ocasionaría un problema de equidad intergeneracional: la generación actual se beneficiaría de la sobreexplotación de los acuíferos en perjuicio de las generaciones futuras, que tendrían que sufragar el coste de la desalación para seguir con la actividad agraria.

## 2.5 Conclusiones experimentales

El trabajo experimental analizado en este apartado nos permite concluir lo que sigue:

- a) Recursos y residuos. La diferencia en los materiales utilizados y en los procesos, de obtención, fabricación y transporte, para la implantación del enarenado y de los sustratos es notable. El enarenado exige disponer cantidades importantes de materiales, relativamente abundantes y, por lo tanto, de bajo valor unitario: tierra, arena y estiércol. Los sustratos no son el resultado de una actividad extractiva directa, ni constituyen un subproducto, sino que para su fabricación se precisa de rocas volcánicas que hay que someter a procesos industriales muy exigentes en energía. El cultivo enarenado hace un uso más eficiente del agua requiriendo entre 21 y 25L/kg de cosecha, en la campaña 93/94, mientras que los sustratos precisaron entre 44 y 67L/kg. Igual sucedió con los fertilizantes minerales, ya que en la campaña antes citada, al enarenado se aportó 1,2t/ha mientras que los sustratos recibieron entre 5,5 y 7,9t/ha.
- b) Contaminación. Los sustratos han mostrado mayores índices de contaminación que el enarenado debido a:
  - ✓ Las diferencias en los procesos de extracción, fabricación, transporte e instalación.
  - ✓ Las distintas cantidades de fertilizantes lixiviados.
  - ✓ Los residuos generados al finalizar la vida productiva de los sustratos.
- c) Balances energéticos. Los sistemas de cultivo analizados ofrecen marcadas diferencias en el rendimiento energético, que es favorable al enarenado. Estas diferencias reflejan la distinta eficiencia de los sistemas en el aprovechamiento de los recursos.
- d) Cosecha. Los sustratos, por lo general, ofrecieron mayor precocidad, cantidad y calidad comercial de la cosecha. El resultado anterior ha tenido su influencia en el precio, que ha sido mayor en los frutos de los sustratos, a pesar de contener menos azúcares y más nitrógeno que los frutos del enarenado. No obstante cabe resaltar que la tendencia, de los consumidores, a valorar más los productos de la agricultura *ecológica* o *biológica* frente a la *química*, debería aprovecharse a favor del enarenado, en la medida en la que se resalte el elevado componente orgánico de este sistema de cultivo.
- e) Rentabilidad financiera. Los sustratos ofrecen mejores tasa internas de rendimiento, salvo en el caso de un enarenado que esté pendiente de la labor de retransplante. El cálculo de la rentabilidad incluyendo las externalidades (precio del agua a 200pta/m<sup>3</sup> y gastos de transporte de los residuos a vertedero) mejoran la posición relativa del enarenado, pero no llegan a alterar las conclusiones, cuando se carece de suelo agrícola

## 3 Conclusiones generales

### 3.1 Metodológicas.

La riqueza de información que ofrece el enfoque global (ver apartado 7 de los aspectos teóricos), al analizar técnicas de producción de tomate (en enarenado y en sustratos), nos muestra cómo la realidad, aún en este caso, es lo suficientemente compleja. Los resultados obtenidos no permiten seleccionar un único óptimo. Las diferencias habidas en las relaciones de rendimiento y de contaminación, por unidad de superficie, de energía, de agua y de materiales empleados, no sólo se contraponen entre ellos, sino también con aquellos otros de la rentabilidad monetaria.

El comportamiento de técnicas de producción aconseja opciones distintas, para situaciones y propósitos diferentes, detectándose, como en el caso analizado en este trabajo, contradicciones entre la rentabilidad privada de los agricultores y el deterioro ambiental ocasionado. En el caso de la comparación entre enarenado y sustratos, el análisis financiero nos indica que el aumento del precio del agua de riego o el pago por el traslado a vertedero de los residuos de los sustratos, no son los instrumentos adecuados para reorientar la decisión de inversión, hacia usos más eficientes y menos contaminantes. Esta situación demanda cambios institucionales y normativas que alteren las actuales reglas de juego del mercado.

La clave de un correcto análisis económico ambiental estriba, como ya se ha dicho, en resaltar las posibles contradicciones observadas entre la eficiencia de los procesos y, muy particularmente, entre sus rendimientos y sus pérdidas, en términos físicos, y su rentabilidad monetaria. La presentación que hacemos de los resultados ofrece información de gran utilidad, para que agricultores y políticos tomen decisiones con conocimiento de causa.

### **3.2 Institucionales.**

Análisis como los propuestos en este documento deben servir para informar al marco institucional, y a los productores, sobre la calidad del medio del medio ambiente y la sostenibilidad de los sistemas agrarios.

El hecho de que los aspectos hídricos, ambientales y territoriales sean más competencia de las administraciones que de los propios agricultores, no quiere decir que éstos permanezcan insensibles a ellos. Antes al contrario, una buena gestión de los mismos exige establecer puentes institucionales, entre ambos extremos y revitalizar la vida social de las organizaciones, permitiendo llenar un vacío hoy evidente: por ejemplo, entre los agricultores y las comunidades de regantes, entre éstas y los usuarios de un acuífero, o entre éstas y la confederación hidrográfica correspondiente.

En cualquier caso, las instituciones encargadas de velar por la sostenibilidad de los sistemas agrarios, por la calidad del medio ambiente y por el territorio, han de regular con conocimiento de causa los mercados del suelo, del agua y, demás, productos y medios de producción agrarios. Dado que todo mercado ha de tomar cuerpo en un marco institucional, mejor será que este marco se diseñe de acuerdo con los recursos naturales y el territorio de la zona. La finalidad debe ser conseguir un uso apropiado y eficiente de los mismos, que revalorice a la vez la calidad ambiental y la de las cosechas.

Desde la perspectiva del uso del agua, territorio y ambiente cabe hacer las siguientes reflexiones:

- a) La menor eficiencia, (en términos económicos y/o de contaminación) que muestran determinados cultivos o determinadas técnicas de cultivo, aconseja la implantación de normativas que obliguen a mejorar el rendimiento y reducir la contaminación.
- b) Un uso tan intensivo del suelo como el que imponen determinados sistemas agrarios, reclama una política de ordenación del territorio y un cuidado más estricto del paisaje que los actuales, si se quiere compatibilizar con la estética y habitabilidad más elemental.

Las extracciones de recursos naturales, que determinadas prácticas de cultivo requieren, hacen necesaria una política territorial que las ordene. Tomemos como ejemplo el suelo enarenado, éste requerirá una ordenación tanto de las extracciones de tierra y arena, como del mercado del estiércol o compost requerido para su formación, en caso contrario estaremos asistiendo a una situación paradójica: una agricultura de invernadero que por ventajas climáticas y por cerrar mejor el ciclo de materiales, tiene un comportamiento más "ecológico" que la situada al norte de los Pirineos y, sin

embargo, por falta de política territorial, ofrece una imagen de deterioro ambiental mucho más grave.

### **3.3 Sobre el sistema agrario del sureste de España.**

El desarrollo tan espectacular que ha permitido la plasticultura, en el sureste español, ha sobrepasado las expectativas más optimistas. La escasez de recursos hídricos, para los agentes implicados, ha pasado a un segundo plano, planteándose problemas de falta de territorio y de mano de obra. El éxito financiero del sistema ha producido efectos de depredación del suelo, dándose la paradoja de que en una zona desértica, éste se haya convertido en un factor limitante.

Además de los problemas arriba comentados, en la zona, existen otros asociados al desarrollo experimentado. Éstos se relacionan con la ordenación del territorio y la conservación de los recursos naturales. Los riesgos de inundación, así como la problemática que conlleva la ocupación de ramblas, por obras de todo tipo, son aspectos que revisten una especial preocupación. La necesidad de infraestructuras es evidente. La contaminación de suelos y acuíferos es patente. La conservación de áreas de alto valor paisajístico o ambiental se han convertido en un lujo que va contra los intereses depredadores de suelo por parte del sistema. En definitiva podemos afirmar que el desarrollo se está realizando a costa de una pérdida patrimonial muy intensa. La multiplicidad de externalidades generadas, en el sistema de producción agraria del sureste español, van a dar paso a un territorio que no será capaz de satisfacer las mínimas necesidades para sustentar vida.

## **4 Bibliografía**

1. Mendizábal, M. 1984. La horticultura forzada en Andalucía Oriental: Historia y evolución, características ecológicas, perspectivas. Comunicación no publicada.
  2. J. López-Gálvez y J.M. Naredo. 1996. *Sistemas de producción e incidencia ambiental del cultivo en suelo enarenado y en sustratos*. Ver, capítulo 1: *El suelo enarenado y los sustratos*. Edita: Fundación Argentaria-Visor (distribuciones/sa)
  3. López-Gálvez, J. y R. Marins Peils. 2.000. *La modernidad del sistema de producción hortícola en el sudeste español*. Revista Platiculture
  4. Bell, F.; Y. Le Pape y A. Mollard. 1978. *Analyse énergétique de la production agricole. Concepts et methods*. INRA-IREP, Grenoble
  5. David y Marcia Pimentel. 1979. *Food, energy and society*. Edward Arnold, Londres.
  6. Gerald, L. 1981. *Energía y producción de alimentos*. Serie Estudios, Mº. de Agricultura y Pesca. Secretaría General Técnica.
- Ojeda, F. 1997. *La desalación del agua del mar para uso agrícola*. La economía del agua en España. Coed. Fundación Argentaria-Visor dis. s.a.

# DENSIDADES DE SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS<sup>©</sup>

Edgar Iván Estrada.

Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Valle.

Apartado Aéreo 237

[eiestrada@palmira.unal.edu.co](mailto:eiestrada@palmira.unal.edu.co)

## 1 Introducción

La expresión del potencial genético productivo de una planta o de una población (un cultivo), está regulada por múltiples factores ambientales que actúan mediante interacciones (genético-ambientales) que se producen a lo largo del ciclo de crecimiento y desarrollo a través de lo que se conoce como “momentos” o etapas fenológicas.

En un agroecosistema productivo, las plantas establecen las relaciones de competencia con sus acompañantes, por espacio aéreo y subterráneo que de alguna manera favorece, regula o limita la disponibilidad de agua, nutrientes minerales, radiación lumínica, gases importantes en las actividades fotosintéticas y fisiológicas (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, etc). También se modifican las variables climáticas en el macro y micro ambiente de crecimiento, como temperatura, humedad relativa, velocidad del viento e higroscopicidad.

Estas variaciones ambientales no solo afectan los individuos objeto de interés en el cultivo, sino también a todos aquellos organismos acompañantes, incluyendo los microorganismos benéficos y patógenos, insectos plagas y de acción regulatoria. Las plantas arvenses (malezas) y otros múltiples seres estrechamente relacionados que de alguna manera influyen en el comportamiento agronómico y en la productividad y calidad de los cultivos. Estrada (2002).

La población “ideal u óptima” de un cultivo no es función única de la densidad de siembra (número de plantas/unidad de siembra), sino también de la distribución o acomodamiento de las mismas en un espacio dado. Si bien el espacio “vital” disponible para cada individuo es importante, también se debe tener en cuenta que dichas plantas van a ser objeto de prácticas de manejo agronómico desarrolladas por el hombre, que correctamente aplicadas deberán promover el desarrollo de los cultivos vigorosos, sanos y productivos. Estrada (2002, 2003)

## 2 Densidades de siembra para especies hortícolas

Cuando se proyecta el establecimiento de un cultivo ya sea en espacios abiertos (aire libre) o en ambientes confinados bajo cubierta (invernaderos), es importante tener en cuenta, además de los recursos básicos para la producción (luz, agua, suelo, sustratos, atmósfera, nutrientes, etc), la

infraestructura acompañante que modifica la utilización y aprovechamiento de dichos recursos. A menudo la población y distribución de las plantas en las siembras se define más en función de la infraestructura de riego disponible (caudales, sistemas de conducción y distribución del agua) que en las mismas necesidades o ventajas productivas del cultivo. En algunos casos, las limitaciones de espacio, la disponibilidad de equipos, maquinaria y herramientas, son las que determinan los tamaños poblacionales y las distribuciones espaciales de los individuos en el campo. Lee (1998), Cooman (2000).

En otros casos, la arquitectura natural del cultivar o las modificaciones que se hagan mediante prácticas de manejo (aporques, deshijes, podas, embolsados, amarres, etc) son las que definen cuál es la población más adecuada y cómo deben distribuirse las plantas en los espacios de cultivo. Estrada (2003).

El monitoreo y manejo sanitario de los cultivos, también es un factor determinante en la escogencia de un sistema de siembra. Ante situaciones de alta incidencia de plagas (microorganismos, insectos, plantas arvenses, roedores, aves, etc) son muy importantes las decisiones que determinan la densidad y distribución de las plantas que permite el manejo oportuno de estos problemas, tanto para el seguimiento de la dinámica del mismo como para la ejecución de las prácticas que permiten su prevención y control.

Los sistemas de cosecha y manejo de postcosecha (transporte, acondicionamiento, beneficio, almacenamiento) son importantes también en la escogencia de un diseño de siembra. Las siembras en tablones o secciones regulares con espaciamientos de recibo, acopio y carga fijos, son útiles en sistemas productivos intensivos en donde las operaciones mecanizadas predominan y el producto es cosechado, acondicionado y empacado “in situ”. En contraste, con siembras donde el producto una vez cosechado es llevado a un centro de acopio, para someterlo a las operaciones de postcosecha en la cual no se exigen lotes regulares e el campo de siembra. Escobar y Lee (2001).

Una “buena siembra”, es aquella que permite obtener una población de plantas deseada, con crecimiento sano, uniforme y vigoroso. También es aquella que se ajusta o acomoda a las necesidades, condiciones y exigencias de los sistemas de cultivo (campo abierto o invernadero).

Las semillas de hortalizas son generalmente pequeñas, irregulares en su forma, tamaño y textura. Presentan embriones muy pequeños y frágiles que a menudo poseen estructuras esenciales y de reserva que exigen cuidados especiales durante los procesos de germinación y emergencia de las plántulas. Estas semillas también son de alto costo, sobre todo cuando su origen genético es híbrido.

Las características anteriores, indican que la propagación de estas especies hortícolas debe hacerse con los máximos cuidados para lograr un eficiente aprovechamiento del alto Índice de Semilla (Número de semillas/unidad de peso) característico en ellas. De esta forma se pueden obtener poblaciones de plantas deseadas y disponibles para distribuir uniformemente en los espacios de producción de acuerdo a las planificaciones y proyecciones de siembra y cosecha.

Los rendimientos unitarios de cada planta o de cada unidad de superficie sembrada pueden sufrir modificaciones en función de las densidades de siembra, la distribución de las plantas en los espacios y el manejo agronómico dado al cultivo. Estrada y Vallejo (2002).

Las relaciones fisiológicas que se establecen entre componentes productivos en una planta, modifican la expresión de los rendimientos. Las competencias intra- poblacionales (altas o bajas densidades de siembra) y las intra-estructurales (aumentos o disminuciones del número de estructuras vegetativas o reproductivas) permiten generar modificaciones deliberadas por el agricultor con el fin de lograr cosechas óptimas para los diferentes mercados.

A menudo los tamaños de los frutos, hojas, tallos y raíces en un cultivo hortícola, pueden ser parcialmente modificados por la densidad y distribución de las plantas así como la arquitectura dada a la misma a través de labores de manejo agronómico. Bleasdate (1967).

Las investigaciones realizadas por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), en el Programa de Hortalizas durante los años 1973–1984, cómo las realizadas por Palacios y Jaramillo (1986) han permitido obtener datos experimentales que indican las variaciones en los rendimientos y sus componentes de cada especie. De la misma forma se obtuvieron datos referentes a la calidad de los productos en cinco cultivos hortícolas. A continuación se presenta un resumen de algunos de los resultados de mayor importancia, en cada especie hortícola, encontrados por dichos autores.

## 2.1 Ajo, *Allium sativum*

Se encontró que los rendimientos se incrementaron con el aumento de las densidades de siembra pero el peso promedio de los bulbos disminuyó proporcionalmente (Tablas 1 y 2). De acuerdo con estos resultados, aparentemente la densidad mas adecuada, en cuanto a rendimiento (ton/ha) y tamaño de bulbo (g/bulbo), fue de 20 – 30 cm entre surcos y 10 cm entre plantas para una densidad aproximada de 333333 plantas por hectárea que equivale a 700 Kg de semilla (bulbillos/ha)

Tabla 1. Rendimiento y peso promedio de bulbos de ajo para 9 densidades

TRATAMIENTO Surcos X Sitio (cm)	POBLACIÓN # Plantas/ha	RENDIMIENTO Ton /ha	PESO·BULBO (g)
5* 5	4*10 <sup>6</sup>	16.8	8.0
10* 5	2*10 <sup>6</sup>	15	10.4
10*10	1*10 <sup>6</sup>	13.5	17.6
20*5	1*10 <sup>6</sup>	5.43	10.9
25*15	2.7*10 <sup>5</sup>	4.68	13.5
30*5	6.7*10 <sup>5</sup>	5.54	14.7
20*10	5*10 <sup>5</sup>	4.99	16.6
25*10	4*10 <sup>5</sup>	2.74	16.6
20*15	3.4*10 <sup>5</sup>	3.96	16.2

Tabla 2. Respuesta del ajo a 5 densidades de siembra.

DISTANCIA Surco X Sitio (cm)	POBLACIÓN # Plantas/ha	RENDIMIENTO COMERCIAL Ton /ha*	PESO PROMEDIO PLANTA kg
15*10	666666	22.5	0.245
20*10	500000	16.8	0.313
25*10	400000	12.1	0.226
30*10	333333	12.1	0.296
35*10	285000	9.6	0.239

\* Peso del bulbo más follaje seco

## 2.2 Cebolla, *Allium cepa*

La tabla 3, resume los datos experimentales obtenidos con el híbrido Yellow Granex evaluado bajo condiciones del Valle del Cauca. Las mayores producciones se lograron a la distancia de 26 y 30 cm entre surcos y 5 – 10 cm entre plantas con un alto porcentaje de bulbos comerciales (>80 gramos/bulbo)

Tabla 3. producción del híbrido Yellow Granex con diferentes densidades de siembra

DISTANCIA Surcos X Planta (cm)	POBLACIÓN # Plantas/ha	PESO X BULBO g	PRODUCCIÓN Ton /ha
26*5	769232	45	16.4
26*7	549451	50	17.8
35*5	571428	51	14.9
35*7	408162	53	13.7

### 2.3 Haba, Vicia faba

Los promedios del rendimiento de las diferentes partes aéreas se presentan en la Tabla 4. Estos resultados indican que la planta de haba, tiene una marcada plasticidad en respuesta a las variaciones de densidad de siembra. En efecto, las variaciones observadas en los rendimientos son más pequeñas que las diferencias en las poblaciones de plantas.

Se presenta una asociación marcada entre el número de plantas por metro cuadrado con diferencias significativas entre bajas y altas densidades. Los mayores rendimientos en peso seco total y en las otras estructuras morfológicas se obtuvieron en las densidades de 40 – 50 plantas/m<sup>2</sup>.

Tabla 4. Peso Seco promedio de partes aéreas de la planta de haba en plantas y en unidad de área

	<b>Tratamiento Plantas / m<sup>2</sup></b>	<b>Peso seco total (g)</b>	<b>Peso seco de tallo (g)</b>	<b>Peso seco de hojas (g)</b>	<b>Peso seco de vainas (g)</b>	<b>Índice de cosecha</b>
Valores/m <sup>2</sup>	10	1.038 a	447 a	116 a	475 a	46 a
	20	1.097 a	445 a	113 a	524 a	48 a
	30	1.726 ab	781 ab	159 ab	785 ab	46 a
	40	2.477 b	1.038 b	221 b	1.219 b	49 a
	50	2.311 b	959 b	258 b	1.094 b	47 a
Valores/ planta	10	103.8 a	44.7 a	11.56 a	47.5 a	
	20	54.8 b	22.7 b	5.55 b	26.2 b	
	30	57.5 b	26.0 b	5.28 b	26.2 b	
	40	61.9 b	26.0 b	5.52 b	30.5 b	
	50	46.2 b	19.2 b	5.16 b	21.9 b	

Tabla 5. Efecto de la densidad en los componentes del rendimiento en haba.

<b>Tratamiento Plantas / m<sup>2</sup></b>	<b># Tallos/ Planta</b>	<b># Vainas/ Tallo</b>	<b># Vainas/ Planta</b>	<b>Peso seco 100 sem (g)</b>	<b># Semillas/ Vaina</b>	<b>Peso seco semillas/ planta (g)</b>
10	4.27 a*	7.12 a	32.1 a	526.6 a	3 a	47.5 a
20	2.52 b	6.51 a	16.6 b	522.0 a	3 a	26.2 b
30	2.56 b	6.94 a	17.6 b	502.2 a	3 a	26.2 b
40	3.16 b	6.40 a	20.2 ab	528.6 a	3 a	30.5 ab
50	2.16 b	6.11 a	13.4 b	535.2 a	3 a	21.9 b

\*Promedios con letras iguales no difieren al 5 % de error experimental

Las expresiones fenotípicas en componentes del rendimiento sufren variaciones como resultado de modificaciones en las densidades de siembra. La Tabla 5 muestra los valores obtenidos en los diferentes componentes del rendimiento en relación con las diferentes densidades de siembra. Como se puede observar, el incremento en la densidad de siembra resulta en una reducción de la ramificación, en el número de vaina/planta. Se presentaron ligeros cambios en el número de vainas/tallo, tamaño de semilla y número de semillas/vaina.

### 2.4 Remolacha, Beta vulgaris

La respuesta de la remolacha cultivar “Crosby's Egiptian” a diferentes sistemas de siembra puede observarse en la Tabla 6.

Tabla 6. Respuesta de la remolacha a varios sistemas de siembra

<b>SISTEMA</b>	<b>RENDIMIENTO EN Kg</b>			
	1978 B	1979 B	Promedio 2 años	Peso promedio raíz (g)
Hileras a 45 cm	20.066	39.380	29.720 b	272.6 a
Hileras dobles a 30 cm	26.977	33.840	30.400 b	226.0 b
Al voleo	31.952	31.604	31.778 b	186.1 b
Hileras longitudinales en eras	33.221	39.956	36.085 a	183.1 b
Hileras perpendiculares en eras	27.066	40.232	33.649 b	194.5 b

\*Promedios con letras iguales no difieren al 5 % de error experimental



En cada sistema se utilizó la misma cantidad de semilla, equivalente a la utilizada comercialmente por los agricultores de 6 Kg/ha y distancias entre plantas de 10 cm.

El sistema de siembra en hileras fue superior a la siembra al voleo. La distancia de 30 cm entre surcos y 10 cm entre plantas arrojó los mayores rendimientos y el mayor peso promedio de raíz en los experimentos realizados, Tablas 7 y 8.

Tabla 7. Rendimiento de la remolacha "Crosby's Egiptian" con varios sistemas de siembra (Kg/ha)

SISTEMAS	1981 A	PROMEDIO 1978 A - 1979 B	PROMEDIO 3 AÑOS
Hileras a 45 cm	24.857 b	29.720	27.288
Hileras dobles a 30 cm	18.650 c	30.400	24.525
Al voleo	32.575 a	31.778	32.176
Hileras longitudinales en eras	30.857 ab	36.085	33.471
Hileras perpendiculares en eras	24.009 bc	33.644	20.279

\*Promedios con letras iguales no difieren al 5 % de error experimental

Tabla 8. Peso en gramos de raíz obtenidos con diferentes sistemas de siembra.

SISTEMA	1980 B	1981 A
Hileras a 45 cm	164	120 a
Hileras dobles a 30 cm	152	118 a
Eras al voleo	171	106 a
Hileras longitudinales en eras	172	95 a
Hileras perpendiculares en eras	167	84 a

\*Promedios con letras iguales no difieren al 5 % de error experimental

## 2.5 Repollo, Brassica oleracea Var Capitata

Los ensayos en repollo evaluaron no solo los rendimientos, sino también las características que conforman la calidad de las cabezas.

Tabla 9. Resultados obtenidos al sembrar repollo bajo diferentes distancias de siembra

Distancias cm Surcos*plantas	# Total plantas 2 repeticiones	Peso ξ 20 repollos	Peso ξ Por repollo
30*40	129	36.5	1.82
30*60	100	46.4	2.32
60*20	242	39.0	1.95
60*40	143	42.5	2.12
60*60	96	53.3	2.66
Doble a:30*30	151	36.4	1.82
Doble a:30*50	106	40.3	2.01
Doble a:30*60	77	40.1	2.00

Un estudio que evaluó el comportamiento de tres cultivares comerciales a diferentes distancias de siembra y poblaciones, permitió establecer que la distancia de 40 X 40 cm entre surcos y plantas, presentó los más altos rendimientos totales, pero con diferentes calificaciones de calidad de las cabezas en los tres cultivares, predominando la calidad baja (No. 3). La importancia de la calidad de las cabezas está en función de las exigencias de los mercados. Si la demanda se inclina por cabezas de tamaño mediano (1.5 Kg), el cultivar Copenhagen Market se vería favorecido, además que mostró muy buena uniformidad. Combinando rendimiento y calidad de las cabezas, las distancias de 60 X 50 cm (entre surcos y plantas respectivamente), sería la más adecuada para la Variedad Esmeralda Cross y la de 50 X 70 cm (Surco X Planta) para la Variedad Bola Verde.

En otro ensayo, se trabajó con la Variedad Esmeralda Cross evaluando ocho distancias de siembra. Como se observa en la Tabla 9, el mayor número de plantas se obtuvo en las distancias 60 X 20 cm entre surco y planta respectivamente con un peso promedio de 1.95 Kg por cabeza. El mayor peso promedio de cabeza (2.66 Kg) se obtuvo a la distancia 60 X 60 cm. de acuerdo con las exigencias del mercado, el tamaño adecuado de cabeza debe estar entre 1.5 - 2.0 Kg, los cuales se obtienen con distancias entre 20 y 60 cm ente plantas y surcos.

## 2.6 Tomate, *Lycopersicon esculentum*

El tomate es uno de los cultivos de mayor investigación en agronomía. En Colombia, la investigación principalmente se ha enfocado a evaluar el comportamiento en cultivares para consumo fresco con crecimiento indeterminado (Tipos "Chonto") y crecimiento determinado (Tipos Milano), tomates de mesa o ensalada.

Tabla 10. Distancias entre surcos y número de plantas/ha para dos sistemas de siembra en tomate.

Distancia surcos sencillos (m)	Distancia surcos dobles (m)	# plantas/ha
0.45	0.60	44444
0.60	0.90	33333
0.75	1.20	26666
0.90	1.50	22222
1.05	1.80	19048
1.20	2.10	16666

Tabla 11. Producción para la interacción sistema de siembra x distancia de surco en tomate.

SURCO SENCILLO (m)	RENDIMIENTO (t/par 1)	SURCO DOBLE (m)	RENDIMIENTO (t/par 1)
0.45	8.89	0.60	3.87
0.60	1.74	0.90	5.55
0.75	4.82	1.20	5.50
0.90	3.69	1.50	4.28
1.05	2.85	1.80	2.11
1.20	1.18	2.10	3.33
	ξ 3.86		ξ 4.10

<sup>1</sup> Parcelas de 1200 m<sup>2</sup>

Tabla 12. Efecto de las distancias entre surcos y plantas sobre algunas características de dos variedades enanas de tomate para industria. Palmira, 1977.

Distancias (cm)	Varietal	Frutos picados* (%)	Producción (tn/ha)	Peso ξ frutos (g)	Sólidos solubles (%)	acidez
Entre surcos:						
60	KT-235	18.4	17.69	64.22	3.51	0.61
60	KT-278	23.1	23.38	43.10	3.91	0.45
90	KT-235	23.0	17.86	67.79	3.61	0.54
90	KT-278	21.7	28.06	47.95	3.90	0.40
120	KT-235	15.5	15.21	70.49	3.66	0.52
120	KT-278	16.8	26.72	45.09	3.52	0.41
Entre plantas:						
20	KT-235	20.3	17.52	65.98	3.50	0.56
20	KT-278	21.2	27.09	44.69	3.45	0.44
30	KT-235	20.4	17.33	68.73	3.69	0.57
30	KT-278	21.4	27.36	47.75	3.88	0.40
40	KT-235	16.6	15.91	67.78	3.52	0.54
40	KT-278	19.0	23.81	45.09	3.99	0.42

\* Por cogollo

Tradicionalmente se utilizaron las siembras en surcos dobles, pero con el aumento de la incidencia y severidad de las plagas y enfermedades, los agricultores han adoptado las siembras en surcos sencillos. A continuación se presentan algunos de los resultados obtenidos en pruebas de rendimiento con distintos tipos de cultivares.

Las Tablas 10, 11 y 12 muestran los resultados obtenidos en distintas distancias de siembra y poblaciones con un cultivar de consumo fresco Tipo "Chonto".

Los mayores rendimientos en frutos frescos se logra a 1.2 m entre surcos y 0.25 m entre plantas, para una población de 33333 plantas por hectárea y un rendimiento de 11.3 ton/ha, pero con un bajo promedio de fruto (48g); sin embargo el mayor peso promedio de fruto se logró con plantas mas distanciadas (50 cm) y menor densidad de siembra (16666 plantas/ha) con 50.3 g/fruto.

Como se puede apreciar, se presentan distintos tipos de interacciones entre distancias que ocasionan aumentos o disminuciones en rendimiento y en tamaño de los frutos, siendo este un factor muy importante en el mercado.

Con el fin de evaluar los efectos de las densidades de siembra sobre los rendimientos de frutos y semillas, se plantearon algunos ensayos con tomates de consumo fresco para condimentación Tipos Chonto. Los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 13 y 14.

Tabla 13. Rendimiento de frutos obtenidos en tomate, con diferentes densidades.

DISTANCIAS	# PLANTAS / ha	RENDIMIENTO (tn/ha)	PESO DE FRUTOS (g)
Surco*Planta			
60*25	66664	8.0 cd	43.0 c
60*50	33332	7.0 d	44.7 de
60*75	22222	5.2 c	46.0 d
90*25	44444	8.2 cd	41.0 e
90*50	22222	8.6 c	47.8 c
90*75	14814	7.2 d	49.1 bc
120*25	33333	11.3 a	48.0 c
120*50	16666	10.3 ab	50.3 ab
120*75	11111	9.2 bc	51.1 a
Plantas			
25		9.2 a	45.3 c
50		8.6 b	47.3 c
75		7.2 c	49.2 a
Surcos			
60		6.7 c	44.3 c
90		8 b	46.8 b
120		10.3 e	49.7 a

Tabla 14. Rendimiento de semilla e índice. Kilogramos de semilla por tonelada de fruto obtenidos con diferentes distancias entre surcos y plantas con tomate chonto. Tulio Ospina, 1997.

DISTANCIAS (cm)	# Plantas / ha	Kg Semilla / ha	Índice Semilla / t de Fruto
Surco*planta			
60*25	66664	63.2 cd	7.9 a
60*50	33332	53.5 d	7.6 b
60*75	22222	40.1 e	7.7 ab
90*25	44444	63.1 cd	7.7 ab
90*50	22222	62.3 cd	7.0 d
90*75	14814	55.2 d	7.7 ab
120*25	33333	82.6 a	7.3 c
120*50	16666	77.5 ab	7.5 b
120*75	11111	70.5 bc	7.6 b
Plantas			
25		64.5 a	7.6 b
50		64.5 a	7.4 b
75		55.3 b	7.7 a
Surcos			
60		57.3 c	7.7 a
90		60.2 b	7.4 b
120		76.9 a	7.5 b

En la localidad de Tulio Ospina, se logró el mayor rendimiento de frutos y semillas con una distancia de 1.2 m entre surcos y 25 - 50 cm entre plantas. La amplia separación entre plantas favoreció la planta al presentar menos incidencia y severidad de enfermedades foliares y de los frutos, especialmente Tizón Tardío, *Phytophthora infestans*, Pudrición algodonosa *Botrytis cinerea*. De los componentes primarios del rendimiento, el que tuvo mayor influencia sobre la producción de semilla fue el número de frutos/planta, con un coeficiente de correlación de 0.96. El peso promedio de los frutos no presentó correlación significativa con la producción total de semilla/ha ni con la producción de semilla/planta.

Otro trabajo realizado en Santafé de Antioquia, donde se evaluaron dos cultivares y dos sistemas de siembra, se encontró mayor rendimiento de semilla en el sistema de siembra en surcos sencillos

### 3 Estimación de densidades de siembra y necesidades de semilla

Cuando se tiene suficiente información experimental con las variedades comerciales y las condiciones ambientales locales se pueden hacer simulaciones utilizando modelos matemáticos los cuales se ajustan con variables y/o constantes empíricas.

Son conocidas las ecuaciones propuestas por Shinozaki y Kira citado por Bleasdale (1967), las cuales se fundamentan en las relaciones entre el peso de la planta y la densidad de siembra. Posteriormente Holliday (1960), perfeccionó el modelo explicando los cambios parabólicos en función del crecimiento de la planta. Shinozaki y Kira (1956) propusieron el siguiente modelo:

$$W-1 = A + B(P)$$

W = Peso promedio de planta

P = Número de plantas por unidad de área

A y B = Constantes típicas para el cultivo, estimadas con base en pruebas empíricas

Kira et al, citado por Bleasdale (1967) propusieron otra ecuación en función de la relación entre densidad/rendimiento y mostraron que había una relación lineal entre  $\log_{10}$  del peso total de la planta (W) y  $\log_{10}$  del peso total de una parte aérea de la planta ( $W_1$ ), luego:

$$\log W = \log K + Q_1 \log W_1$$

Q y K = Constantes empíricas estimadas con datos experimentales del cultivar específico.

Las distancias entre plantas y surcos pueden ser calculadas a través de las densidades teóricas deseadas. Debe establecerse que relación se desea mantener entre dichas distancias entendiendo que generalmente las separaciones entre surcos son mayores que entre plantas.

Ejemplo:

D = Densidad de plantas/ha

A = Área teórica disponible para una planta

A = Superficie a sembrar/No. de plantas totales a establecer

dp : ds = Relación entre distancias entre plantas y surcos

Las distancias se estiman así:

A planta = Superficie a sembrar / No. Plantas totales

$$A \text{ planta} = ds \times ds \quad ds \text{ y } ds = X$$

Aplanta = (3X) (X)      dp : ds = puede ser 1:1; 2:1; 3:1 etc. Si se escoge la relación 3:1 entonces:

$$A \text{ planta} = 3 X^2 \quad dp = X$$

$$(A \text{ planta} / 3)^{1/2} = X \quad ds = 3X$$

Conociendo el Peso Unidad de la semilla y haciendo los ajustes respectivos por los porcentajes de germinación, pérdida de plántulas y selección puede estimarse las necesidades de semilla. Para sembrar una hectárea de tomate con el cultivar Unapal-Maravilla, con una densidad de 15000 plantas por hectárea que tiene un Peso Unidad de 240 semillas/gramo y una germinación del 90 % con una selección del 85 % se requiere comprar 77 gramos de semilla.

15000 semillas X 1.235 = Semillas requeridas con ajuste de germinación y selección

$$\text{Ajuste} = 1 + [1 - (0.90 \times 0.85)]$$

$$\text{Ajuste} = 1 + 0.235$$

$$\text{No de semillas} = 15000 \times 1.23 = 18000 \text{ semillas}$$

$$\text{Cantidad} = (18000 \text{ semillas}) / (240 \text{ semilla/gramo}) = 77 \text{ gramos. Estrada (2002).}$$


---

#### **4 Bibliografía**

- Bleasdale, J.K. The Relationship Between The Weight Of A Plant Part And Total Weight As Affected By Plant Density. *Jou. Hort. Sci.* 1967. 42, (51-58).
- Castro, Coelho. Density studies of faba bean. *Fabis Newsletter*. 1987. No. 18.
- Cooman, A.. Climatización para producción MIPE. Centro de Investigaciones y Asesorías agroindustriales. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 2000. 68 p.
- Escobar, H.; lee, R. Producción de tomate bajo invernadero. Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Estrada, E.I; vallejo, F.A. Mejoramiento Genético de plantas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. 2002. 402 p.
- Estrada, E.I. Densidades de siembre y necesidades de semillas en algunos cultivos hortícolas. UN – Palmira. Notas de clase, curso de hortalizas. (mimeografiados). 15 p. 2002.
- Estrada, E.I. Evaluación de los rendimientos y la productividad de tomate cultivar UNAPAL – Maravilla bajo cuatro densidades de siembra y tres sistemas de poda. Tesis de grado, Ing. Agrónomo. UN – Palmira. En ejecución. 2003.
- Estrada, E.I. Evaluación del rendimiento y los componentes primarios en los cultivares de zapallo UNAPAL – Mandarino y UNAPAL – Bolo verde bajo cuatro densidades de siembra y tres arreglos poblacionales UN – Palmira, Tesis de grado Ing. Agronómica (en ejecución). 2003.
- Instituto Colombiano Agropecuario. ICA. Informes anuales 1970, 1973, 1980, 1984, 1986, 1990, 1992.
- Lee, R. Cultivos hidropónicos instalación e implementación. Memoria. Serie de cursos de actualización profesional. Centro de investigaciones y asesorías agroindustriales. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 1998. 44 p.
- Palacios, Y.. Manejo de poblaciones y densidades de siembra en hortalizas. Instituto Colombiano Agropecuario. ICA. 1986. 27 p.



# **SISTEMAS DE FERTI-RIEGO**

---





# COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE FERTI-RIEGO<sup>©</sup>

Eduardo Rodríguez Díaz

Departamento de Producción Agrícola CUCBA. Universidad de Guadalajara. México

Km 15 Carretera a Nogales. Las Agujas, Zapopan, Jalisco. México

[erodrigu@maiz.cucba.udg.mx](mailto:erodrigu@maiz.cucba.udg.mx)

## 1 Introducción y Antecedentes

El desarrollo y conocimiento de la tecnología agrícola, los cultivos intensivos, la economía, la escasez de agua y la mano de obra nos obliga a una mayor eficiencia y control en el uso y manejo del riego y la fertilización.

La nueva tecnología del riego se aplica a una gran diversidad de cultivos y se han determinado nuevas condiciones para el riego y distribución del agua; lo que ha requerido introducir modificaciones a la fertilización en lo que se refiere al cuánto, qué, dónde, cuándo y cómo aplicar los fertilizantes.



Foto 1. Venturi instalado en sistema de fertirrigación. Centro de Capacitación en Agricultura Tropical.(CCAT) La Huerta, Jalisco. México. Universidad de Guadalajara



Foto 2. Equipo de Fertirrigación.

Actualmente existe un gran número y muy variables sistemas de fertirrigación. En ocasiones se pueden observar instalaciones que son demasiado simples y no son muy efectivas para los fines que se persiguen. En otros casos se tienen algunos sistemas bastante sofisticados pero su eficacia no es la esperada al ser su operación con una técnica muy limitada.

La apreciación sobre los recursos agua y suelo ha cambiado con los años. Hace muchos años estos recursos eran considerados como abundantes y renovables. Hoy en pleno Siglo XXI, frente a una situación de análisis profundo y de conciencia son reconocidos como los recursos naturales más valiosos y escasos del planeta. Ante tal situación se han adoptado prácticas agrícolas sustentables para conservar el agua y evitar el deterioro de las tierras cultivables.

En aquellos lugares donde la escasez de agua origina competencia por ella ya se están generando conflictos, lo que obligará a tomar decisiones complicadas sobre el uso del líquido

Hablar del ferti-riego implica el hablar del riego por goteo o del riego localizado, ya que la operación del mismo incluye el uso de equipo de fertirrigación.

La práctica del riego por goteo da su origen en la década de los 40 en Inglaterra, pero no fue hasta los años 60 que al involucrarse el plástico polietileno el riego por goteo se desarrolla como una tecnología comercialmente aplicable en Estados Unidos e Israel. A un inicio muchos productores agrícolas no consideraban la práctica del riego por goteo como un sistema práctico que era muy diferente a los tradicionales riegos superficiales o a los ya probados riegos por aspersión. La investigación entre productores, universidades e instancias gubernamentales dan frutos y demuestran las ventajas que proporciona el riego por goteo. (Roberts,C.J. 1999).

El desarrollo y crecimiento de los sistemas de riego localizado se da ante la necesidad de asegurar la disponibilidad de agua y elementos nutritivos para la planta. De la misma manera, al tener un exitoso crecimiento estos sistemas de riego, se inicia un desarrollo tecnológico e investigación sobre diversos productos químicos específicos para la fertirrigación y nutrición vegetal.

## **2 Sistemas de Ferti-riego.**

La microirrigación permite la aplicación de agua directamente en la zona de la raíz en cantidades que se aproximan al requerimiento hídrico de las plantas para cubrir sus necesidades. A través del manejo y aplicación precisa de los sistemas de microirrigación el volumen de humedad en la zona de la raíz puede mantenerse cerca de la capacidad del campo a lo largo del ciclo de cultivo. Esto permite mantener un nivel de agua y aire óptimo para el crecimiento de la planta.

A través de los sistemas de fertirrigación, pueden controlarse los niveles nutrientes que son aplicados con el agua. Las plantas pueden recibir la cantidad exacta de fertilizante requerido en un momento dado. Al colocar los fertilizantes en la zona de la raíz se presenta una reducción de uso de fertilizante con relación al total aplicado por otras formas. Hay una ventaja de la aplicación frecuente de fertilizante, cuando se lava fuera de la raíz, este puede reemplazarse fácilmente a través del sistema de fertirrigación. En general, el uso de sistemas de fertirrigación es más barato, proporciona una buena distribución de nutrientes a lo largo del ciclo de cultivo, y disminuye la contaminación de los mantos freáticos ya que no son lixiviadas altas concentraciones de químicos que ordinariamente originan otras formas de irrigación superficial. Las pequeñas cantidades de fertilizantes colocadas en las camas de producción de cultivos cuando se requieren, no reducen la cosecha por influencia de la concentración salina. Esto es especialmente importante cuando se usa agua de salinidad alta para la irrigación.

Una lista de algunas reglas importantes debe ser considerada al diseñar un nuevo sistema de irrigación de goteo para asegurar la uniformidad alta. Por ejemplo, (Dorota, Z., H. 1996):

---

- a) Espaciamiento del emisor y el gasto que proporciona, que depende principalmente del tipo de cultivo, del tipo de suelo y la fuente de agua.
- b) La longitud de las líneas regantes no debe exceder las recomendaciones del fabricante. Una longitud excesiva originará una baja uniformidad y por consecuencia una irregular aplicación de los fertilizantes; esto se podrá observar al comparar la emisión de los goteros a la entrada del lateral y al final de la misma. Al presentarse esta situación no será recomendable aplicar los químicos a través del sistema de irrigación.
- c) Las líneas regantes deberán clasificarse de acuerdo a su tamaño para evitar pérdidas de presión y velocidades inadecuadas. Las pérdidas de presión excesivas originan diferencias de conducción al inicio y final de la línea regante proporcionando volúmenes de agua irregulares en la trayectoria de la línea.
- d) Las líneas laterales deberán colocarse siguiendo el contorno del terreno, nunca a favor de la pendiente. Esto evita la variación de presión dentro de la línea debido al cambio de elevación. Si los cambios de elevación son significativos a lo largo de la lateral deberán utilizarse emisores autocompensantes.

El sistema deberá instalarse de acuerdo a las especificaciones de diseño para asegurar una uniformidad de aplicación del agua durante todo el tiempo y poder dar un mantenimiento apropiado y evitar las obstrucciones u otros problemas que pueden impactar la distribución del agua y los fertilizantes.

Sin embargo la uniformidad de aplicación del agua, no es un parámetro suficiente para el manejo eficiente del agua de riego y la aplicación de los fertilizantes (Zazueta et al., 1990). Con la intención de conocer a fondo los sistemas de fertirrigación es necesario describir los componentes que lo integran, de esta manera será más fácil operar y realizar las adecuaciones al funcionamiento de los mismos.

## 2.1 Emisores.

Los emisores de un sistema de riego por goteo, son los elementos más importantes a los que se les tiene que poner especial atención. A través de ellos se emiten los volúmenes de agua y nutrientes requeridos en el lugar previamente establecido; estos volúmenes deberán ser distribuidos en caudales bajos con el criterio de que las líneas laterales y terciarias sean de diámetros mínimos y a su vez las longitudes de ellas no deberán ser muy extensas de tal forma que incrementen los diámetros; al observar ambas observaciones se evitará encarecer el sistema.



Grafica 1. Esquema de distribución de agua y sales en el perfil del suelo.

Los emisores disipan la presión que existe en el sistema de tuberías por medio de un orificio de pequeño diámetro, o a través del recorrido del agua por un largo laberinto; de esta manera disminuye la presión del agua y permite su descarga desde el sistema hacia el suelo en gastos mínimos (desde 1 litro por hora). Cuando la gota de agua sale del emisor, el agua y los fertilizantes son distribuidos en el perfil del suelo, de acuerdo a los gradientes de potencial. (Gurovich, R.L., 1999).

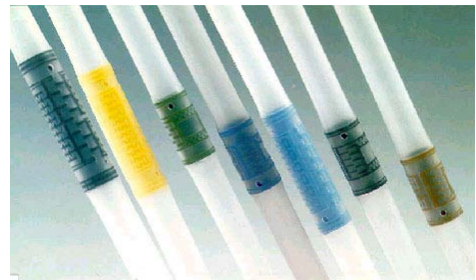
Con el propósito de no afectar la uniformidad del riego, deberán evitarse las presiones bajas en las líneas de emisores. La mayoría de los emisores trabajan a una presión promedio de 10 mca ( $1.0 \text{ Kg/cm}^2$ ), sin embargo, los de caudal alto trabajan a 20 mca ( $2.0 \text{ Kg/cm}^2$ ); las cintas de exudación operan entre 1 y 3 mca (entre  $0.1$  y  $0.3 \text{ Kg/cm}^2$ ), (Pizarro, C.F. 1990).

Algunos de los emisores más comunes que se utilizan para el riego por goteo se describen a continuación:

**Cinta.-** Es uno de los elementos que mas se utilizan para el riego localizado. Son tuberías de plástico polietileno delgado con salidas a distancias cortas. Algunas se fabrican con doble pared, dividiendo la sección en dos cámaras, una de ellas conduce el agua a lo largo de la tubería y la segunda disipa la presión para que el agua se emita gota a gota por los orificios de salida de la cinta. Existen en el mercado cintas que tienen ya moldeados los goteros en la pared.



**Goteros moldeados o preinstalados.-** Estos se integran al interior de la tubería al momento de su fabricación (extrusión). Estos goteros presentan un laberinto por el que recorre el agua disipando su presión hasta salir en forma de gota.



**Goteros de inserción.-** Este tipo de goteros se instalan en las tuberías de polietileno gruesas fabricadas en baja o alta densidad. Existe una gran variedad de emisores para fines diversos. Antes de instalar estos emisores la tubería debe ser lavada y drenada para desalojar todo material que pueda taparlos y evitar problemas que impidan su buen funcionamiento.



**Tubería de exudación.-** Las cintas de exudación son tuberías de material poroso que distribuyen el agua de forma continua a través de los poros, lo que da lugar a la formación de una franja continua de humedad, que las hace muy indicadas para el riego de cultivos en línea. Las presiones de trabajo son menores que las de los goteros: 2-3 m.c.a., e incluso escasos decímetros de presión. El régimen de trabajo suele ser laminar.



### 2.1.1 Selección del emisor.

El seleccionar adecuadamente el emisor es una decisión importante del diseñador de sistemas de micro irrigación, ya que puede influir en otros elementos del sistema y en las prácticas de operación del riego o fertirrigación.

Debido al conflicto que se presenta entre generar la pérdida de carga y mantener la sección hidráulica de emisor lo mayor posible para evitar taponamientos. Las condiciones impuestas por la calidad del agua, aspectos de control de calidad de fabricación. Los efectos de la variación de la temperatura, y la distribución del agua en el suelo, la selección del emisor son mas un arte que una decisión que se puede tomar en términos meramente técnicos, (Zazueta, R.F. 1992); Sin embargo, al involucrar las soluciones nutritivas para la fertirrigación obliga a pensar en la relación técnica que esta decisión debe llevar.

### 2.1.2 Sensibilidad al taponamiento

La descarga del agua de riego a través de los goteros se realiza disipando la presión originada por el sistema de bombeo. Para ello, el agua pasa por orificios muy pequeños, y debido a las características físicas, químicas y biológicas del agua, aún con un buen filtrado, pueden dar origen a obstrucciones en los emisores. Esto obliga a un mantenimiento continuo. Los aspectos de taponamientos y su tratamiento se discuten mas adelante.

La sensibilidad del taponamiento de un emisor está relacionada a su geometría. Un parámetro utilizado como indicador de la sensibilidad a taponamiento es el diámetro de la sección menor del emisor, es decir, el paso mínimo y la velocidad del agua. En función de su diámetro, se clasifican

Diámetro mínimo (mm)	Sensibilidad al taponamiento
< 0.7	Alta
0.7-1.5	Media
> 1.5	Baja

Tomado de Pizarro,C.F. 1990.



Foto 8. Gotero autorregulado para inserción en polietileno.

los emisores de la siguiente forma: Los emisores de bajo caudal presentan diámetros menores, en estos el riesgo de obturación es mayor. Por otro lado, cuanto mayor es la velocidad, menor será el riesgo de sedimentación; Por tal motivo se prefiere el régimen turbulento al laminar. Se considera que por arriba de 4.5 m/s de velocidad del agua en el emisor disminuye el riesgo de taponamientos por sedimentación, (Pizarro, C.F. 1990).

los emisores de la siguiente forma:

En términos generales se puede decir que los problemas de taponamiento en los sistemas de fertirrigación están íntimamente relacionados con la calidad física, química y microbiológica del agua. A su vez la calidad del agua está relacionada con la fuente de abastecimiento. En consecuencia, las características hidráulicas del emisor a seleccionar dependerán de la capacidad de filtrar y acondicionar el agua de riego.

En términos generales se puede decir que los problemas de taponamiento en los sistemas de fertirrigación están íntimamente relacionados con la

### 2.1.3 Problemas de mantenimiento del emisor

Cuando las aguas de riego presentan una excelente calidad y el manejo químico de las soluciones nutritivas es adecuado, los emisores moldeados a la tubería o cinta de riego son una buena opción. Para instalar la lateral solo bastará desenrollar la tubería con poca mano de obra; de lo contrario, al

presentarse problemas de taponamiento se tiene que cortar la tubería para eliminar el emisor tapado e instalar uniones con el nuevo emisor, condición que resulta cara y requiere mayor mano de obra.

Si los problemas de operación del sistema no son muy frecuentes y la mano de obra es barata, los emisores desarmables son una buena opción, ya que su limpieza resulta viable.

Los emisores desechables de bajo costo, como los de orificio, que pueden ser eliminados cuando se presentan problemas de taponamiento y bajo condiciones de mano de obra barata, serán una adecuada elección.

Si las líneas laterales se usan por uno o dos ciclos de cultivo, las cintas de riego que se desechan en su totalidad por sus características de bajo costo, serán una opción idónea.

Al seleccionar los emisores, se deberán elegir aquellos que están fabricados con materiales de alta calidad y resistir los efectos que originan la temperatura, la luz, la conducción de los productos químicos y tolerar su constante manipulación.

## 2.2 Tuberías

Las tuberías para los sistemas de riego en fertirrigación deberán estar construidas de tal manera que faciliten la conducción del agua, soportar los productos químicos que se inyecten y tolerar las presiones de trabajo. Las tuberías que más se utilizan en los sistemas de ferti-riego son las de PVC (Poli Cloruro de Vinilo) y el PE (Poli-Etileno) en sus diferentes densidades, materiales con los que se ha investigado y desarrollado estos sistemas.

Los materiales con los que se fabrican las tuberías de PVC y PE son mezclados con aditivos, estabilizantes y colorantes; sin embargo existen diferencias en lo que se refiere a su manejo y exposición a la intemperie. El PE presenta algunas ventajas con respecto al PVC, puede ser instalado al aire libre, es flexible y menos frágil. En contraparte el PE es más caro que el PVC, ya que se debe construir con una pared más gruesa que el PVC, de la misma manera los accesorios utilizados en las conexiones de PE son más caros que las de PVC. El Polietileno se ve más afectado por efectos de la temperatura cuando las presiones de trabajo se incrementan.



Foto 9. Tubería de PVC



Foto 10. Tubería de Polietileno para ser utilizada en invernaderos con enarenado en Almería, España

En relación al diámetro, aquellas de 1.5" o mayores preferentemente deberán ser de PVC, ya que son más ligeras y más económicas en relación al PE, normalmente no existen conexiones en el mercado dificultando su ensamble, tal como se mencionó anteriormente.

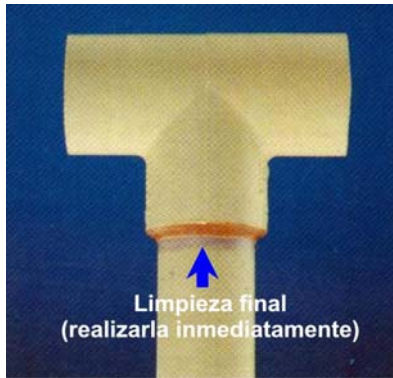


Foto 11. La limpieza final al realizar las uniones en PVC.

Para diámetros de 1.5" o menores podrá utilizarse indistintamente el PVC o el Polietileno, ello dependerá de la disponibilidad local y del costo. Para el caso el PVC se debe tomar en cuenta que para realizar las conexiones se necesita personal especializado, ya que las uniones son cementadas y se necesita mayor cuidado para unir las piezas. En el caso del polietileno generalmente las uniones son de inserción que disminuyen el área hidráulica del tubo exigiendo mayor diámetro, (SARH, 1975).

Las tuberías de menor diámetro a las anteriormente mencionadas, por lo regular se utilizan para líneas regantes.

### 2.3 Filtros

Además de los elementos hidráulicos en el diseño de los sistemas de riego localizado, el funcionamiento y operación de estos sistemas depende en gran parte del origen del agua de riego, su calidad química y el manejo de las soluciones nutritivas. Prácticamente son dos aspectos los que se deben tomar en cuenta para la elección del sistema de filtrado: en el diseño, el tamaño de los conductos o el paso del agua a través de los emisores; en la calidad del agua, las partículas sólidas en suspensión, el precipitado químico y los contenidos microbiológicos.

Los precipitados que se originan por las reacciones de las sustancias contenidas en el agua de riego y los fertilizantes aportados en la preparación de las soluciones nutritivas son causantes de obstrucciones lentas. Estas deben preverse al inicio de la operación del sistema, ya que al final los problemas serán de consecuencias graves. Esto implica el tratamiento químico de las aguas y el posterior filtrado.

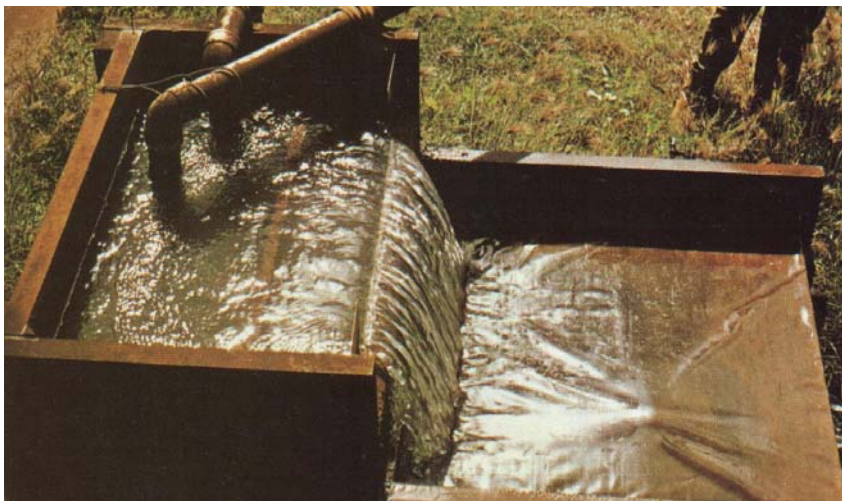
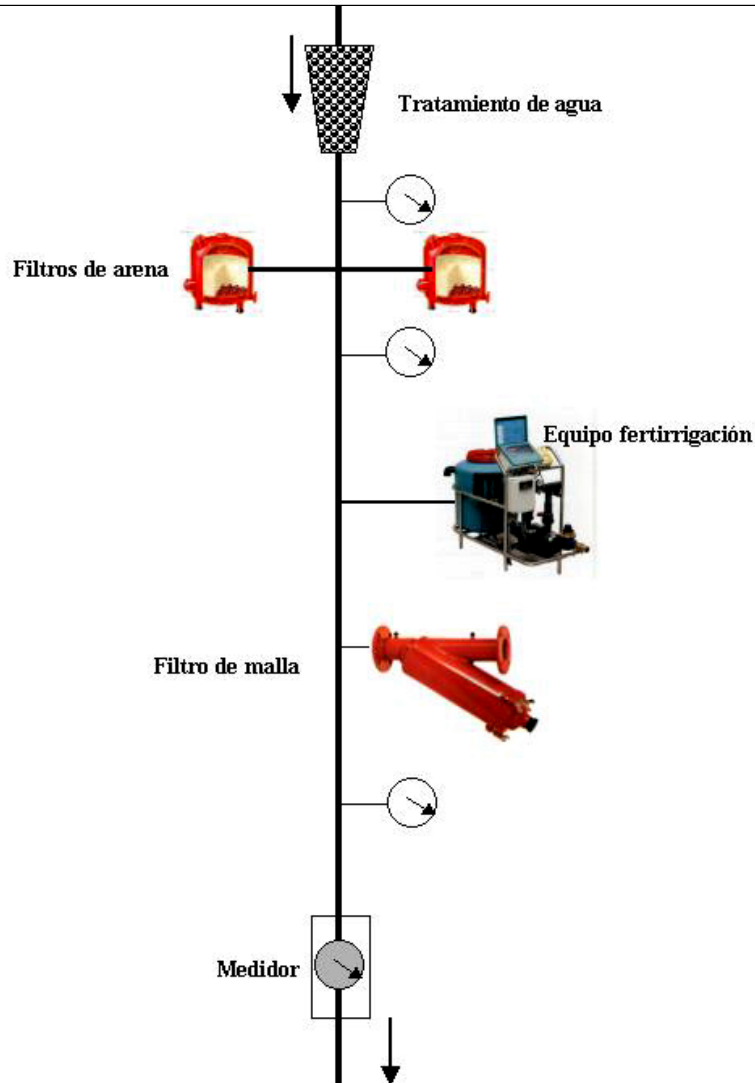


Foto 12. Rejilla para eliminar material orgánico antes del cabezal.

Todas aquellas aguas que presente contenidos elevados de sólidos en suspensión, partículas minerales o componentes orgánicos deberán adecuarse antes de su entrada al cabezal de riego. Si los contenidos son minerales, estos podrán separarse por sedimentación en un decantador; si son contenidos orgánicos flotantes podrán instalarse rejillas que retengan estos.



Grafica 3. Esquema de instalación de filtros en cabezal de riego

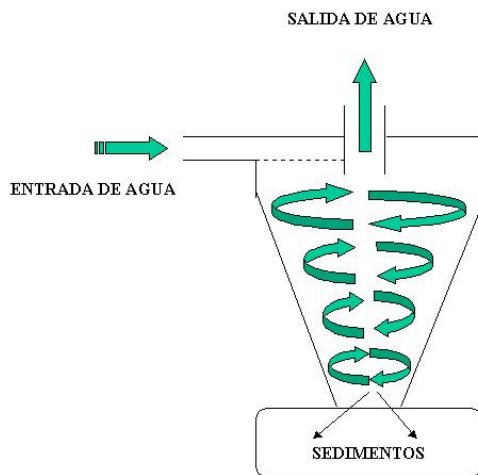
Cualquiera que sea el sistema de filtrado, este deberá retener todos aquellos elementos, ya sean orgánicos o minerales, que puedan obstruir los emisores o dañar dispositivos con elementos móviles. Un filtro que no funcione correctamente provocará una disminución de los caudales, una baja uniformidad de aplicación del agua y en consecuencia una eficiencia no apropiada.

Son tres los tipos de filtros que se instalan en los sistemas de riego localizado: hidrociclones, filtros de material graduado (arenas) y filtros de mallas o de anillas.

### 2.3.1 Hidrociclones

Cuando las aguas de riego tienen grandes contenidos de materiales gruesos (arenas y gravas pequeñas) es conveniente utilizar separadores centrífugos, mejor conocidos como hidrociclones, que diseñados y operados correctamente pueden eliminar el 98% de partículas contenidas en el agua. El hidrociclón es un dispositivo sin elementos móviles y debe instalarse a la entrada del cabezal, recomendándose instalar varios hidrociclones en paralelo.





Grafica 2. Esquema de hidrociclón.

Los hidrociclones se deben usar junto con filtros de malla para capturar los contaminantes que pasan, ya que pueden separar únicamente partículas más pesadas que el agua y no funcionan con partículas que tienen una densidad cercana o menor a la del agua. La separación de estas partículas se produce debido a la velocidad de rotación que se genera al ser suministrada el agua de forma tangencial en el interior del hidrociclón.

Siempre es recomendable instalarlos en aguas procedentes de pozos y con el uso de hidrociclones se consigue la protección de las bombas, válvulas y sistemas de control contra los

desgastes causados por los sólidos.

El colector de sedimentos debe tener la capacidad de almacenar los materiales separados entre dos limpiezas.

Las partículas sólidas acumuladas en el depósito deben ser drenadas periódicamente a través de una purga.

### 2.3.2 Filtros de arena.

Son depósitos de construcción metálica o de plástico reforzado, de forma cilíndrica, que soporta las presiones del sistema de carga y que contienen una cama de arena a través de las cuales se filtra el agua. En el medio poroso generado por las arenas se fija la materia orgánica y se retienen las partículas minerales contenidas en el agua a filtrar. Debido a que estos materiales son retenidos en todo el perfil de la cama, y no solamente en la superficie, pueden remover grandes volúmenes orgánicos e inorgánicos, no requiriendo lavados frecuentes como los filtros de mallas.

Las arenas utilizadas como material filtrante son arenas de granito o silicatos triturados angulosos, estos ángulos son los encargados de retener el material orgánico suave que contienen las aguas. Las arenas a utilizar en los filtros deberán tener ciertas características, como: Tener una granulometría específica de tal manera que el diámetro eficaz de la arena debe ser igual al diámetro mínimo del emisor, tener una friabilidad buena y resistir el ataque de los ácidos, (Cadaña, 1998). La cama de arena deberá cambiarse periódicamente para no perder su eficiencia filtrante, ya que durante el proceso de lavado las partículas de arena se erosionan perdiendo su angulosidad.

Debido a que los sistemas de ferti-riego deben contar con una serie de elementos o instrumentos que permitan una adecuada operación, como: válvulas, medidores volumétricos, manómetros, inyector, etc. y que exigen que el agua no contenga impurezas para su buen funcionamiento, los filtros de arena deberán instalarse en el cabezal antes que los elementos antes mencionados.

Deberán instalarse en pares como mínimo. Así, el agua filtrada en uno de los filtros podrá utilizarse para lavar los otros filtros; procurando al momento del lavado que el flujo de agua en reversa no produzca velocidades excesivas ya que puede arrastrar las partículas de arena del mismo filtro. La

caída de presión en los filtros, entre 0.2 y 0.6 Kg/cm<sup>2</sup> (2 a 6 mca), será el indicador para iniciar el proceso de lavado.



Foto 13. Batería de filtros de arena.

En la grafica 3 se muestra el esquema de instalación de filtros en cabezal de riego.

### 2.3.3 Filtros de mallas.

Son filtros construidos de alambre o plástico y se utilizan para retener partículas sólidas no elásticas. Existe una gran variedad de este tipo de filtros, las diferencias entre uno y otro se encuentran en la superficie de la malla, la resistencia a las presiones que se originan cuando el filtro se encuentra saturado de material retenido, facilidad de lavado, mantenimiento y costo.

Los filtros de malla se deben instalar aguas abajo y posterior a los equipos de inyección de fertilizantes. Si también se cuenta con filtro de arena, los filtros de malla se instalarán posterior a estos, así se retendrán las arenas que se pudieran desprender y no obstruir los emisores.

Para seleccionar el tipo de filtro y las mallas, previamente a ello se deberá realizar una análisis físico del agua y considerar el diámetro mínimo del paso del emisor, de tal forma que la malla sea capaz de retener aquellas partículas de tamaño superior a 1/8 de dicho diámetro, recomendándose utilizar mallas entre 50 y 200, (Cadahia, 1998).

Tabla de equivalencias

Número de mallas	Tamaño de la apertura		
	mm	Micras	Pulgadas
20	0.711	711	0.0280
50	0.297	297	0.0116
60	0.250	250	0.0098
70	0.210	210	0.0082
80	0.177	177	0.0069
100	0.149	149	0.0058
120	0.125	125	0.0049
140	0.105	105	0.0041
170	0.088	88	0.0034
200	0.074	74	0.0029
250	0.063	63	0.0025

Estos filtros se saturan con rapidez. Un filtro limpio no debe generar pérdidas superiores a los 0.2 Kg/cm<sup>2</sup> (2 mca), debiendo limpiarlo cuando las pérdidas lleguen a 0.5 Kg/cm<sup>2</sup> (5 mca), si se permiten mayores pérdidas el filtro puede romperse. Recomendándose instalar varios filtros pequeños en paralelo, con ello se prolongarán los períodos de limpieza.

Al final del ciclo se deberá realizar una limpieza de filtros mas detallada, sumergiendo los cartuchos por unos minutos en una solución de ácido nítrico y posteriormente aplicar agua a presión, (Fuentes, Y. 1991).



Fotos 14a Filtro de malla



Foto 14b Cartucho filtrante

### 2.3.4 Filtros de anillos

Actualmente se están utilizando este tipo de filtros por sus características filtrantes, ya que combinan los efectos de los filtros de malla y los de arena. El cuerpo filtrante esta constituido por una serie de discos plásticos con ranuras, las cuales proporcionan un espacio entre ranuras que oscila entre 0.42 y 0.11 mm. El agua entra en forma radial al cuerpo filtrante atrapando las partículas en la superficie del anillo y entre los anillos. Estando limpios originan una pérdida de carga entre 0.1 y 0.3 Kg/cm<sup>2</sup> (1 a 3 mca). La limpieza es muy fácil, bastará con abrir la carcasa del filtro y aplicar agua a presión.



Foto 15. Filtro de anillos y cuerpo filtrante.



Foto 16. Filtro de anillos instalado. CCAT. La Huerta, Universidad de Guadalajara, México

## 2.4 Equipos de inyección de fertilizantes.

Los equipos de inyección de fertilizantes se deben de elegir de acuerdo a las necesidades de abonado, de la disponibilidad de recursos tanto económicos como energéticos y de los requerimientos de automatización del sistema.

El uso de sistemas de fertirrigación implica establecer los cambios necesarios en las técnicas de fertilización, ya que el cuanto, que, dónde, cuando y como aplicar los fertilizantes será diferente a las prácticas tradicionales de abonado de los cultivos. Y por supuesto que en el uso de los equipos combinados de fertilización y riego deben considerarse las limitaciones vinculadas a su aplicación, (Shani, M. 1992).

Las bombas y otros equipos utilizados para la inyección de fertilizantes deben tener algunas características especiales que permitan su adaptación a los sistemas de riego, entre ellas se pueden mencionar las siguientes: Resistentes a la corrosión de los productos químicos, tener tasas de inyección constante, tener precisión, trabajar a varias presiones y flujos, entre otras.

La inyección de fertilizantes se realiza preferentemente en el cabezal de riego, instalando los equipos entre los filtros de arena y de malla. De acuerdo con la disponibilidad actual de equipos, existen tres tipos de equipos de inyección: Venturi, tanques de fertilización y bombas de inyección, de los cuales a continuación se exponen algunas características de su funcionamiento, así como sus ventajas y desventajas.

### 2.4.1 Venturi.

El principio de funcionamiento es la utilización de un estrechamiento en el flujo de agua que motiva cambios de velocidad de la corriente y la presión provocando un vacío de succión, la cual es utilizada para inyectar la solución nutritiva al agua de riego. Es un sistema de inyección económico, no requiere de una fuente de energía especial para su funcionamiento y no tiene piezas móviles. La calibración depende de la presión de trabajo en la tubería y el nivel del fertilizante en el depósito.

El venturi es un dispositivo que origina la mayor pérdida de carga en el sistema, situación que deberá considerarse en la operación del mismo. Para su instalación es conveniente realizar una unión en paralelo o circunvalación con el objeto de impedir pérdidas de presión en el caso de que no sea usado durante el riego.



Foto 17. Dispositivo de inyección Venturi



Foto 18. Combinación de inyector Venturi-Dosificador

El inyector Venturi podrá utilizarse en pares o en combinación con otros dispositivos de inyección, ya sea con bombas o dosificadores hidráulicos de pistón, de esta manera se incorporará al riego el ácido para acondicionar el agua antes de inyectar los fertilizantes.

### 2.4.2 Tanque de abonado

Consiste en un depósito hermético construido en plástico reforzado o metálico que se conecta paralelamente a la tubería, por él se hace pasar parte del caudal, de tal manera que el volumen de agua de entrada debe ser igual al de salida. El fertilizante se coloca en el interior del tanque, preferentemente líquido y de alta concentración. El tanque tiene dos tomas situadas, una en la parte inferior y otra en la superior. Por la inferior se hace pasar el agua en forma tangencial para lograr una adecuada disolución del fertilizante. La toma de salida ubicada en la parte superior permite conducir la mezcla a la red de riego.

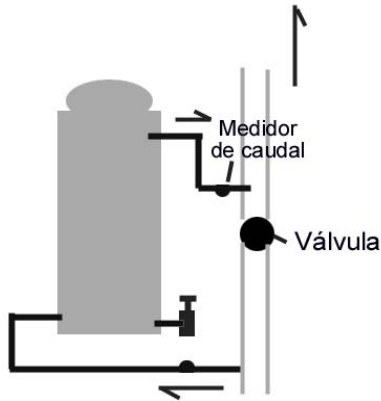


Foto 19. Esquema de instalación de tanque de abonado

### 2.4.3 Bombas de inyección.

En el mercado especializado se puede encontrar una gran variedad de bombas de inyección, desde las accionadas eléctricamente hasta las operados hidráulicamente. Son equipos de funcionamiento preciso y caro.



Fotos 20 y 21. Bombas hidráulicas para la inyección de abonos líquidos

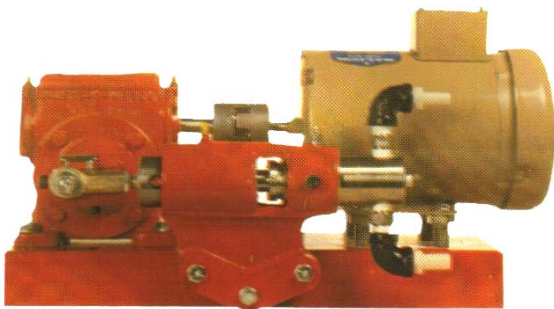


Foto 22. Bomba dosificadora eléctrica



Foto 23. Dosificador hidráulico "Dosatron".

En comparación con los anteriores sistemas de inyección, las bombas eléctricas no generan pérdidas en la red al no consumir energía hidráulica y tienen la particularidad que se puede regular el caudal; sin embargo, tienen el inconveniente de la necesidad de suministro eléctrico y de ser construidas con materiales no corrosivos, requieren automatismo.

Las bombas hidráulicas funcionan con la presión de la red. Se puede regular el caudal entre 20 y 300 l/h, pudiéndose instalar varias bombas dosificadoras cuando se requiera un mayor caudal, originan una pérdida de carga mínima en su operación y solo podrán tener variaciones en su funcionamiento conforme fluctúe la presión.

Las bombas dosificadoras hidráulicas se instalan en paralelo a la tubería, preferentemente donde exista una diferencia de presión, es decir donde exista algún accesorio que origine tal diferencia (filtro, regulador de presión, etc.). En sistemas que operan a baja presión puede resultar un inconveniente su uso, ya que la dosificación se verá afectada.

Algunos inyectores hidráulicos no están contruidos para tolerar la corrosión de productos químicos, por lo que se deberá tener cuidado en utilizar otros mecanismos para inyectar estos productos químicos en el sistema de ferti-riego.

## 2.5 Automatismos

La total automatización del equipo para la fertirrigación de los cultivos proporciona una serie de mejoras en relación con los equipos manuales: incremento de la producción, menor impacto ecológico, disminución del uso de productos químicos, y la obtención de cosechas de mejor calidad.

La facilidad o dificultad de operación de un sistema de fertirrigación dependerá de muchos factores; cuando esta actividad se realiza en superficies pequeñas el manejo del equipo podrá realizarse manualmente, pero en superficies grandes que impliquen una alta frecuencia del ferti-riego el manejo se hace complicado si no se cuenta con automatización.



Foto 24. Controlador de ferti-riego. Controller 2000 ITC

Para alcanzar altos grados de eficiencia en la aplicación de agua y fertilizantes, los equipos controladores son importantes como parte fundamental de todo sistema de ferti-riego. Estos controladores están disponibles en el mercado especializado y van desde dispositivos activados por relojes mecánicos hasta computadoras que facilitan y proporcionan un control preciso en la aplicación del agua y los fertilizantes.

El aspecto mas importante a cubrir cuando se utiliza como método de producción la fertirrigación, es la necesidad nutricional de las plantas, es decir, cada planta deberá recibir la misma cantidad de agua y fertilizante por unidad de superficie. Lo anterior implica la utilización de controladores en el equipo que inyecta los abonos y de sensores que verifican las condiciones químicas del agua que circula por las redes de tubería. Los sensores en el cabezal de riego y en la red de distribución son elementos importantes que darán información al equipo central para que se realicen los ajustes químicos al agua de riego automáticamente.



Fotos 25. Sensor de CE

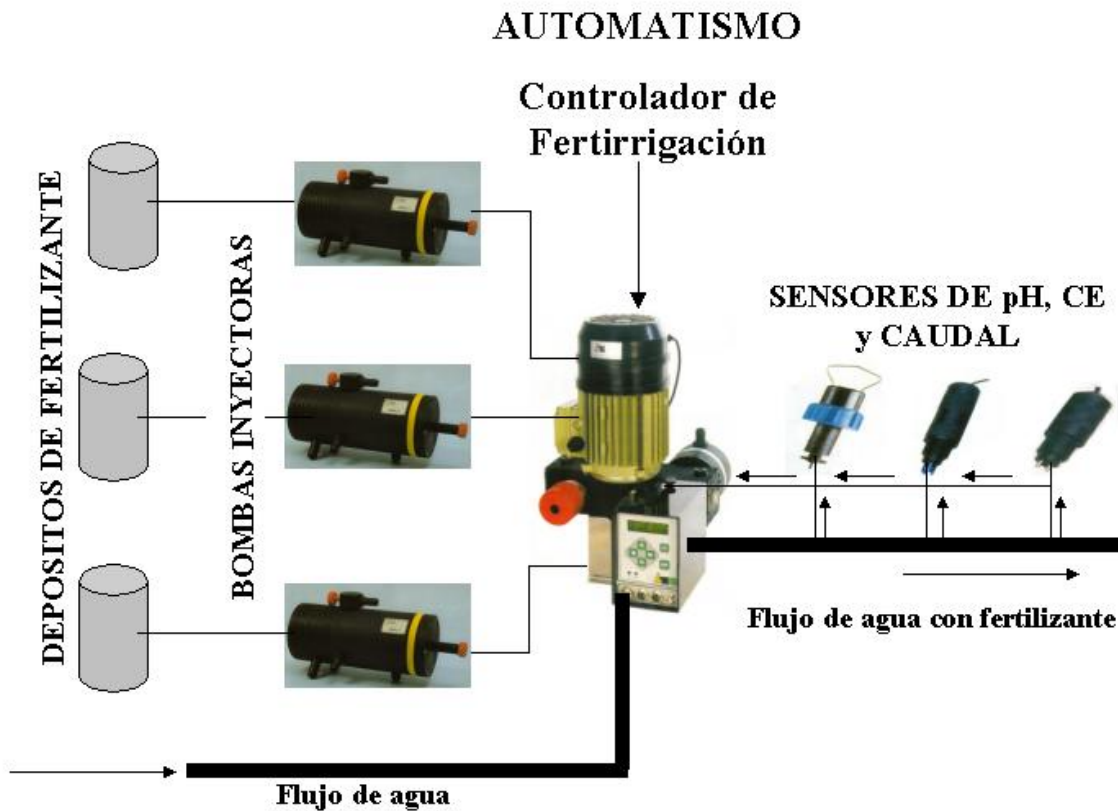


Fotos 26. Sensor de pH



Fotos 27. Caudalímetro

Los equipos de control pueden ser cerrados o abiertos. Los cerrados son aquellos que en todo momento reciben información constante de los sensores, toman decisiones y las aplican al sistema a través de diferentes accesorios como válvulas, inyectoras, tensiómetros etc. Los equipos abiertos tienen instrucciones preestablecidas y solo actúan basándose en ellas.



Grafica 4. Esquema de automatismo en ferti-riego

Un controlador de ferti-riego debe ser capaz de ajustar entre otras cosas: El pH y conductividad eléctrica automáticamente mediante bombas dosificadoras, cerrar y abrir válvulas, regular el caudal y tener un sistema de alarma para cada una de sus actuaciones.

Las válvulas son otro elemento indispensable para el control automático del ferti-riego, estas son accionadas automáticamente, ya sea por control remoto o electrónicamente. Se deberán seleccionar aquellas construidas con materiales anticorrosivos como latón, acero inoxidable y plástico.

Las válvulas hidráulicas cierran o abren atendiendo órdenes hidráulicas o neumáticas, pueden actuar como reguladoras de presión, limitadoras de caudal, como válvula volumétrica. Si se incorporan solenoides responden órdenes eléctricos en lugar de hidráulicas. (Pizarro, C. F. 1990).



La mayoría de los controladores para el automatismo poseen mecanismos para el control de bombas, el control de válvulas y equipos de inyección de fertilizantes, permite el lavado automático de filtros y miden caudales, condiciones químicas del agua, temperatura, humedad, presión, entre otras.

Las ventajas de la automatización son múltiples, pudiéndose mencionar las siguientes (Ivanir, A 1996):

Foto 28. Válvula hidráulica En primera instancia se presenta un ahorro en agua, energía, costos de transporte y mano de obra; así mismo se tiene un mejoramiento y eficiencia en la fertirrigación y como consecuencia en la fertilización de los cultivos, en el retrolavado del equipo y en la operación de los sistemas de bombeo; por otro lado se tendrá un tiempo real en memoria de sensores, se podrá programar el ferti-riego en caso de heladas y altas temperaturas, se tendrá una protección de la red con el paro automático del equipo y finalmente se dispondrá siempre una concentración de la información.

## 2.6 Monitoreo del sistema



Foto 31. Manómetro para verificar presión en funcionamiento de Venturi.



Foto 32. Medidor de pH y Conductividad Eléctrica Hanna.

El diseño e instalación de cualquier sistema de riego y fertirrigación es importante para el buen funcionamiento y manipulación del mismo; sin embargo dadas las características de operación, la calidad del agua y la diversidad de productos químicos que se aplican a través del sistema, es necesario monitorear el funcionamiento del conjunto de elementos que lo integran, de esta manera se garantizará la aplicación de los volúmenes de agua y fertilizantes requeridos para el adecuado desarrollo de las plantas.

La presión de operación en diversos puntos del sistema debe ser verificada, en ella se basa el funcionamiento de los emisores y algunos equipos hidráulicos. La caída o incremento de la presión de operación, establecida durante el diseño, indicará anomalías en el funcionamiento. Las



verificaciones de presión se deberán hacer en cada unidad de riego, en las laterales se realizarán al inicio y final de la lateral más cercana, y al principio y al final de la lateral más lejana. Aquellas laterales instaladas en pendiente se deberán medir la presión en el punto de presión mínima en el múltiple y la lateral. Además, en forma permanente, con manómetros fijos, a la salida de la bomba y en los filtros antes y después de ellos. (Zazueta, R.F.S 1992).



Foto 33. Drenado de líneas laterales

Las características químicas del agua de riego, después de la inyección de los fertilizantes deben verificarse manual o automáticamente. De esta manera se podrán realizar los ajustes al pH y Conductividad Eléctrica que prevengan los taponamientos de los emisores por precipitados químicos, así como establecer los niveles de concentración de sales que no afecten el desarrollo de los cultivos.

De igual forma, para evitar precipitados, en los sistemas de fertirrigación es conveniente que en cada ciclo de riego, al inicio y final de los mismos, el agua se aplique sin fertilizantes. Se recomiendan tiempos de 15 a 30 minutos, ello dependerá de las dimensiones de las redes de distribución del agua.

Dentro de la programación y monitoreo del sistema deberá considerarse el realizar cada 4 meses de funcionamiento limpiar las tuberías, abriendo los extremos y dejando fluir el agua. Iniciando esta limpieza con las tuberías primarias y terminando con las líneas regantes. Con esta operación se evitará la acumulación de sedimentos y precipitados químicos.

Para el caso en que las aguas contengan microorganismos que originen taponamientos, antes de realizar los drenados se deberá considerar los tratamientos químicos para su eliminación.

Una de las verificaciones que se debe realizar para detectar el buen funcionamiento del sistema es la de Uniformidad de Aplicación. Recomendándose tomar en cuenta tanto los factores constructivos como los hidráulicos de los emisores en la verificación de la uniformidad, definiéndose esto como Coeficiente de Uniformidad (CU), el cual se determina con la siguiente expresión:

$$CU = 100 \left( 1 - \frac{1.27CV}{\sqrt{e}} \right) \frac{qm}{qp}$$

Siendo **CU** el Coeficiente de Uniformidad, **CV** el Coeficiente de Variación, **qm** la descarga mínima en la unidad de riego, **qp** la descarga promedio y **e** el número de emisores por planta.

El Coeficiente de Variación está dado por:  $CV = \frac{\sigma}{\bar{x}}$

Y la desviación estándar está dada por:  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum(xi - \bar{x})^2}{n - 1}}$

Siendo  $\sum(xi - \bar{x})^2$  la sumatoria de las desviaciones al cuadrado y **n** el número de datos.

Recomendándose seleccionar al menos 18 emisores al azar para realizar esta prueba.

Las especificaciones de diseño requieren que los sistemas de microirrigación tengan los valores del Coeficiente de Uniformidad mostrados en la siguiente tabla.

**VALORES RECOMENDADOS DE CU**

Emisores	Pendiente (%)	C U	
		Clima Árido	Clima Húmedo
Espaciados mas de 4 m en cultivos permanentes	< 2	0.90 – 0.95	0.80 – 0.85
	> 2 u ondulada	0.85 – 0.90	0.75 – 0.80
Espaciados menos de 2.5 m en cultivos permanentes o semipermanentes	< 2	0.85 – 0.90	0.75 – 0.80
	> 2 u ondulada	0.80 – 0.90	0.70 – 0.80
Mangueras o cintas de exudación en cultivos anuales	< 2	0.80 – 0.90	0.70 – 0.80
	> 2 u ondulada	0.70 – 0.85	0.65 – 0.75

Tomado de: “Riegos Localizados de Alta Frecuencia”. Pizarro C. F. (1990).

En aquellos sistemas de microirrigación en los que se inyectan químicos, como es el caso del ferti-riego, deberán tener Coeficientes de Uniformidad de 90% o mayores. (Zazueta, R.F.S (1992).



Foto 34. Evaluación Sistema de riego por Goteo. CCAT. La Huerta, Jal. México. Universidad de Guadalajara. CUCBA.



Foto 35. Toma de muestra para determinar Coeficiente de Uniformidad en Sistema de Riego por Goteo. CUCBA

### 3 Taponamiento, Filtrado y Tratamiento de aguas.

Uno de los problemas mas frecuentes en los sistemas de microirrigación (microaspersión o goteo) es el taponamiento de los emisores, lo que origina una deficiente operación de los sistemas de riego presurizado, y mas aun cuando se realizan prácticas de fertirrigación; estos problemas se deben principalmente a: 1) el tamaño de los conductos hidráulicos en los emisores, 2) la baja velocidad del agua en varias partes del sistema, y 3) los contaminantes en el agua de riego. (Zazueta, R. F. 1992).

Las obstrucciones en el sistema de riego tiene como consecuencia una disminución en la uniformidad de aplicación del agua y fertilizantes. Un taponamiento severo lleva a una pérdida del control sobre el manejo del agua y en casos extremos inutiliza el sistema de riego.

Los inconvenientes del taponamientos son tan frecuentes que, en la actualidad, es sumamente indispensable que todo sistema de ferti-riego incluya una unidad de filtros y en algunas situaciones (dependiente de la calidad química del agua) una unidad de tratamiento químico del agua.

Las causas de taponamiento pueden ser de origen 1) físico, 2) químico o 3) biológico.

Los contaminantes físicos pueden obstruir el sistema simplemente por ser de un tamaño mayor al del conducto por donde circulan, o por sedimentarse dentro del sistema y reducir la sección hidráulica. Una forma de conocer el riesgo de taponamiento es la determinación gravimétrica de sólidos en pruebas de laboratorio. Cuando la cantidad de partículas en suspensión es muy elevada,

las determinaciones de turbidez y floculación son muy útiles para determinar el grado de taponamiento físico y su tratamiento. Las partículas pequeñas causan pocos problemas si no existe floculación y el sistema de riego se purga frecuentemente para eliminar sedimentos en las tuberías.

Las causas químicas de taponamiento se deben a la calidad química del agua o debido a los productos químicos que se introducen al sistema con el objeto de realizar la práctica de fertirrigación.



Foto 29. Filtro de mallas.

La fuente de agua puede contener elementos químicos como Ca, Mg, Fe y Mn; estos se disuelven en el agua al pasar por las formaciones minerales y debido a la temperatura, pH, potencial de oxidación/reducción y a la concentración de otras sustancias originan los precipitados que originan los taponamientos.

Los taponamientos de origen biológico son los más persistentes y requieren un manejo más intensivo. La actividad bacteriana y sus subproductos originan depósitos de lama en las paredes de los depósitos, tuberías y emisores. Además, las partículas suspendidas tienden a aglutinarse con las lamas, teniendo como resultado el taponamiento del sistema de riego. (Zazueta, R.F. 1992).

Cuatro tipos de lamas principales son las que causan problemas en los sistemas de riego, (Zazueta, R.F., 1992, citando a Abbot, 1985 y a Ford, 1978; y Pizarro, C.F. 1990):

- 1) Hierro
- 2) Manganeso
- 3) Azufre
- 4) Filamentosas no específicas y no filamentosas.

Las lamas de azufre aeróbicas se forman por la oxidación de sulfuros de hidrógeno por las bacterias filamentosas *Thiotrix* y *Beggiatoa*. Las de hierro pueden deberse a la precipitación del hierro inducido por las bacterias filamentosas *Gallionella* y *Leptothrix*.

Las masas bacterianas grandes las originan las bacterias **Vitreoscilla**, **Enterobacter** y **Pseudomonas**.

A continuación se indican los parámetros que dan los indicios del riesgo de taponamiento en los sistemas de fertirrigación:

**RIESGO DE TAPONAMIENTO (Por calidad del agua).**

PROPIEDAD	CONCENTRACIÓN (ppm)		
	BAJO	MODERADO	SEVERO
<b>FÍSICAS</b>			
Sólidos en suspensión, filtrables	< 50	50-100	> 100
<b>QUÍMICAS</b>			
pH	< 7	7-7.5	> 7
Sólidos disueltos	< 500	500-2000	> 2000
Manganeso	< 0.1	0.1-0.5	> 1.5
Hierro	< 0.1	0.1-0.5	> 1.5
Sulfuro de Hidrógeno	< 0.5	0.5-2.0	> 2.0
Dureza	< 150	150-300	> 300
<b>BIOLÓGICAS</b>			
Población bacterial	< 10,000	10,000-50,000	> 50,000

Tomado de "Micro irrigación". Zazueta, R. F. 1992.

Para el control de los taponamientos originados por causas biológicas existen diversos tratamientos.

Indiscutiblemente el mejor tratamiento para el control de algas es evitar que a éstas les llegue la luz, tapando los depósitos de agua y las tuberías de transporte. Este método tiene la ventaja adicional de que puede evitar contaminaciones del agua por fitopatógenos que son transportados por el aire.

Para reducir el problema, cuando se bombea el agua de riego desde depósitos, es recomendable que la succión se realice lo más profundo posible, ya que las algas tienden a desarrollarse en la superficie del agua; allí donde existe más luz y oxígeno. Debiendo tener el cuidado de que la profundidad de succión no sea tal que provoque aspiraciones de sedimentos que suele haber en el fondo.



Foto 30. Problemas de sedimentación y bacterias fijadoras de hierro en una cinta de riego.

El cloro, para el control de algas y microorganismos, es una de las formas recomendadas. Aplicaciones de hipoclorito al 10% a razón de 200 cc por cada  $m^3$  de agua, dosis que pueden resultar caras; es más económico el cloro gaseoso, pero es muy peligroso y requiere personal especializado para su aplicación. Para que se produzca la muerte de los microorganismos se necesita un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos; pudiéndolo aplicar durante los últimos 30 minutos de riego, y de esta forma el agua tratada queda en las tuberías hasta el próximo riego. (Cuidar la tolerancia de los cultivos).

Actualmente se ha extendido el uso del sulfato de cobre que tiene la ventaja de ser más barato, sencillo de aplicar y con relativa eficacia. Las dosis que se recomiendan oscilan entre los 0.5 y los 2 miligramos por litro de agua ( $0.5-2 \text{ g/m}^3$ ).

Debemos tomar en cuenta que el cobre, además de un micro nutriente, es también un elemento fitotóxico a dosis elevadas, por lo que no se deben sobrepasar las dosis máximas recomendadas.

También se han conseguido resultados satisfactorios con el uso de permanganato potásico a las dosis antes mencionadas para el sulfato de cobre; la diferencia radica en el costo, es mucho mas caro el permanganato potásico.

#### **4 Técnicas de Ferti-riego**

Las técnicas de ferti-riego se han observado en diversas modalidades, desde aquellas donde se pretende fertirrigar en sistemas de riego superficial, hasta los sistemas de riego presurizado, donde se involucra la aspersión, la micro aspersión y los riegos por goteo.

#### **4.1 En el Riego Superficial.**

Por lo que respecta a la fertirrigación en los sistemas de riego superficial, las investigaciones realizadas aun no determinan la posibilidad total de su aplicación. Los resultados aun no han completado la definición de la técnica para incorporar las soluciones fertilizantes líquidas a la red de distribución superficial, ya que en ellas intervienen las complejas interacciones físico-químicas e hidrodinámicas del suelo y también el hidrograma de los caudales proporcionados a cada unidad de riego. Se presentan problemas con la distribución uniforme de los nutrientes a lo largo de las camas y en el perfil del suelo, se presentan pérdidas de fertilizantes por el escurrimiento final de la cama o por el lixiviado. (Gurovich, R.L., 1999).

#### **4.2 En el Riego por Aspersión.**

La fertirrigación a través de los sistemas de riego por aspersión se ha adoptado en diversos países, buscando principalmente mejorar la eficiencia de uso del agua de riego y a la vez aprovechar el equipo para realizar la aplicación de fertilizantes solubles en el agua. En este caso se tienen mejores resultados que en los métodos de riego superficial, sin embargo, aun se tienen diversos inconvenientes. En algunos cultivos, la concentración salina y el tipo de sal puede afectar a la planta cuando el agua queda en el follaje. Los inconvenientes de esta forma de ferti-riego también se pueden dar debido a que en el riego por aspersión la distribución del agua no es uniforme, variando en función del viento y el alcance del aspersor; Generalmente la zona cercana al aspersor recibe mayor cantidad de agua que el resto de su área de influencia y en los diseños se contempla el traslape del mojado para contrarrestar los efectos del viento cuando se utilizan aspersores consecutivos; Ello origina que la distribución de los fertilizantes en el suelo también sea irregular.

En México, a partir del año 1996 el Gobierno Federal inicia un programa de apoyo al campo. En este se contempla estimular económicamente a los productores agrícolas que adopten técnicas de ferti-riego, con el objetivo de incrementar la productividad de las áreas bajo riego, incrementar la eficiencia en el uso del agua y reducir los costos de energía eléctrica y fertilizantes. Para el ferti-riego se utilizaron equipos de aspersión, cañón, pivote central, side roll, goteo, micro aspersión; Reportándose ahorros del 40% de agua en comparación con métodos superficiales, junto a ahorros de energía anuales de un 32%, en cultivos como caña de azúcar, algodón, maíz, trigo, tomate, y pastos principalmente.

#### **4.3 En el Riego localizado**

A escala mundial, la práctica del ferti-riego se ha desarrollado exitosamente en las técnicas que utilizan los sistemas de riego por goteo, los acolchados plásticos y el cultivo sin suelo, ya sean solas o combinadas, buscando siempre el uso y manejo eficiente del agua y los fertilizantes.

El objetivo principal de un sistema de riego por goteo es proporcionar, en la zona de la raíz de la planta, el agua a una tasa de aplicación lenta. Utilizando tuberías de polietileno con goteros integrados, que se coloca sobre el terreno a un costado de las líneas de plantas, aplicando el agua en forma uniforme buscando mantener la humedad y los elementos nutritivos en condiciones óptimas para el adecuado desarrollo de las plantas. Los riegos se aplican ligeros y tan frecuentes como lo requieran las plantas.

Las líneas de riego por goteo se pueden tender sobre el terreno o pueden enterrarse a profundidades entre 5 y 30 cm, de esta última forma se exponen menos a los daños mecánicos o a los ocasionados por las plagas.

Cuando se tienden las líneas regantes sobre el terreno se tiene el inconveniente que la pérdida de agua por efectos de evaporación y viento son mayores que cuando se realiza con acolchado, pero

con esta condición se monitorea mejor el sistema y se pueden realizar fácilmente las reparaciones necesarias.

Al realizar el ferti-riego con líneas regantes tendidas sobre el terreno y sin apoyo del acolchado. Se debe considerar que la pérdida de humedad del suelo, será mayor por efectos de la evaporación, la acción del viento y por los requerimientos hídricos de la planta. Esto origina una mayor concentración salina y una mayor presión osmótica de la solución del suelo y en consecuencia una mayor dificultad de la planta para absorber el agua. Por tal razón se deberá realizar una mayor supervisión del sistema y mantener un nivel alto de humedad en la zona radical de la planta. Las sales del bulbo de humedecimiento se incrementan hacia los extremos del mismo y en la superficie dificultando el crecimiento de la raíz hacia el exterior. (Fuentes, Y. 1991 y 1999).



Foto 36. Cultivo de Chile Jalapeño. Ferti-riego con riego localizado



Foto37. Acumulación de sales en la periferia del bulbo húmedo

Con algunas condiciones es conveniente tener el control de la profundidad de aplicación. Se dan casos, de acuerdo a las características del suelo, el fertilizante y la fase del cultivo, en que se debe aplicar el fertilizante en el último cuarto del tiempo de riego para evitar el lixiviado de los nutrientes a profundidades donde no esta disponibles para la planta. Las condiciones propicias para la percolación profunda se da en suelos de arena gruesa, la aplicación de nitratos no retenidos por el suelo y en las primeras fases de desarrollo del cultivo.

#### 4.4 En el Acolchado Plástico.



Foto 38. Cultivo de tomate acolchado.

El uso de los filmes plásticos para el acolchado de suelos en combinación del ferti-riego representa una serie de ventajas adicionales al solo uso de los sistemas de riego por goteo tendidos sobre la superficie del terreno.

El plástico agrícola por si solo, en función de sus características, proporciona numerosas ventajas, influyendo notoriamente en: Mantenimiento de la humedad del suelo al disminuir la evaporación del mismo, mejora de las condiciones térmicas del sistema radicular de la planta, reducción del lavado de elementos fertilizantes del suelo incrementando su eficiencia de uso, la protección de la nascencia,

la protección de los frutos del contacto con el suelo, (Díaz, T. y otros, 2001).

La combinación del acolchado plástico y el ferti-riego proporciona beneficios que permiten un uso racional del recurso agua y los fertilizantes que en condiciones de un adecuado manejo influyen sustancialmente en el potencial productivo de las plantas.



Fotos 39 y 40. Colocación de cinta de riego y acolchado plástico.

El acolchado plástico reduce considerablemente la evaporación del suelo incrementando la transpiración de la planta, lo que se traduce en una mayor absorción de agua y de los nutrientes aportados en el ferti-riego, lo que presupone un incremento de la cosecha.

La preparación de la cama para la colocación del plástico influye en la eficiencia del ferti-riego. La cama debe quedar bien formada sin terrones y mullida, ya que el agua se mueve en todas direcciones, pero en ciertas condiciones lo hace con más facilidad en un sentido, ello depende de la porosidad del suelo; en suelos con poros grandes el agua y los fertilizantes descenderán verticalmente por su propio peso, mientras que en los poros pequeños se moverá por capilaridad en todas direcciones distribuyendo en mayor área el agua y la solución fertilizante. Una buena cama facilitará la colocación del plástico, incrementará la eficiencia del ferti-riego y la asimilación de los nutrientes.

El suelo bajo la cubierta plástica sufre alteraciones en sus propiedades químicas y en su composición. Al incrementarse la temperatura y conservarse la humedad se aprovechan mejor los nutrientes, tal es el caso del proceso de nitrificación en el que se favorece la disponibilidad del nitrógeno.

#### **4.5 En la Irrigación Subterránea (tubería porosa de caucho), (Hoff, R., 1995).**

Los primeros indicios sobre la irrigación subterránea, se documentan en reportes históricos de Egipto. El concepto de suministrar el agua directamente a la raíz de la planta con todas las ventajas que representa, como el ahorro de agua y fertilizantes y un mejor suministro de ellos, no ha desaparecido. Estos sistemas se han venido desarrollando lentamente.

Hace 10 años aproximadamente, la empresa AquaSpa de Alemania, inicia el desarrollo de un sistema de tubería porosa de caucho o hule, proveniente del reciclado de neumáticos para

automotores. Esta tubería se crea para obtener dos beneficios: Una solución para la irrigación subterránea y otra solución ecológica para eliminar los neumáticos de los automotores.

A un inicio su aplicación fue para superficies pequeñas, ya que presentaba problemas en la uniformidad del suministro del agua para longitudes grandes. Investigaciones realizadas en diferentes instituciones permitieron establecer las reglas principales a cubrir por este tipo de sistemas de tubería porosa, las cuales se orientaron hacia:

- 1) La tubería porosa debería funcionar para longitudes entre 100 y 200 m.
- 2) Debería proporcionar gastos entre 0.8 y 1.6 l/m/h al suelo.
- 3) El sistema debería garantizar un suministro de agua uniforme para demandas de 10-20 m<sup>3</sup>/ha con una presión entre 0.4 y 0.6 bar como rango óptimo.
- 4) Las tuberías porosas deberían trabajar de acuerdo con las reglas de difusión en ambientes saturados.
- 5) La uniformidad de aplicación del agua en longitudes grandes debía ser comprobada con mediciones de humedad directas en el campo.

Después de establecer los criterios de operación de la tubería porosa, se realizaron investigaciones que arrojaron los siguientes resultados:

En el campo de prueba del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) en Saltillo, México en el año de 1995, se instaló una sola línea de 100 m de longitud y enterrada a 25 cm. Se hicieron mediciones en ambos lados de la tubería a una distancia de 15, 30 y 45 cm utilizando un sensor neutrónico. Los puntos de medición se establecieron a 25, 50 y 75 metros a lo largo de la tubería. Se irrigó 1 hora por día a una presión de 0.6 bar.

Se concluyó que la manguera tiene la capacidad de vaciar el contenido del agua en el suelo para cada una de las capas y a cada una de las distancias. Con el tiempo de riego de una hora fue necesario la aplicación durante 11 días para llegar a un contenido de humedad entre el 22 y el 24%, que es el requerido para la mayoría de los cultivos. A un espacio de 90 cm. y a 45 cm. de profundidad se logró cubrir un área suficiente, teniendo una descarga entre 1.1 y 1.4 l/m/hora durante el período.

Después de una serie de pruebas en México y en la Universidad de California en el Centro de Irrigación Tecnológica se determina que se obtienen grandes ahorros de agua ya que no se tienen pérdidas por evaporación; la baja presión de operación del sistema permite un ahorro de energía y un bajo mantenimiento; el suministro continuo de agua en cantidades adecuadas permite un incremento en la cantidad y calidad de la cosecha; la materia prima des prácticamente indestructible, no existe penetración de raíces en el micro poro; la obturación por minerales es casi nula ya que se mantiene un ambiente húmedo y bajo condiciones de mantenimiento químico los minerales se mantendrán en solución al no llegar a secarse.

## 5 BIBLIOGRAFIA

- Cadahia, L.C. (1998). "Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales". Ed. Mundi Prensa. España. 475 pp.
- Díaz, T.; Espi, E.; Fontecha, A.; Jiménez, J.C.; López, J. Y Salmerón A. (2001). "Los filmes plásticos en la producción agrícola". Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 320 pp.
- Dorota, Z.H. (1996). "Microirrigation and fertigation of vegetables". Memorias del Simposium internacional de fertirrigación. Hermosillo, Son. México. 114 pp.
- Fuentes, Y. J.L. (1991). "Instalación de riego por goteo". Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 35 pp.
- 5.Varios MAPA(1999). "El suelo y los fertilizantes". Ed. MundiPrensa. Madrid, España. 352 pp.



- Gurovich, R.L (1999). "Riego superficial tecnificado". Ed. Alfaomega. Chile. 610 pp.
- Hoff, Regina (1995). "Underground irrigation systems with flexible porous piping". Symposium International Agricultural Technologies with plastics. León, Gto. México. 159 pp.
- Ivanir, A. (1996). "Automatización de sistemas de riego". Memorias del Simposium internacional de fertirrigación. Hermosillo, Son. México. 114 pp.
- Maroto, B. J.V. (1991). "La práctica de la fertirrigación en España, algunas de sus problemáticas mas importantes". Memorias del II Congreso Nacional de Fertirrigación. Almería, España. 388 pp.
- Pizarro, C. F. (1990). "Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLFA) goteo, microaspersión, exudación". Ed. MundiPrensa. España. 471 pp.
- Roberts, C.J. (1999). "Tecnología del riego por goteo". Roberts Irrigation Products. Inc. Agricultura de las Américas. USA. 42 pp.
- SARH (1975). "Memorias del Seminario Nacional sobre Riego por goteo". Hermosillo, Sonora. México. Pp 213. 213 pp.
- Shani, M. (1992). "La fertilización combinada con el riego". Ministerio e Agricultura de Israel. Servicio de Extensión. 36 pp.
- Zazueta, R. F.S. (1992). "Microirrigación". ICFA International, Inc. Guadalajara, Jal. México. 202 pp.



# DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO POR MICROIRRIGACIÓN<sup>©1</sup>

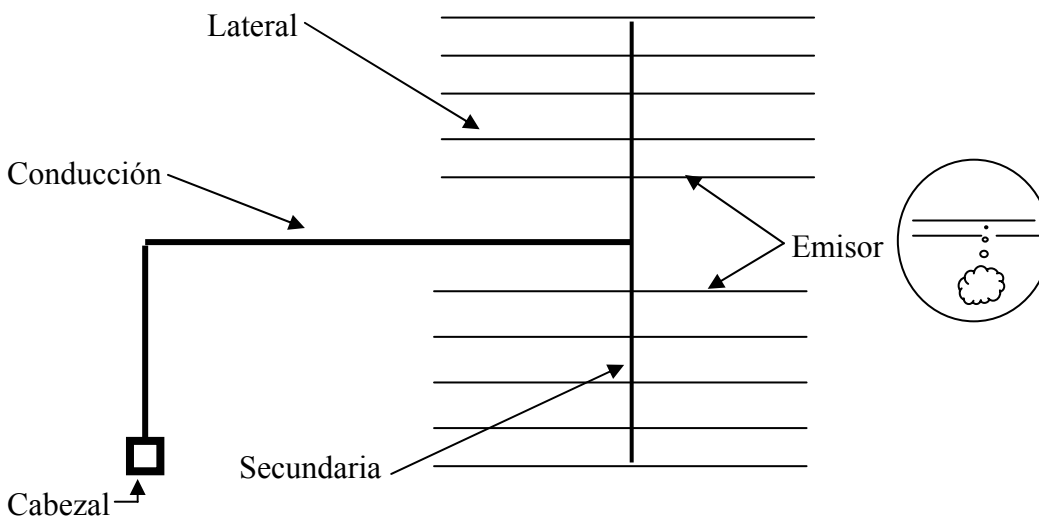
Vicente Ángeles Montiel

Dpto. de Irrigación. Universidad de Chapingo, Mexico.

[vangeles@chapingo.mx](mailto:vangeles@chapingo.mx)

## 1 Descripción General de un Sistema de Riego por Microirrigación

Un esquema simplificado de este tipo de sistema se muestra en la **figura 1**.



**Fig. 1.** Elementos de un sistema de riego por microirrigación

Un Sistema de Riego por Microirrigación está constituido básicamente por:

- Fuente de agua.- Cuando sea posible, es recomendable utilizar el agua bombeada directamente de un pozo o un estanque limpio. Otro tipo de fuentes pueden ser piletas, represas, bordos de captación, ríos, manantiales, canales de riego o cualquier otro cuerpo de agua disponible y cuya agua una vez filtrada y tratada no cause problemas en la red o en el suelo.
- Cabezal.- Consiste de una serie de dispositivos para entregar a la red hidráulica agua presurizada, de calidad adecuada, en el momento oportuno y en la cantidad apropiada. Un cabezal o unidad de control, mínimo debe constar de los elementos siguientes: fuente de energía (bomba), unidad de prevención de flujo en reversa, sistema de inyección de productos químicos, sistema de filtrado, válvulas de control, manómetros, medidores de volumen y controladores automáticos.

- c) Tuberías de conducción.- Tienen por objeto llevar el agua desde el cabezal hasta los distintos elementos que distribuyen el agua al cultivo. La línea que sale del cabezal se le llama línea primaria, cuando hay una bifurcación en la línea primaria, las líneas conectadas directamente a la primaria se les llama secundarias. Cuando las secundarias se bifurcan, las líneas conectadas a ésta se les llama terciarias y así sucesivamente.

La conducción se coloca enterrada a una profundidad lo suficientemente grande para que no sea dañada por la maquinaria que circule sobre ella. La longitud de conducción debe reducirse en cuanto sea posible, procurando diseñarla en forma tal que entregue el agua a las tuberías secundarias en la forma más directa posible. Esto trae como consecuencia, además de un ahorro de material, un ahorro en potencia para vencer la fricción a lo largo de la conducción.

- d) Secundaria.- La secundaria es en sí parte de la conducción; sin embargo, se le caracteriza en forma especial debido a que su diseño hidráulico reviste algunos aspectos especiales. Dado que el gasto a lo largo de la secundaria va disminuyendo, a medida que ésta alimenta a las líneas laterales, resulta en un gran ahorro de material el ir reduciendo el diámetro a lo largo de ésta en forma telescópica. Normalmente resulta conveniente enterrar la secundaria, ya que es perpendicular a la dirección de las actividades culturales.
- e) Lateral.- Es la última parte de la red que conduce agua al cultivo. Los emisores se colocan a lo largo de esta línea en los puntos en los que se desea aplicar el agua. La lateral se puede enterrar, dejar descansar directamente sobre el suelo, o bien se levanta para no interferir con las operaciones de limpieza del cultivo. La orientación de las laterales sigue las líneas del cultivo y usualmente está determinada por la dirección de las operaciones agronómicas o la topografía del terreno.
- f) Emisor.- Es el elemento más importante de un sistema de riego por microirrigación. Su principal función es permitir la salida del agua con un gasto controlado. Los tipos de emisores más comunes son: microaspersores y microchorros, goteros, microtubos, borboteadores, cintas y mangueras.

## **2 Información Necesaria para el Diseño**

La información básica para caracterizar la región en donde se efectuará el proyecto de riego (Zazueta, 1992), es la siguiente:

- a) Clima.- Los datos de los elementos del clima que se requieren son: precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación, velocidad del viento y porcentaje de horas luz.
- b) Suelo.- A efecto de caracterizar el suelo con fines de riego es necesario recabar la siguiente información: textura, densidad aparente, velocidad de infiltración básica, profundidad del suelo, contenido de humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente.
- c) Cultivo.- Es útil conocer del cultivo: nombre (especie y variedad), etapas de desarrollo, coeficiente de cultivo, nivel de agotamiento permisible del agua en el suelo y profundidad de la zona densa de raíces.
- d) Fuente de agua.- La información empleada de la fuente de agua se refiere a: Tipo de fuente (pozo, río, presa, lago, etc.) y localización, caudal, horas de disponibilidad de la fuente, calidad física y química del agua.
- e) Parcela.- En este caso es conveniente contar con: plano (área, dimensiones, linderos y obstáculos en el terreno), pendiente, porcentaje del área que se pretende regar y espaciamiento entre plantas y entre hileras.

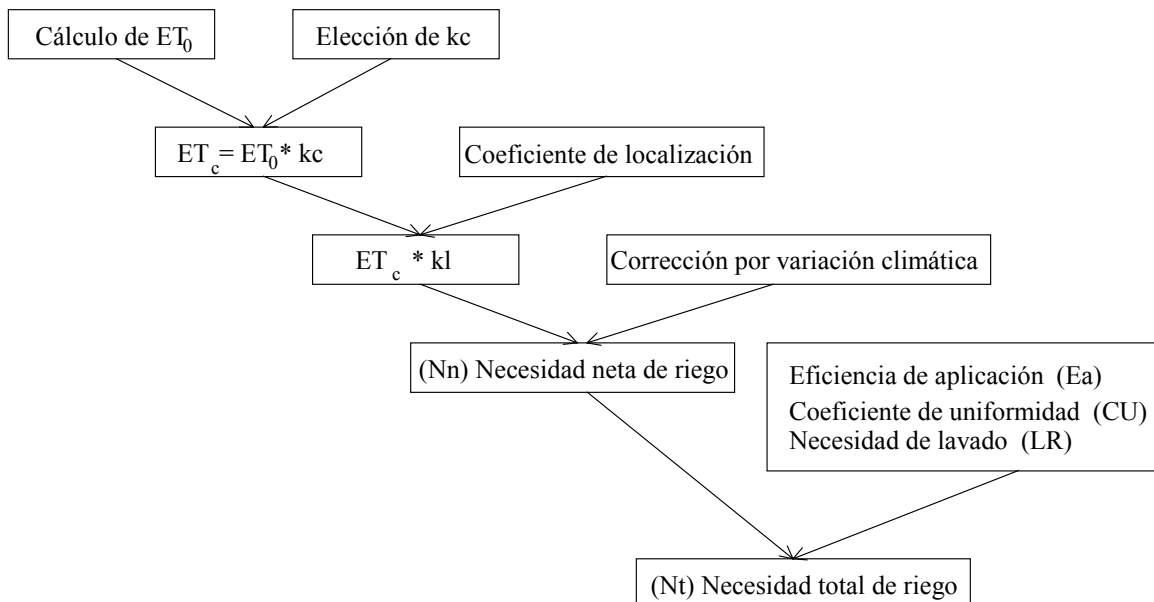
- f) Sistema de riego.- La información de partida consistirá de: método de riego, características del emisor (modelo, caudal, presión, diámetro de mojado, ángulo de cobertura), espaciamiento entre emisores y laterales, eficiencia de riego, número de emisores por planta, horas máximas de operación por día, días de paro y coeficiente de uniformidad deseado.

### 3 Procedimiento General de Diseño

El diseño de un sistema de riego a presión presenta cuatro etapas bien definidas, que son: el diseño agronómico, el diseño geométrico, el diseño hidráulico y la determinación del costo del sistema.

#### a) Diseño agronómico

En el diseño agronómico se determinan los principales parámetros del riego como son: porcentaje de área bajo riego, lámina o volumen de riego, tiempo de riego, intervalos de riego, área de las unidades de riego, entre otros. Todo ello a partir del conocimiento de las necesidades de agua del cultivo en cuestión (figuras 2 y 3) y la elección de un emisor determinado.



**Fig. 2.** Diseño agronómico

#### b) Diseño geométrico

Básicamente consiste en decidir dónde se colocarán los emisores; después se establece la dirección y longitud de las líneas laterales y las tuberías secundarias (figuras 4 a 6); finalmente se hace el trazo de las líneas de conducción.

#### c) Diseño hidráulico

El diseño hidráulico de un sistema de riego a presión consiste en la selección adecuada de los componentes del sistema para cumplir con los requisitos de operación (figuras 7 a 11), los cuales básicamente consisten en determinar:

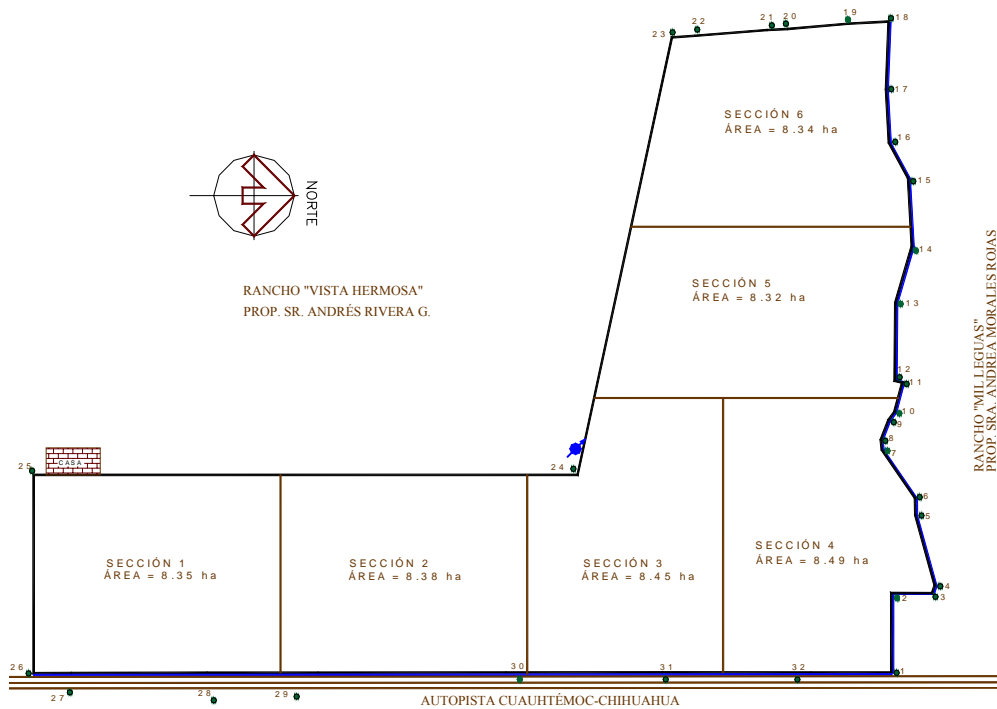
- El diámetro de la línea lateral, tubería secundaria y tubería principal
- Los parámetros necesarios para la determinación del equipo de bombeo

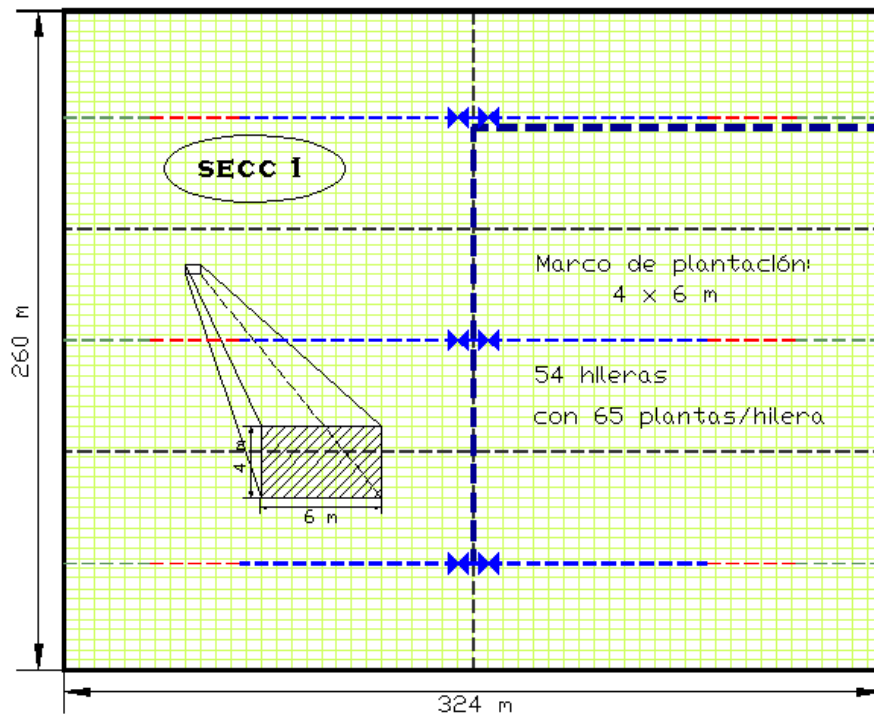
#### d) Costo del sistema

En esta etapa se cuantifican los materiales necesarios para la instalación, puesta en marcha y operación del sistema.

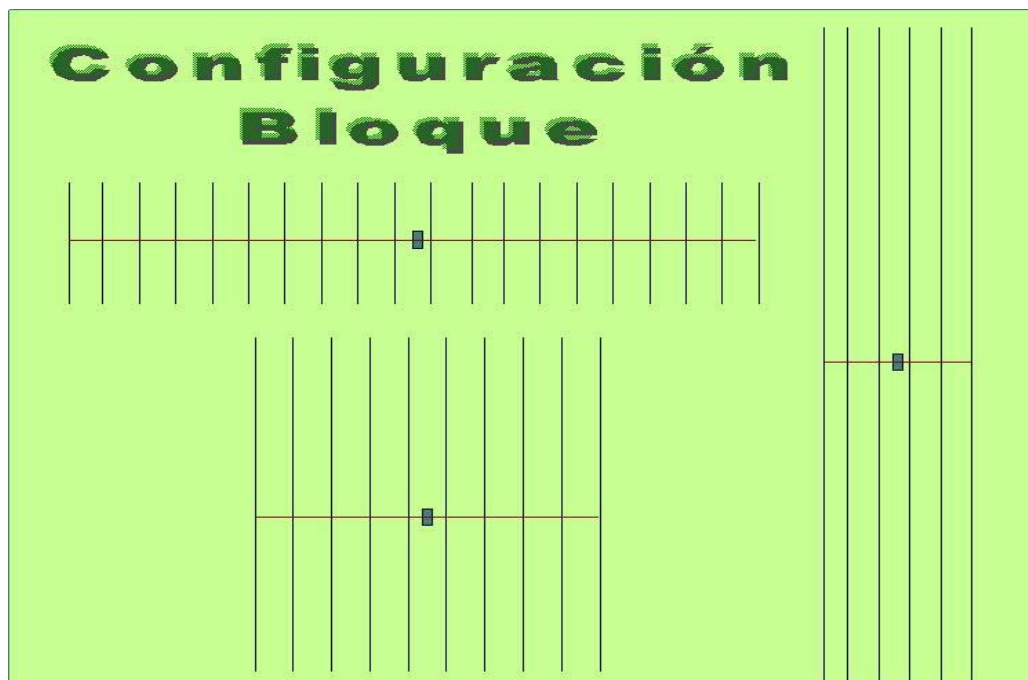
Diseño Agronómico			
<b>Información para determinar la Eficiencia de Aplicación</b>			
CE del agua de riego	(mmhos/cm) 0.54		
CE del agua del estrato de saturación del suelo para una reducción del rendimiento del cultivo del 100%	(mmhos/cm) 1.7		
Relación de Transpiración	(adim) 0.95		
Coefficiente de Uniformidad	(adim) 0.90		
Eficiencia de aplicación	(%) 75.7		
<b>Información para Cálculo de Parámetros</b>			
Caudal del Emisor	(l/h) 35.5		
Separación hileras	(m) 6		
Separación Plantas	(m) 4		
No. Emisores planta	(adim) 1		
Horas riego al día	(h) 22		
Superficie parcela	(ha) 50.4338		
<b>Parámetros del Diseño Agronómico</b>			
Diámetro de mojado	(m) 5.	Horas de riego por turno	(h) 16.83
Porcentaje área bajo riego(%)	81.81	No. Turnos de riego	(adim) 6.
Precipitación horaria	(mm/h) 1.81	Superficie por Turno	(ha) 8.41
Lámina neta	(mm) 30.44	Caudal requerido	(l/s) 34.54

Fig. 3. Parámetros agronómicos para un sistema por microaspersión

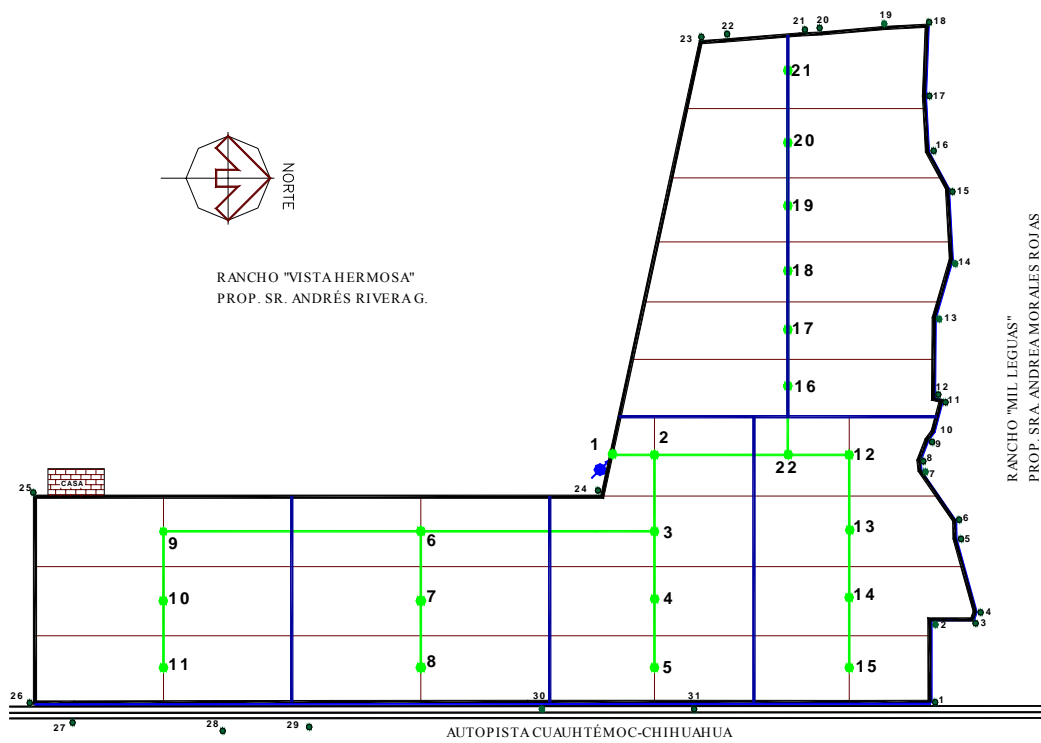




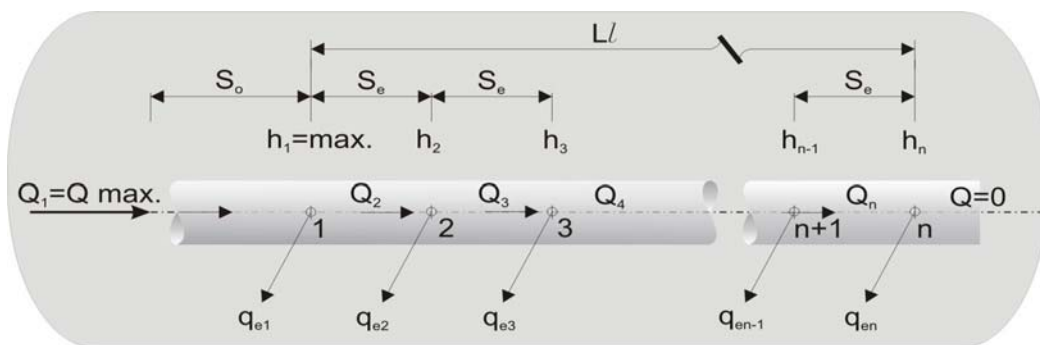
**Fig. 4.** Seccionamiento de la superficie de proyecto



**Fig. 5.** Configuraciones del bloque de riego



**Fig. 6** Disposición del sistema de riego



**Fig. 7.** Tubería con salidas múltiples

*Leyes aplicadas*

$$h_{i+1} = h_i + z_i - z_{i+1} - hf_{i,i+1} - \sum ha_{i,i+1}$$

$$qe_{i+1} = k(h_{i+1})^x$$

$$Q_{i+1} = Q_i - qe_i$$

$$L_i = S_o + S_e * (N - 1)$$

**Fig. 8.** Ecuaciones empleadas en el diseño hidráulico





Fig. 9. Estimación de cotas topográficas de los puntos de emisión

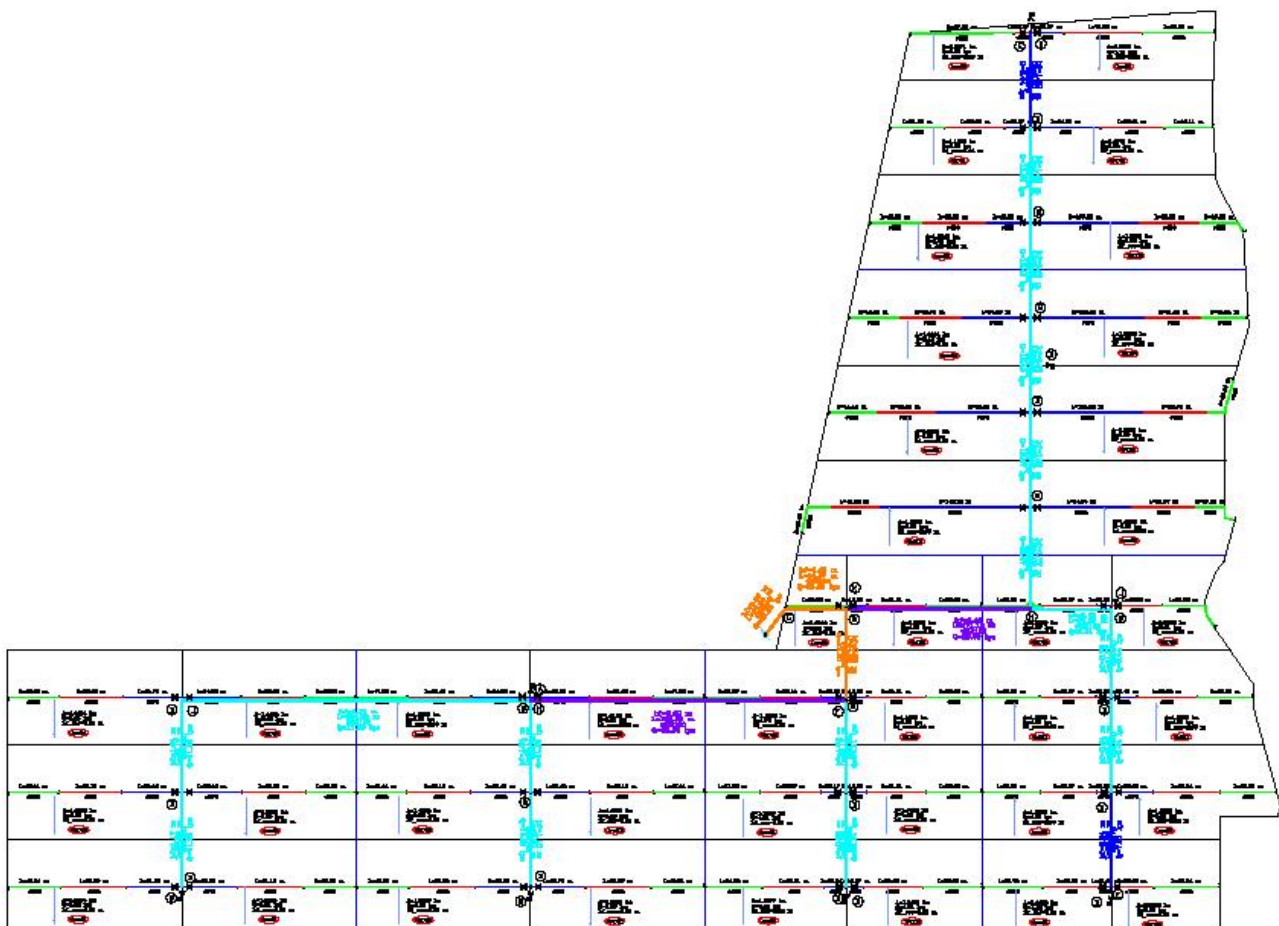


Fig. 10. Dimensionamiento de las tuberías

$$CU = \left(1 - \frac{1.27 * CV_f}{\sqrt{Ne}}\right) \frac{qe_{min}}{qe_m}$$
$$CU = (1 - CV_{qe})100 = \left(1 - \frac{S_q}{qe_m}\right)100$$
$$CV_{qe} = \frac{\sqrt{n^2 CV_h^2 + CV_f^2 + CV_t^2}}{\sqrt{Ne}}$$

**Fig. 11.** Determinación de Coeficientes de Uniformidad en la Etapa de Diseño

# **AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE FERTI-RIEGO: una tecnología que requiere adaptación del campo mexicano<sup>©1</sup>**

Ariel Peña

Plásticos Rex. Av. Romulo O'Farril 434  
Olivar de los Padres. México, D. F. CP-01780

[arpena@cydsa.com](mailto:arpena@cydsa.com)

Víctor Hugo Fernández

Plásticos Rex. Av. Romulo O'Farril 434

## **1 Introducción**

Es inminente la necesidad de tecnificar el campo y hacer más eficiente el uso de insumos agrícolas. La tecnología de riego es una de las alternativas para hacer más eficiente el empleo del agua y como consecuencia la energía empleada para llevarla a la parcela.

Con el surgimiento del ferti-riego como una alternativa para llevar en el agua insumos químicos solubles a los cultivos, a sido necesario también desarrollar tecnología para resolver nuevos problemas.

Es así como la automatización en riego y sistemas de ferti-riego surge como una alternativa para administrar la operación de los sistemas de riego, agregando, además, medición de elementos del ambiente o del suelo o del sistema mismo para modificar su estado de funcionamiento.

## **2 Situación**

Sin duda, en México, se tiene cada vez más necesidad por motivos de competencia internacional, el introducir este tipo de tecnología a los sistemas agrícolas y en particular al riego.

La automatización de sistemas requiere se atienda en dos vertientes, por un lado para la infraestructura que ya esta instalada y por el otro para las nuevas que se están desarrollando.

Es un hecho que asociado a esto la comunidad de técnicos ligados al sector requieren actualizar y/o modificar sus conocimientos relativos a diseño, instalación y servicio de sistemas de riego, agregando a su conocimiento las consideraciones que requiere el empleo de estas tecnologías. Por su parte las instituciones de enseñanza e investigación también requieren tomar decisiones que

---

©CYTED 2004; FERTI-RIEGO: TECNOLOGÍAS Y PROGRAMACIÓN EN AGROPLASTICULTURA (149-152)  
Guzmán, M. & López Gálvez, J. (Ed) ISBN: 84-96023-27-3; DL: A1-290-2004; <http://www.cytetd.org>

<sup>1</sup> Trabajo presentado al **Taller de Riego y Fertirrigación**. (junio 2004) Colegio de Postgraduados, Montecillo México

---

permitan actualizar por un lado sus planes de estudio y dirigir investigaciones aplicadas que permitan resolver problemas reales de productores mexicanos.

El proceso de transferencia y aprendizaje es sin duda uno de los grandes paradigmas que se debe de romper, ya que la aceptación de la tecnología no siempre resulta fácil, entonces es necesario que se vayan desarrollando niveles tecnológicos acordes con las características de cada región y productos donde tengamos niveles desde los mas simples como son pequeños sistemas productivos con algunos elementos de control como el arranque y paro de bombas y apertura de bombas, con algunos elementos simples de alarmas; pasando por sistemas de riego con retroalimentación para la toma de decisiones automática en sistema de ferti-riego; hasta sistemas elaborados de control de riego, fertilización y ambiente en invernaderos.

En diseño es importante concebir por un lado que se requieren uniformidades altas, normalmente superiores a las que se da a un sistema presurizado tradicional. Relacionado a esto se requiere que las universidades e institutos de investigación generen conocimientos que permitan tomar criterios tendientes a incrementar la eficiencia de riego, ligada con la mejor aplicación y ahorro de insumos químicos aplicados por el sistema de riego.

Por otro lado es importante familiarizar a los estudiantes con esta tecnología y las consideraciones que deben tener respecto a los productos en el mercado, como seleccionarlos y proponer un proyecto con este tipo de elementos.

En la instalación, de acuerdo a la forma de transmisión de ordenes de operación de los elementos es importante que los instaladores y supervisores de instalación, tengan en cuenta la ubicación correcta de cables, tubines o radios, para procurar que la instalación sea duradera, tomando en cuenta las contingencias más comunes que se tienen en la operación de este tipo de sistemas.

La operación de este tipo de sistemas, requiere así una mejor conciencia respecto a la necesidad de información del sistema mismo, es por ello que es muy importante que el personal responsable del sistema sea un ingeniero capacitado que tenga los elementos para tomar decisiones respecto al sistema y su interacción con el cultivo, así como una buena bitácora que a su vez le servidara como base a los responsables del servicio o mantenimiento del sistema.

Un sistema como este requiere que las compañías tengan una estructura de servicio, donde se contemplen elementos tanto de mantenimiento preventivo, como correctivo. Esto por un lado, por otra parte se requiere además que los usuarios generen conciencia de que este tipo de sistemas requieren mas atención en el servicio y que es preferible invertir en mantenimiento preventivo para garantizar una operación sostenible del sistema.

Por otra parte es necesario crear otros niveles de servicio como lo son los referentes a nutrición vegetal, agrónoma, compañías que se dedique a mantenimiento, operadores certificados, asesores en comercio en mercados especializados, todas estas se pueden considerar como áreas de oportunidad tanto en las universidades, compañías, gobierno y asociaciones de usuarios.

Es importante que la adopción de esta tecnología considere los elementos culturales que tiene el Mexicano, así como el dimensionamiento de los requerimientos, por ejemplo, muchas de las casas europeas o israelíes, no tienen modelos de inyección para proyectos de grandes superficies que hay en México.

Toda tecnología genera cambios en el entorno donde es usada, por esta razón también resulta importante que la sociedad relacionada con el sector riego, converjan en la formación de normas que permitan controlar el impacto sobre el ambiente, sobre la economía, el mercado, etc. Modifique directo o indirectamente una adopción desordenada de esta tecnología, como puede ser contaminación de acuíferos o salinidad de suelos.

---

### **3 Conclusión**

Es necesario que las empresas, universidades e instituciones trabajen conjuntamente para resolver problemas inherentes a la transferencia de tecnología.

Hay grandes áreas de oportunidad que se tienen que resolver paralelamente a la transferencia, es por ello que es importante tener vínculos con asociaciones de usuarios y gobierno para aumentar la sinergia y potenciar los beneficios de esta tecnología.



# EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO (MICROIRRIGACION)<sup>©1</sup>

René. Martínez Elizondo

Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo México

Km 38.5 Carretera México-Texcoco México

[reneme@chapingo.mx](mailto:reneme@chapingo.mx)

## Resumen

En éste trabajo se describen algunas metodologías para evaluar un sistema de riego localizado (microirrigación), señalando las fuentes que provocan una mala uniformidad del riego y su posible corrección. El parámetro más importante para evaluar un sistema de riego localizado es el coeficiente de uniformidad, de tal manera que al revisar literatura sobre cómo calcularlo, a partir de datos de campo, de volúmenes o caudales, existen diferentes fórmulas o ecuaciones, cada una de ellas con enfoques diferentes o bien que pretenden detectar algún problema en particular. Cada una de éstas ecuaciones fueron discutidas e interpretadas en el presente trabajo, presentando tablas en las que se clasifican los sistemas, en base a los valores de los coeficientes de uniformidad obtenidos. Para corroborar algunos de los aspectos obtenidos en la revisión de literatura se realizaron evaluaciones en goteo y microaspersión, en el Laboratorio de Ingeniería de Riego, del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo, reportando y analizando los resultados, de tal manera que dentro de las principales conclusiones obtenidas se tienen las siguientes: El coeficiente de uniformidad es un parámetro aceptable y confiable para evaluar un sistema de riego localizado. Los coeficientes mostrados en éste trabajo en las ecuaciones (3), (4), (7) y (8) y en el Cuadro 4, permiten obtener, de manera numérica, la evaluación de un sistema de riego localizado y establecer las posibles causas que ocasionan el problema de una mala uniformidad de riego, siempre y cuando se interpreten adecuadamente.

## 1 Introducción y objetivos

Tomando en cuenta, que el agua es un recurso limitativo en la naturaleza se han propuesto, que se eficiente el uso de la misma, principalmente la dedicada al riego de cultivos, volumen que cada día se reduce más, provocado por la competencia con las ciudades en crecimiento que requieren satisfacer sus necesidades domésticas. El agua utilizada en las ciudades es disminuida de la que se tiene para la agricultura de riego, por lo que las técnicas de aplicación del riego se deben modernizar, considerando que con menos agua se tiene que aumentar la producción para suministrar los alimentos a una población en aumento.

En México la mayor parte de la superficie de riego es por gravedad (90 %) y en el restante 10 % se ha estado introduciendo en los últimos años, riego presurizado (aspersión y microirrigación), el cual

---

©CYTED 2004; FERTI-RIEGO: TECNOLOGÍAS Y PROGRAMACIÓN EN AGROPLASTICULTURA (153-160) Guzmán, M. & López Gálvez, J. (Ed) ISBN: 84-96023-27-3; DL: Al-290-2004; pg 153-160

<sup>1</sup> Trabajo presentado al **Taller de Riego y Fertilización**. (junio 2004) Colegio de Postgraduados, Montecillo México

---

tiene dentro de sus ventajas que mejora notablemente la eficiencia de conducción, ya que el agua se conduce en tuberías; así como la uniformidad de la aplicación del riego a nivel parcela, cuando el sistema se diseña correctamente y a su vez se opera adecuadamente.

En los riegos por aspersión y microirrigación, se deben de contar con la información suficiente de campo y climática para garantizar un diseño adecuado, que permita obtener valores altos de eficiencia de aplicación y una buena uniformidad del riego.

En un riego presurizado una buena uniformidad en la aplicación del riego esta relacionada directamente con los siguientes aspectos: un adecuado diseño, tuberías y emisores de buena calidad y con una correcta operación y mantenimiento del sistema. Cuando el sistema esta instalado y se quiere conocer la manera como funciona, generalmente se recurre a obtener datos de campo que permitan tener una evaluación del mismo, mediante algunos cálculos, de tal manera que se puede conocer si el sistema funciona bien, regular o mal y las causas que lo ocasionan.

En éste artículo solo se describirá los pasos para evaluar un sistema de riego localizado (microirrigación) tratando de utilizar datos de campo que permitan ejemplificar las metodologías presentadas.

El objetivo de éste trabajo es describir las metodologías para evaluar un sistema de riego localizado (microirrigación), señalando las fuentes que provocan una mala uniformidad del riego y su posible corrección.

## 2 Revisión de Literatura

Los parámetros más utilizados para evaluar un sistema de riego localizado son la Eficiencia de Aplicación y el Coeficiente de Uniformidad. Sin embargo, Vermeiren y Jobling (1986), en el estudio de FAO No. 36, señala que la Eficiencia de aplicación ( $E_a$ ), en riego localizado, está en función del Coeficiente de Uniformidad ( $CU$ ) mediante la siguiente ecuación:

$$E_a = K_s * CU \quad (1)$$

Donde:  $K_s$  es un coeficiente que expresa las pérdidas inevitables por percolación profunda.

De lo anterior se desprende que el Coeficiente de Uniformidad es el parámetro más importante para evaluar un sistema de riego localizado. El Coeficiente de Uniformidad es el cálculo, a través de datos de campo de caudales o presiones, de la desviación estadística con respecto a la media general (para riego por aspersión) o a la media del 25% de datos más bajos obtenidos en la prueba de campo (Riego Localizado).

### 2.1 Obtención de datos de campo

Para evaluar un sistema de riego, se pone a funcionar las subunidades o secciones de riego, como lo señale las unidades operacionales del diseño y se procede a tomar de 16 a 36 datos de volúmenes ( $v$ ), caudales ( $q$ ) o presiones de los emisores ( $p$ ) en cada subunidad o sección. Rodrigo López et.al (1992), define que los datos de campo ( $v$ ,  $q$  ó  $p$ ), deberán tomarse de manera sistemática, para ello se selecciona 4 laterales de la subunidad de riego y en cada lateral se escoge 4 emisores, mismos a los que utilizando el método volumétrico obtiene la información de caudal en cada uno de los 16 emisores seleccionados. En la evaluación según ASAE (EP458), mencionado por Rodrigo López (1992), la elección de los “ $n$ ” emisores para medir en cada uno de ellos caudal y/o presión, se hace de una forma “artificialmente” aleatoria, que consiste en distribuir uniformemente “ $n$ ” localizaciones o plantas a lo largo de la subunidad de riego y en cada una de esas plantas se elige aleatoriamente un emisor.



## 2.2 Coeficiente de Uniformidad (CU).

Se calcula con los datos de campo y se puede enfocar desde diferentes puntos de vista estadístico, dándole más énfasis a la fabricación de los emisores, diseño y operación del sistema.

Keller y Karmeli (1975) y Hoffman et.al (1992), proponen el cálculo del CU relacionando la media de la cuarta parte de datos más bajo dividida entre la media general:

$$CU = 100 * \left( \frac{q_{25\%}}{q_{med}} \right) \quad (2)$$

Donde:  $q_{25\%}$  es la media del 25% de valores más bajos de los caudales de agua recibidos por las plantas, de todas las medidas realizadas en campo;  $q_{med}$  es la media de todos los caudales o volúmenes obtenidos en campo.

De la misma manera se puede aplicar para medidas de presión.

Cuando se quiere detectar problemas en la operación del sistema CU se calcula, según Rodrigo López (1992) así:

$$CU = 100 * \left( \frac{q_{min}}{q_{med}} \right) \quad (3)$$

Donde:  $q_{min}$  Es el caudal mínimo de los datos de campo obtenidos

En la fabricación de los emisores, en algunas ocasiones se tienen grandes diferencias en el diámetro de salida, mismo que puede ser detectado calculando el CU, según Rodrigo López (1992), con la siguiente ecuación:

$$CU = 100 * \left( 1 - \frac{1.27 * CV}{\sqrt{e}} \right) \quad (4)$$

Donde:  $CV$  Es el coeficiente de variación de los datos obtenidos en campo

$$CV = \frac{S}{q_{med}} \quad (5)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (q_i - q_{med})^2}{n - 1}} \quad (6)$$

$e$ : Número de emisores por planta;  $n$ : Número de datos obtenidos en campo;  $q_i$ : Caudal del emisor  $i$ .

Rodrigo López et. al (1992), Hoffman et.al (1992) y Media San Juan (1997), calculan el CU, combinando las ecuaciones (3) y (4), de tal manera que obtienen un coeficiente que expresa, tanto el efecto provocado por la fabricación y/o taponamiento de los emisores y los posibles problemas de operación.

$$CU = 100 * \left( 1 - \frac{1.27CV}{\sqrt{e}} \right) \frac{q_{min}}{q_{med}} \quad (7)$$

La ASAE EP458 (1988) y Bralts (1999), mencionan el término llamado Uniformidad de riego estadística ( $U_s$ ) y la calcula con la ecuación (8):

$$U_s = 100 * (1 - CV) \quad (8)$$

Para calcular  $CV$ , se utiliza las ecuaciones (5) y (6).

De las diferentes ecuaciones para calcular el CU, la más utilizada por considerarse la más completa, es la (7), siguiendo en el orden la (8) y la (2).

### 2.3 Evaluación del Sistema de Riego.

La evaluación de un sistema de riego tiene el propósito de diagnosticar, en primer lugar cómo funciona y en segundo lugar las posibles causas que originan el problema, con el fin de dar algunas recomendaciones.

En el Cuadro 1 se presenta la clasificación de los sistemas y la comparación entre los valores de la uniformidad del riego estadística ( $U_s$ ) presentado por la ASAE EP458 (1988) y del Coeficiente de Uniformidad (CU) completo, presentado en la ecuación (7) de este artículo.

Cuadro 1. Uniformidades de riego obtenidas con la ecuación (7) y (8) y su clasificación.

Grado de aceptabilidad	Uniformidad estadística $U_s$ (%)	Coeficiente de Uniformidad CU (%)
Excelente	100-95	100-94
Bueno	90-85	87-81
Normal	80-75	75-68
Mala	70-65	62-56
Inaceptable	< 60	< 50

La ASAE EP405.1 (1993), presenta una recomendación de los rangos del CU, calculado con la ecuación (7), aceptados para terrenos planos y con pendiente (Ver Cuadro 2). Uno de los factores que más influye en la uniformidad del riego es la fabricación del emisor, que por ser de plástico hay una cierta variabilidad en los diámetros de salida, lo cual trae como consecuencia que los caudales no sean iguales.

Cuadro 2. Rangos del Coeficiente de Uniformidad recomendados en riego localizado.

Tipo de emisor	Topografía	CU %
Emisores espaciados más de 4 m, cultivos permanentes	Uniforme (< 2% pendiente)	90 a 95
	Ondulado (> 2%)	85 a 90
Emisores espaciados menos de 4 m, cultivo permanente o semipermanente	Uniforme	85 a 90
	Ondulado	80 a 90
Tuberías emisoras (cintas de riego) en cultivos anuales permanentes	Uniforme	80 a 90
	Ondulado	70 a 85

La ASAE EP405.1 (1993), muestra una tabla donde se clasifica los emisores por su Coeficiente de Variación (CV) en la fabricación (Ver cuadro 3).

Cuadro 3. Clasificación de emisores según el Coeficiente de Variación (CV) de fabricación.

Tipo de Emisor	Rango del CV (decimal)	Clasificación
Emisor puntual	< 0.05	Excelente
	0.05 - 0.07	Promedio
	0.07 - 0.11	Marginal
	0.11 - 0.15	Pobre
	> 0.15	Inaceptable
Manguera de riego	< 0.10	Bueno
	0.10 - 0.20	Promedio
	> 0.20	Marginal o inaceptable

Los cuadros 1, 2 y 3 permiten definir en qué condiciones está el sistema de riego, pudiendo a partir de esta clasificación hacer recomendaciones para mejorar el sistema. Después de detectar una baja uniformidad en el sistema de riego se procede a definir el motivo que lo ocasiona, para lo cual se debe leer los manómetros en la entrada y al final de la subunidad, revisar los datos de CV del emisor, la variación de los caudales, el funcionamiento de los filtros y cualquier información que pueda ocasionar variación en la presión y/o el caudal de los emisores para finalmente señalar lo que se debe modificar o mejorar para obtener un mejor CU.

### 3 Desarrollo del Trabajo

Se realizaron algunas evaluaciones en el lote M-2 del Laboratorio de Ingeniería de Riego del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo. En el lote M-2, de 3 ha, se tiene una parte dedicada a frutales con riego por microaspersión y otra parte para el cultivo de hortalizas con riego por goteo y cintas de riego.

Las evaluaciones se hicieron en diferentes subunidades con emisores nuevos, usados y en algunos casos trabajando con la presión correcta y otros con falta de la misma. Lo anterior permitió definir lo que sucede en cada uno de los casos.

En cada una de las evaluaciones se obtuvieron los coeficientes de uniformidad señalados en la revisión de literatura y además se agregó la variación del caudal ( $Var q_i$ ), mediante la siguiente ecuación:

$$Var (q_i) = \frac{q_{max} - q_{min}}{q_{med}} \quad (9)$$

Donde:  $q_{max}$  – Caudal máximo de la prueba.

### 4 Resultados

Los resultados de las pruebas de evaluación realizadas en el Laboratorio de Ingeniería de Riego del Departamento de Irrigación de la UACH, se pueden ver en el cuadro 4, en el cual se pueden hacer los siguientes comentarios:

- ✓ En la columna 2, que corresponde a microaspersores nuevos, se tiene un  $CU_1$  bajo (82.64 %). Buscando la explicación de esto se pueden revisar los  $CU_2$  (94.87 %) y  $CU_3$  (87.11 %), definiendo que éste último coeficiente es el que detecta el posible problema, es decir variación del caudal por problemas de presión. Por lo anterior se procede a revisar la presión de entrada a la subunidad o sección, en la primer línea de datos, donde se tiene que la presión fluctuó de 15 a 20 m, de tal manera que al compararla con la presión de operación del microaspersor (20 m) se observa que le falta presión para que los microaspersores de la subunidad funcionen correctamente.
- ✓ En la columna 3, que corresponde a microaspersores nuevos, el  $CU_1$  es aceptable (91.52 %) y los  $CU_2$  Y  $CU_3$  son altos. Lo anterior es debido a que en ésta sección no tiene problema de presión en la entrada (23 a 24 m) y el CV es bajo (0.028).
- ✓ Haciendo un análisis semejante en la columna 4, correspondiente a microaspersores usados, en donde el  $CU_1$  es de 89.67 %, se aprecia que el posible motivo que ocasiona no tener una uniformidad más alta puede ser algún problema de taponamiento o alguna fuga.
- ✓ En las columnas 5 y 6 de goteros integrados usados, se puede asumir problemas de taponamiento, además que en la columna 5 se observa problemas de baja presión (8 a 10 m), ya que el emisor funciona con 10 m.
- ✓ En las últimas dos columnas, de goteros nuevos se observa que el problema principal es baja presión, ya que la presión de operación es 10 m.

En la mayoría de los casos se pudo detectar que el  $CU_4$  y la  $U_s$  son muy semejantes.

$$CU_1 = \left(1 - \frac{1.27 * CV}{\sqrt{e}}\right) * \frac{q_{min}}{q_{med}} * 100$$

$$CU_2 = \left(1 - \frac{1.27 * CV}{\sqrt{e}}\right) * 100$$

$$CU_3 = \left(\frac{q_{min}}{q_{med}}\right) * 100$$

$$CU_4 = \frac{q_{med}^*}{q_{med}} * 100$$

$$U_s = 100 * (1 - CV)$$

$$CV = \frac{S}{q_{med}}$$

$$VAR(q_i) = \frac{q_{max} - q_{min}}{q_{med}}$$

$q_{med}^*$  = media del cuarto inferior  
CV = Coeficiente de Variación

CU = Coeficiente de Uniformidad  
Us = Uniformidad Estadística

Cuadro No.4. Evaluación de Riego Localizado (Microirrigación)

	MICRO ASPERSORES			GOTEROS INTEGRADOS			
	NUEVOS		USADOS	USADOS (2-3 años)		NUEVOS	
	2ª Sección (Este) Jul/99	1ª. Sección (Oeste) Ago/99	2a. Sección (Este) Abril/99	2a. Sección Sep.=30 cm	3a. Sección Sep=60cm	3a. Sección Sep. = 60 cm	
Presión (m)	20 - 15	24 - 23	22	8 - 10	12	8.8 - 7.8	10 - 8.6
CU 1 (%)	82.64	91.52	89.67	55.09	60.10	85.88	84.46
CU 2 (%)	94.87	96.41	96.19	68.15	87.61	94.41	95.32
CU 3 (%)	87.11	94.92	93.22	80.83	68.61	90.96	88.60
CU 4 (%)	94.75	96.59	95.71	86.01	86.66	94.77	95.36
CV (decimal)	0.04	0.028	0.03	0.25	0.10	0.04	0.036
Us (%)	96	97.2	97	75	90	96	96.4
VAR (q <sub>i</sub> ) %	19.4	10.64	12.08	90	43.3	20.21	17.72

**FRUTALES** : Lateral con microaspersor alimentado por centro de 50 m c/u.

**HORTALIZAS**: Laterales con goteros integrados 26 líneas de 50 m alimentadas por el centro.

## 5 Conclusiones

- ✓ El coeficiente de uniformidad es un parámetro aceptable y confiable para evaluar un sistema de riego localizado.
- ✓ Los coeficientes mostrados en éste trabajo en las ecuaciones (3), (4), (7) y (8) y en el Cuadro 4, permiten obtener, de manera numérica, la evaluación de un sistema de riego localizado y establecer las posibles causas que ocasionan el problema de una mala uniformidad de riego, siempre y cuando se interpreten adecuadamente.
- ✓ Al adquirir los emisores de riego localizado se debe tener un cuidado especial en la uniformidad de fabricación de los mismos. Un parámetro que permite definir la calidad de fabricación de los emisores es el Coeficiente de Variación (CV), apoyándose en el Cuadro 3 para su clasificación y selección.
- ✓ Con el fin de detectar y prevenir posibles problemas de taponamiento y variación en la presión, es recomendable evaluar periódicamente el sistema, partiendo de cuando el equipo es nuevo, información que se tomará como punto de referencia para observar cambios, los cuales deberán corregirse para darle más vida útil al sistema.
- ✓ Los datos de campo, de volumen o caudal, pueden tomarse al azar o de manera sistemática. Aunque en éste trabajo no se hizo un análisis de cuál es el mejor, de manera empírica se puede decir que no hay grandes diferencias.

## 6 Referencias

- American Society of Agricultural Engineers 1993. Design and Installation of Microirrigation Systems. ASAE EP405.1. St. Joseph, Michigan, U.S.A.
- American Society of Agricultural Engineers 1988. Field Evaluation of Microirrigation Systems. ASAE Engineering Practice: ASAE EP458. St. Joseph, Michigan, U.S.A.
- Bralts, Vicent F. 1999. Riego por Goteo. Volumen VI, del V Curso Internacional de Sistemas de Riego. Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México.
- Hoffman, G. J.; Howell, Terry A y Solomon, Kenneth H. 1992. Management of Farm Irrigation Systems. Monograph No. 9 de la American Society of Agricultural Engineers (ASAE ). Segunda Reimpresión. St. Joseph, MI. USA.
- Keller, J. and Karmeli, D. 1975. Trickle Irrigation Design. Rain Bird Sprinkler Mfg. Corp. Glendora, CA. USA.
- Medina San Juan, J. A. 1997. Riego por Goteo. 4ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-Barcelona, España y México.
- Rodrigo López, J.; Hernández Abreu, J. M. ; Pérez Regalado, A. y González Hernández, J. F. 1992. Riego Localizado. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid – Barcelona, España y México.
- Vermeiren, L. Y Jobling, G. A. 1986. Riego Localizado. Estudio FAO No. 36. Roma, Italia.



# EVALUACIÓN DEL RIEGO SUB-SUPERFICIAL EN EL CULTIVO DE ALFALFA<sup>©1</sup>

René. Martínez Elizondo;

Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo, México

Km 38.5 Carretera México-Texcoco México

[reneme@chapingo.mx](mailto:reneme@chapingo.mx)

S. Pérez Nieto;

Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo, México

I. Salazar Salazar

Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo, México

## Resumen

Actualmente gracias a que se dispone de variados sistemas de riego localizado, se tiene la posibilidad de poder seleccionar y evaluar si un sistema en especial es adecuado para utilizarlo en la producción de un cultivo y si además este provee al mismo la cantidad de agua necesaria para su desarrollo, así como también si el sistema da la posibilidad de poder controlar el gasto de agua y evitar pérdida innecesaria de este recurso.

Por tal razón se realizó el presente trabajo con los siguientes objetivos: a) evaluar la bondad del riego localizado subsuperficial en el cultivo de alfalfa en la zona de Chapingo, Edo. de México, b) Conocer la distribución del patrón de mojado cuando se colocan las cintas de riego a 15 y 25 cm de profundidad y su efecto sobre la producción. Dicho sistema se estableció a las profundidades de 15 y 25 cm de profundidad. En prueba de riego, realizada en campo, se obtuvo 75 cm de diámetro de mojado y una profundidad máxima de mojado de 50 cm, por lo que la cinta se colocó a 75 cm de separación entre líneas de cintas de riego.

En la parte superficial del suelo, en ambos tratamientos, hubo variabilidad de la humedad y en algunos casos escasez; sin embargo, en las capas de 30-60 y 60-90 cm se tuvieron excesos, provocado por una mala estimación del requerimiento de agua por el cultivo, lo cual se corregirá para el segundo año de producción. Otro resultado importante esta relacionado con la producción de alfalfa por superficie. Encontrándose para el caso de las cintas a la profundidad de 15 cm una producción de 165 ton/ha en verde y para las cintas a 25 cm de profundidad la producción fue de

---

©CYTED 2004; FERTI-RIEGO: TECNOLOGÍAS Y PROGRAMACIÓN EN AGROPLASTICULTURA (160-168) Guzmán, M. & López Gálvez, J. (Ed) ISBN: 84-96023-27-3; DL: A1-290-2004; <http://www.cytcd.org>

<sup>1</sup> Trabajo presentado al **Taller de Riego y Fertirrigación**. (junio 2004) Colegio de Postgraduados, Montecillo México

---

174 ton/ha en verde, para el primer año de producción, por lo que el impacto del riego subsuperficial en alfalfa es determinante y muy favorable.

## 1 INTRODUCCIÓN

El cultivo de alfalfa es uno de los que consume más agua, por lo que es necesario reducir las pérdidas de agua, tanto en la conducción como en la aplicación. Cuando se aplica riego por gravedad (melgas), se requiere una lámina de riego que fluctúa en la zona de Chapingo, México de 1.50 a 1.80 m al año. Con riego por aspersión la lámina de riego se ha disminuido alrededor de 1.40 m. Tomando en cuenta que el recurso agua se vuelve cada día más escaso, es indispensable buscar opciones que permitan aplicar más eficientemente el riego o pensar en la reducción de siembra de cultivos con alta demanda de agua.

El Riego Localizado (Microirrigación) tiene algunas ventajas que permiten mejorar la calidad y cantidad en algunos cultivos debido a la alta frecuencia de aplicación de los riegos, de tal manera que la humedad del suelo esta siempre disponible, además que el agua se aplica en una zona restringida, la de las raíces. En los últimos años se planteó la posibilidad de utilizarlo en los cultivos de caña de azúcar y alfalfa, los cuales son perennes y debido a la necesidad de los múltiples cortes de la cosecha sobre la superficie del suelo no es muy recomendable ubicar el sistema de riego localizado sobre la superficie del mismo, por lo que la única manera de utilizarlo es bajo la superficie del suelo.

Las principales dificultades del riego localizado subsuperficial, son: la posibilidad de taponamiento, seleccionar apropiadamente el espaciamiento entre líneas de riego y la profundidad del emisor que permita obtener la mejor distribución del riego, entre otros. El taponamiento ha sido resuelto utilizando un buen sistema de filtrado y emisores de mayor calidad o cintas de riego de mayor calibre, además de colocar la salida del mismo hacia arriba.

Este trabajo pretende evaluar la producción del cultivo de alfalfa y distribución del patrón de mojado con riego localizado subsuperficial, colocando la cinta de riego a dos profundidades diferentes(15 y 25 cm).

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

Ascencio (1996), presenta una evaluación de un sistema de riego con cintillas de goteo instalado en pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum Schum*) en la zona central costera del el Estado de Veracruz, México, con el fin de conocer su eficiencia de operación; así como la respuesta a dosis de fertigación nitrogenada y tensiones de humedad del suelo. Los resultados óptimos, para biomasa producida, correspondió a 587 kg/ha/año para fertigación nitrogenada y 0.63 atm para tensión de humedad del suelo. La distancia entre surcos a la cual se encuentra el cultivo es de 0.75 m, colocándose la cintilla en surcos alternos, es decir, a cada 1.5 m y a una profundidad de 30 cm aproximadamente, por lo que cada línea de cintillas abastece a dos hileras de pasto. La cintilla de riego utilizada es tipo Bi-Wall 15 mil de la marca Tape de Hardie, con salidas cada 30 cm. El suelo utilizado tiene textura arenosa en los primeros 20 cm y de 20 a 60 cm de profundidad la textura del suelo corresponde a arena- migajonosa.

Phene (1999), señala algunos aspectos importantes sobre el Riego por Goteo Subsuperficial (RGS), tales como: que es uno de los métodos más sofisticado y más eficiente, disponible para irrigar cultivos agrícolas, jardinería y campos de golf. Una de las principales ventajas, mencionadas por el autor es que el patrón esférico de mojado de un suelo arcillo-limoso es aproximadamente 46 % más grande en el sistema de RGS que el patrón de mojado semiesférico que se obtiene en un sistema de riego por goteo superficial. Además cita que en experimentos anteriores del Departamento de



Agricultura de los Estados Unidos (USDA), se ha demostrado la potencialidad para altos rendimientos y sustentabilidad de varios cultivos en hileras manejados por los sistemas de RGS.

Alam (2000), en un estudio de campo en Kansas, USA, con cultivo de alfalfa y utilizando riego por goteo subsuperficial en suelo arenoso-limoso, probó espaciamientos entre líneas de riego de 0.76, 1.0 y 1.5 m. Así como profundidades de 0.30 m y 0.46 m. La cinta de goteo utilizada fue la marca Nelson 7000, con emisores colocados a cada 0.61 m y con un caudal de 1.4 lph a 55 kPa (5.55 m). El cultivo de alfalfa no se estableció adecuadamente, por lo que fue necesario resembrar. El más alto tratamiento, en el primer año, fue el de 1.0 m de separación entre líneas de riego y 0.46 m de profundidad. La producción se redujo considerablemente en la separación de 1.5 m. No hubo diferencia considerable entre la producción obtenida en las profundidades de 0.3 y 0.46 m.

Rivera, et al. (2001), en un trabajo realizado en la región lagunera para obtener una función de producción del agua para el cultivo de alfalfa mediante riego por goteo subsuperficial en suelo de textura franca, se evaluaron 5 tratamientos de riego, los cuales consistieron en aplicar cantidades de agua equivalentes al 80, 72, 64, 56 y 48% de la evaporación. Se utilizó la cintilla T-tape de 0.375 mm de espesor con goteros espaciados a 20 cm, con un gasto de 2.5 lph/m a una presión de operación de 0.7 kg/cm<sup>2</sup>. En base al primer año de evaluación se puede concluir lo siguiente: el tratamiento de riego donde se aplicó una cantidad de agua equivalente al 56% de la evaporación (Lr = 112.1 cm./año), presentó la mayor eficiencia en el aprovechamiento del agua de 1.5 Kg de materia seca por metro cúbico de agua aplicada. El riego por goteo subsuperficial presentó un incremento de rendimiento (forraje heno al 15% de humedad) del 49.7% en comparación con el riego por gravedad.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación de la parcela

El trabajo se realizó en el lote M-2, del Laboratorio de Ingeniería de Riego del Departamento de Irrigación, de la Universidad de Chapingo. En éste lote tiene instalado un sistema de riego localizado, programando una sección de riego de 54 líneas laterales de 70 m de largo y a 0.75 m entre líneas, para probar el riego subsuperficial colocando la mitad de las líneas de riego a 0.15 m de profundidad y la otra mitad a 0.25 m. La figura 1 muestra la localización de la parcela donde se lleva a cabo la evaluación del sistema de riego en el cultivo de alfalfa.

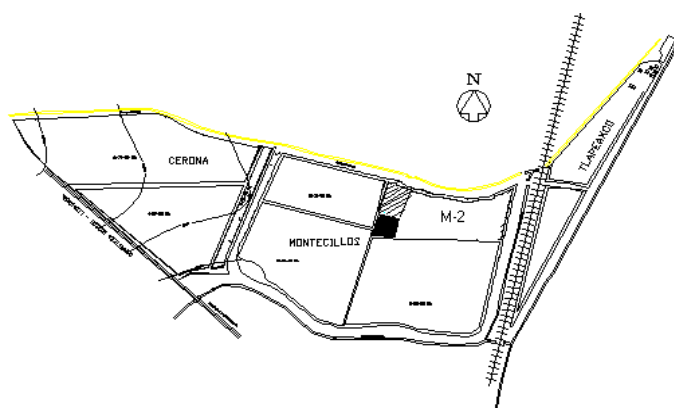


Figura 1. Croquis de localización del sitio de prueba

#### 3.2 Muestreo y análisis de suelo

El muestreo se realizó en tres sitios, ubicando el sitio 1 en donde se colocó la cinta a 25 cm, el sitio 2, al centro de los dos tratamientos y el sitio 3 donde se colocó la cinta a 15 cm. En estos sitios se

tomo muestras a las profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90 cm, obteniendo en el laboratorio la textura del suelo por el método de Bouyoucos, la capacidad de campo (CC) y punto de marchitamiento permanente (PMP) por el método de la olla y membrana de presión respectivamente. En estos mismos sitios y profundidades se determino la densidad aparente(Da), utilizando la barrena de volumen conocido Uhland.

### 3.3 Establecimiento del sistema de riego

Para el riego subsuperficial se utilizo cinta de riego Chapin (Twin-Wall), de flujo turbulento calibre 12000, con un caudal de 0.5 gpm/100' (113.5 lph/30.48 m) @ 10 PSI. Tomando en cuenta que la separación entre emisores es de 0.30 m y haciendo cálculos se tiene que el caudal (q) por emisor es de 1.1 lph. Se aforaron los emisores en campo, antes de enterrarlo coincidiendo con los datos del catalogo.

#### 3.3.1 Determinación de la separación entre líneas

Previamente a la colocación subterránea de las líneas de riego se hizo una prueba de campo en la superficie (suelo seco) consistente en poner a funcionar una línea de riego a una presión de operación de 9 m (12.8 PSI) en la entrada y al final de la cinta de 6m (8.6 PSI). La prueba duro, el primer día, 7 horas, trabajando de manera continúa el sistema y en el segundo día 5 horas, llegando al final de la misma a tener un diámetro de mojado (Dm) en la superficie, que fluctuó entre 70 y 75 cm y una profundidad de 50 a 60 cm.



Figura 2. Medición del diámetro y profundidad de mojado de la cinta de riego

Por lo anterior se decidió colocar las cintas a una separación constante entre líneas regantes de 75 cm. En lo que respecta a la profundidad de la cinta de riego, se propuso dos tratamientos, la mitad de las líneas regantes (27) a 15 cm de profundidad y la otra mitad a 25 cm de profundidad, lo anterior se definió en función del implemento utilizado, un arado de vertedera, para enterrar las cintas de riego.

#### 3.3.2 Colocación de la cinta de riego

Para la colocación de la cinta de riego, primeramente se aflojo el terreno con un subsuelo, para posteriormente utilizar un arado de vertedera, el cual sirvió para profundizar el surco en los dos casos, posteriormente la cinta se acomodó en el fondo de cada uno de los surcos y se tapó manualmente, emparejando con una niveladora para que la superficie quedara lo más parejo posible (Figura 3).



Figura 3. Abertura del surco, colocación de la cinta, tapado manual y nivelación de la parcela.

### 3.3.3 Aplicación del riego

A los dos lotes se les aplicó la misma cantidad de agua, de tal manera que conociendo la superficie del terreno y las necesidades de acuerdo al clima (evaporación y precipitación), se calculó el tiempo de riego en cada uno de los meses del ciclo vegetativo en tiempo real. La aplicación se realizó tres veces por semana (lunes, miércoles y viernes), ajustando el tiempo de acuerdo a la época del año.

Considerando que en la primavera se tienen las temperaturas mas altas, el cálculo del agua requerida, a partir de los datos de evaporación se realizo para los meses de abril, mayo y junio de donde se encontró que el valor máximo para la franja que domina una cinta de riego en toda su longitud (70 m de largo x 0.75 m de ancho = 52.5 m<sup>2</sup>), es de 1800 litros de agua, durante una semana, utilizando datos promedio (Evprom = 7 mm). La lamina requerida en los meses de noviembre, diciembre y enero (2003) resulto ser de 1029 litros/semana como promedio (Ev = 4 mm). La aplicación de los riegos se realizaron tres veces por semana (lunes (3 h), miércoles (3 h) y viernes (5 h)), de tal manera que al hacer los cálculos resulta que se aplicó prácticamente el doble del volumen requerido. En los meses de máxima demanda se aplicó del orden de 2819 litros / cama/ semana y en los meses de mínima demanda (noviembre, diciembre y enero) se aplicó 2050 litros / cama / semana (lunes (2 h), miércoles (2 h) y viernes (4 h)), por lo que se están realizando las correcciones para el segundo año de producción de alfalfa.

### 3.3.4 Control de humedad del suelo

Para conocer la distribución del patrón de mojado durante el ciclo del cultivo, se midió la humedad semanalmente tomando muestras de suelo con una barrena vehimeyer para determinar la humedad, con el fin de conocer el patrón de mojado mediante el método gravimétrico. El muestreo para humedad del suelo se realizó durante todo el ciclo, una vez por semana, a tres profundidades: de 0-30, 30-60 y de 60-90 cm.



Figura 4. Producción de alfalfa/m<sup>2</sup>.

## 3.4 Producción de alfalfa

La preparación del terreno, fertilización, aplicación de insecticidas, cortes y demás labores que implican el manejo del cultivo se mantuvieron constantes. Para estimar la producción de cada corte de alfalfa en verde, se realizo en cada tratamiento tres muestreos en una superficie de un metro cuadrado en cada una como se muestrea en la figura 4.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante el análisis de suelo se obtuvieron los siguientes datos promedio de capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente:

Profundidad	CC (%)	PMP (%)
0-30	25,93	15,86
30-60	21,24	13,65
60-90	19,75	12,61

El análisis de suelo realizado dio como resultado que la textura de la parcela es Migajón arcillo arenoso y migajón arcilloso.

Una vez conocidas las condiciones anteriores, el control y estudio de humedad se elaboraron graficas de acuerdo a la profundidad de las cintas y el contenido de humedad a diferentes profundidades (0-30, 30-60 y 60-90 cm). En las figuras 5, 6 y 7 se presentan las graficas y posteriormente se hacen las observaciones correspondientes.

En la figura 5 se muestra el comportamiento de la humedad de 0-30 cm, se puede ver que la variación es grande, obviamente esta capa o profundidad esta en directa relación a los cambios climáticos. Cuando hay mucha insolación es la parte del suelo que se seca primero y también cuando hay precipitaciones, es la parte que primero se moja; es por eso que hay una fluctuación muy grande en los datos de humedad de 0-30 cm de profundidad. Se puede observar que ambos tratamientos (15 y 25 cm) y para esta capa (0-30 cm) el contenido de humedad varió de forma importante, teniendo como consecuencia que en la mayor parte del tiempo la humedad se encontrara por debajo de la capacidad de campo si bien esto puede representar un problema para el cultivo; sin embargo, aparentemente en este método de riego no es importante porque el abastecimiento esta junto a la raíz.

Por otro lado en la figura 6 y 7, profundidades 30-60 y 60-90 cm, se observa que la humedad se mantuvo mas constante o uniforme en el suelo. Sin embargo de acuerdo a la definición de capacidad de campo se puede afirmar que el suelo se mantuvo con exceso de agua, ya que la humedad siempre se mantuvo por arriba de la capacidad de campo.

### 4.1.1 Producción de alfalfa

De los muestreos realizados para determinar la producción de alfalfa en los dos tratamientos en el cuadro 1 se muestra la cantidad de alfalfa cosechada, durante el primer año, en cada tratamiento. De este cuadro podemos observar que la mayor producción por superficie se obtuvo en la parcela con cintas de riego a la profundidad de 25 cm.

Cuadro 1. Producción de alfalfa con cintas de riego (LOTE M-2: 54 líneas:  $0.75 \times 70 \times 54 = 2835 \text{ m}^2$ )

Fecha de corte	No. de corte	Profundidad de las cintas	
		15 cm	25 cm
		Producción de alfalfa (ton/ha)	
22/04/02	1(chaponeo)	3.5	2.6
29/05/02	2	24.233	24.7
12/06/02	3	26	35
04/07/02	4	20	20.5
07/08/02	5	20	20
10/09/02	6	16.25	16.5
17/10/02	7	17	17
28/11/02	8	10.15	10.25
29/01/2003	9	16	15.25
17/03/2003	10	12	12.25
<b>Total</b>		<b>165.13</b>	<b>174.05</b>

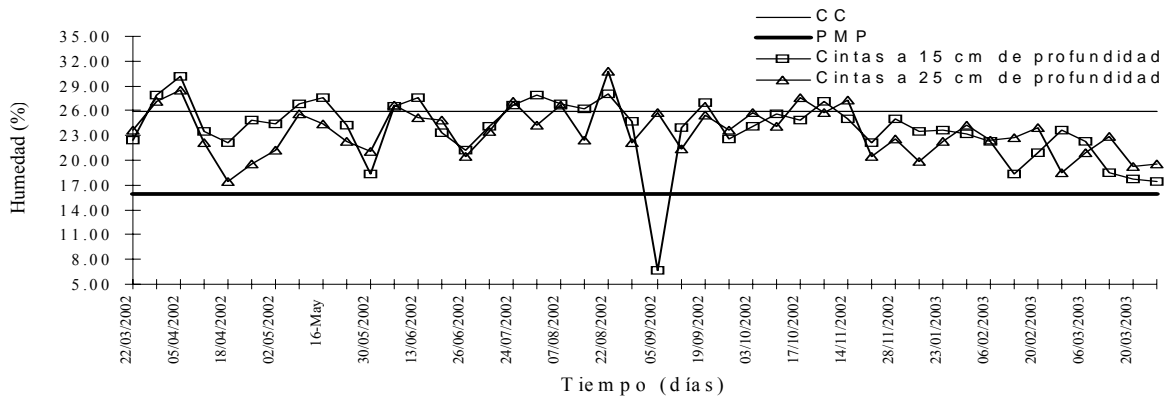


Figura 5. Variación de humedad del suelo (0-30 cm), para cintas ubicadas a 15 y 25 cm.

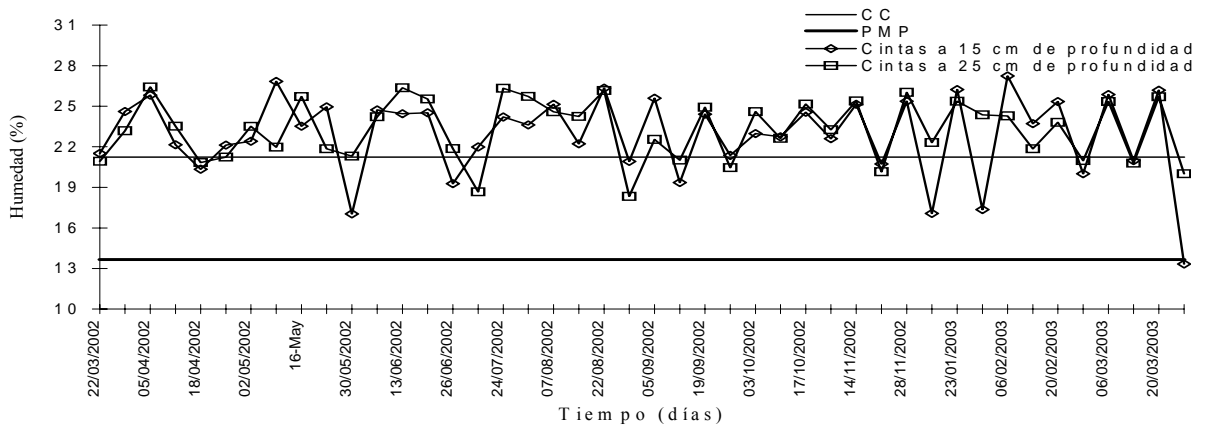


Figura 6. Variación de humedad del suelo de (30-60) cm, para cintas ubicadas a 15 y 25 cm.

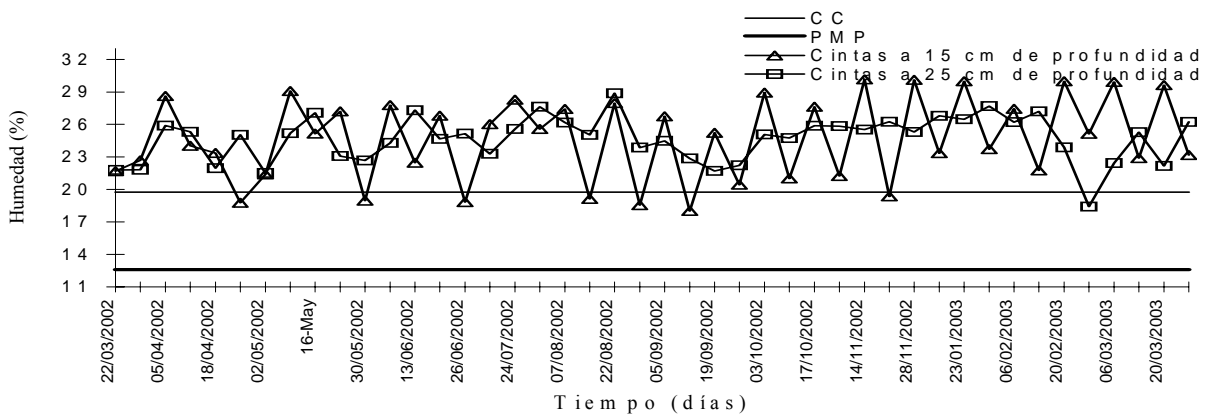


Figura 7. Variación de humedad del suelo de (60-90 cm), para cintas ubicadas a 15 y 25 cm.

## 5 CONCLUSIONES

Es conveniente realizar una prueba de campo con la cinta de riego seleccionada, en la superficie del suelo, para definir la separación más apropiada entre las líneas de riego que se colocarán subsuperficialmente. También es recomendable probar las cintas de riego antes de enterrarla.

De la evaluación de las cintas de riego, se observa que en ambos tratamientos (la cinta de riego ubicada a 15 cm y 30 cm de profundidad) un déficit y una mayor variabilidad de la humedad del suelo en la capa superficial del mismo.

Por otro lado para las cintas a la profundidad de 25 cm se observó una menor variación del contenido de humedad, manteniendo contenidos de humedad alrededor de capacidad de campo y en ocasiones con excesos de humedad.

El exceso de humedad detectado en los muestreos de humedad del suelo se debe a que se sobrestimó el requerimiento de agua del cultivo, por lo que debe corregirse los tiempos de aplicación en los siguientes años de producción.

Considerando que el cultivo de alfalfa posee un sistema radicular profundo se puede considerar, en este caso, la posibilidad de colocar las cintas de riego a una mayor profundidad o bien realizar estudios de la zona radicular en donde se realiza mayor absorción por de agua, lo que ayudaría a disminuir la cantidad de agua perdida en el suelo.

Otro punto importante observado en la evaluación es la producción de alfalfa, que de acuerdo a los resultados de los cortes, en verde, del primer año se obtuvo una producción mayor en la parcela con cintas de riego a la profundidad de 25 cm en comparación con las colocadas a 15 cm.

## 6 LITERATURA CITADA

- Ascencio Hernández, Roberto. 1996. Evaluación y Desarrollo Experimental de un Sistema de Riego con Cintillas de Goteo en Pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum Scchum*) Bajo Pastoreo Racional Intensivo. Tesis de Maestría en Ciencias, del Programa de Hidrociencias, Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Posgraduados, Montecillo, Texcoco, México.
- Phene, Claude J. 1999. Irrigación con Goteo Subsuperficial. Volumen VI del V Curso Internacional de Sistemas de Riego, organizado por el Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Alam, M. , Trooien, T., Stone, S. and Rogers, D. 2000. Subsurface Drip Irrigation for Alfalfa. Reprinted here from Proceedings of the 4<sup>th</sup> Decennial National Irrigation Symposium, Nov. 14-16, 2000, Phoenix AZ. Proceedings edited by R. G. Evans, Benham, and T. P. Trooien. Published by ASAE, St. Joseph MI. 676 pp. Page numbers for this paper, 373-378. USA.
- Rivera, G., et al. 2001. Obtención de una función de producción del agua para el cultivo de alfalfa mediante riego por goteo subsuperficial (cintilla de goteo) en la región lagunera. Artículo: ANEI-S10126. XI Congreso Nacional de Irrigación. Simposio 1. Ingeniería de riego. Guanajuato, Guanajuato, México.

# **MEDIOS, AGUA Y FERTILIZANTES**

---





# MEDIOS DE CULTIVO<sup>©</sup>

José López-Gálvez

Coordinador Red XIX.A CYTED

[jlgalvez@ual.es](mailto:jlgalvez@ual.es)

Alberto Losada<sup>1</sup>.

Dpto. Ingeniería Rural ETSIA Universidad Politécnica de Madrid

[losada@iru.etsia.upm.es](mailto:losada@iru.etsia.upm.es)

## 1 Nociones básicas sobre el medio de cultivo.

Los actuales sistemas de riego por goteo permiten aportar en parte o en su totalidad los nutrientes a través de la red, siendo usual la programación de agua y nutrientes, técnica conocida como fertiriego.

El conocimiento de las características del suelo o sustrato reviste una especial importancia para una adecuada programación de la fertilización. Esta es la razón por la que este apartado es dedicado a dar algunas nociones sobre características de los suelos, naturales y artificiales, de los sustratos y del cultivo con disolución de nutrientes.

## 2 Suelo.

Las características del suelo han de ser conocidas, como paso previo a cualquier actuación sobre él con el fin de mejorarlo. La variabilidad existente en los suelos se debe, entre otros factores, a la diversidad de minerales que lo constituyen, de los tamaños de las partículas, del modo en que estas se agregan, de los microorganismos que lo pueblan y de la profundidad y propiedades de las capas subyacentes, que permiten o no su avenamiento natural. Todo lo anterior y su carácter cambiante dan idea de su complejidad. Son características físicas que condicionan el comportamiento físico de un suelo su textura, estructura, porosidad, color y temperatura.

**Textura.** Hace referencia a la distribución y al tamaño de las partículas sólidas inorgánicas que constituyen el suelo. Atendiendo a su tamaño se distinguen tres fracciones que se clasifican en: arena (2,00 a 0,05 mm), limo (0,05 a 0,002 mm) y arcilla (menor de 0,002 mm). La textura del suelo se define por los porcentajes de arena, limo y arcilla que lo forman (ver figura 1).

**Estructura.** Se refiere a la organización de las partículas minerales y orgánicas en el suelo para formar agregados y a la forma, tamaño y distribución de los poros del suelo. Trata del ordenamiento de las partículas constituyentes del suelo para formar agregados y poros.

---

©CYTED 2004; FERTI-RIEGO: TECNOLOGÍAS Y PROGRAMACIÓN EN AGROPLASTICULTURA (171-182)

Guzmán, M. & López Gálvez, J. (Ed) ISBN: 84-96023-27-3; DL: A1-290-2004; <http://www.cytetd.org>

<sup>1</sup> Gran parte del contenido de este tema ha sido tomada del libro *Sistemas de producción e incidencia ambiental*, J. López-Gálvez y J.M: Naredo, 1996, Fundación Argentaria-Visor Distribuciones, Madrid.

---

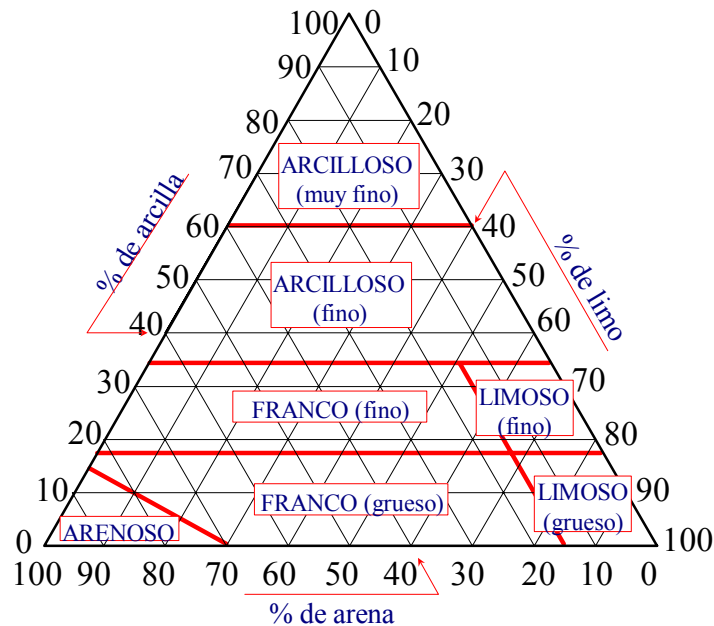


Fig. 1.- Triángulo de texturas.

**Porosidad.** Entre los materiales que forman el suelo hay huecos, denominados poros, ocupados por aire y/o agua. La importancia de que los elementos anteriores se encuentre en proporciones adecuadas viene condicionado porque, si hay poco agua, las plantas marchitan y, si hay poco aire, las raíces respiran mal y se pudren. No se debe confundir porosidad y permeabilidad (o, mejor, conductividad), ya que son conceptos distintos. Así la mayor parte de los suelos arcillosos, son más porosos que los arenosos, pero son menos permeables, debido a que los poros son muy pequeños, siendo más difícil la circulación del agua a través de los mismos.

Relacionando los tres parámetros con su capacidad productiva, puede decirse que:

Los suelos arcillosos suelen tener una riqueza en elementos nutritivos mayor que los arenosos, debido a que están compuestos por elementos químicos más variados.

Los suelos arcillosos tienen el riesgo de encharcarse dificultando la respiración de las raíces, debido a la presencia en ellos de poros muy pequeños que condicionan su menor conductividad hidráulica en saturación.

La aptitud del suelo en la formación de terrones es importante en relación con las labores a dar, para dejarlo en un estado óptimo de disgregación. El mantenimiento de un suelo mullido facilita la penetración del aire, y ello se consigue con labores superficiales para las raíces más someras, y profundas para las que se encuentran a mayor profundidad.

**Color.** Está relacionado con las propiedades físicas y químicas del suelo. El humus y los elementos de hierro son los principales causantes de las diferentes tonalidades de color que presentan los suelos que, van desde el gris al rojo. Para su determinación se emplean cartas de colores, así como métodos instrumentales más precisos pero a la vez más caros y sofisticados. A partir del color del suelo se pueden estimar las condiciones ambientales (aireación, humedad, temperatura) que se dan en el mismo, y actuar en consecuencia.

**Temperatura.** Es un factor que modifica casi todos los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo. En la planta influye en la germinación, en la actividad respiratoria, en el crecimiento y desarrollo de las raíces y en la disponibilidad de agua. Interviene principalmente en la actividad

microbiana del suelo, ya que a bajas temperaturas se detienen muchos de los procesos de importancia agronómica en los que intervienen los microorganismos (nitrificación, humificación, etc.), así como en el desplazamiento de los fluidos (aire y agua).

**Materia orgánica.** Comprende todos los restos vegetales en sus diversos estados de transformación, los microorganismos que lo pueblan y los productos de origen animal que contiene. Las fuentes de materia orgánica en los suelos agrícolas son:

- ✓ Residuos de cosechas.
- ✓ Estiércoles y abonos verdes.
- ✓ Vegetación espontánea que ha sido enterrada.
- ✓ Microorganismos del suelo.

La materia orgánica tiene influencia en la fertilidad del suelo, tanto por la modificación de sus propiedades físicas como por la aportación de elementos nutritivos. Así, el humus mejora las características de los suelos arcillosos, haciéndolos más sueltos, y las de los muy arenosos, dándoles cuerpo. Mejora, además, la estructura y la estabilidad, al favorecer la formación de agregados pequeños y estables. También favorece la retención de agua y el intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera. Estimula la actividad biológica (proporcionando nutrientes a los microorganismos) y el crecimiento vegetal, ya que contiene sustancias reguladoras del crecimiento, tales como hormonas, y sustancias antibióticas que tienen efectos sobre ciertos organismos patógenos del suelo. Los suelos ricos en materia orgánica, muy fértiles, con abundantes fermentaciones, pueden crear una atmósfera mefítica, que se produce también cuando se inundan los cultivos.

**Humificación.** Los restos de plantas pierden agua y sufren una serie de transformaciones muy complejas, originadas por los microorganismos del suelo, por el que se convierten en una sustancia orgánica porosa de color pardo o negro llamada humus. En este proceso, una parte de la materia orgánica queda en el suelo en forma de humus, otra sirve de alimento a los microorganismos y una tercera se pierde en forma de agua y de dióxido de carbono. El tiempo que tardan los restos vegetales en humificarse depende, entre otros, de los siguientes factores:

- a) Clase de planta, edad y órgano. El humus proviene de la celulosa y de la lignina. La primera abunda en las plantas herbáceas, siendo su descomposición rápida, y la segunda se encuentra en la madera y partes vegetales secas, como la paja, y su descomposición es lenta.
- b) Características del suelo. Los factores que principalmente influyen son: la acidez y la aireación. La mayor velocidad de descomposición de la materia orgánica se produce en los suelos neutros o ligeramente ácidos, siendo el rango de pH más favorable el que oscila entre 6,0 y 7,2. La aireación es indispensable para una correcta humificación de los restos orgánicos, ya que la mayor parte de los microorganismos que intervienen en este proceso precisan aire (aerobios). Es por ello que, en un suelo encharcado, la humificación será mínima, pudiéndose acumular la materia orgánica si el encharcamiento es continuado o permanente, tal y como ocurre en las turberas.
- c) Clima. El factor climático que más influye en la humificación es la temperatura, debido a que conforme ésta aumenta, hasta un máximo, se incrementa también la actividad microbiana y, por ende, la humificación.
- d) Humedad. El desarrollo de los microorganismos que actúan en la humificación requiere la presencia de agua, la cual puede encontrarse en el propio resto orgánico (plantas herbáceas jóvenes y órganos suculentos) o en el suelo.

**Mineralización.** El humus se va perdiendo en otro proceso denominado mineralización. La pérdida anual es del 1 al 2% en los climas templados y mucho mayor en los cálidos. Durante la

mineralización, el nitrógeno orgánico pasa a mineral en forma de nitrato, siendo ésta la principal fuente de nitrógeno para el suelo. Este elemento abunda en el aire, ya que está formado, en su mayor parte, por la mezcla de oxígeno y nitrógeno en la proporción de algo más de 20 partes de oxígeno por casi 80 partes de nitrógeno. Sin embargo, las plantas no pueden asimilarlo, con excepción de las leguminosas, en cuyas raíces viven unas bacterias que lo absorben y lo incorporan a la planta.

El humus, desde el punto de vista químico, ejerce dos funciones importantes. Por una parte suministra elementos nutritivos a las plantas, al liberar lentamente sus constituyentes a medida que se va descomponiendo, especialmente, nitrógeno y azufre, pero también, fósforo, potasio y varios microelementos esenciales. Por otra parte, al encontrarse dividido en finísimas partículas, como la arcilla, tiene la propiedad de retener y fijar en su superficie una gran cantidad de sustancias nutritivas que las plantas precisan, constituyendo como una despensa que va suministrando los nutrientes a medida que éstos son requeridos. Tanto el humus y la arcilla realizan este papel de almacén de nutrientes, que provienen de la alteración de los minerales del suelo y de los abonos que se aportan. Sus propiedades son parecidas y se encuentran los dos unidos constituyendo, en conjunto, los llamados complejos organominerales (arcillo-húmicos y organometálicos) que forman el complejo adsorbente del suelo.

**Relación carbono-nitrógeno (C/N).** Los restos vegetales están compuestos de hidratos de carbono, hidrógeno, oxígeno y proteínas, que tienen, además, nitrógeno. A medida que se transforman va variando la proporción relativa de carbono y de nitrógeno. La relación en que se encuentran en un momento dado recibe el nombre de C/N. Esta relación es muy elevada en los restos vegetales sin descomponer; mayor de 50 y aún de 100, en las pajas de cereales, y de 16 a 22, en las leguminosas. Durante el proceso de humificación hay pérdidas más elevadas de carbono en forma de dióxido de carbono que de nitrógeno, disminuyendo la relación C/N hasta 10, que es el valor en el humus.

## 2.1 Suelo artificial.

Las limitaciones de los suelos agrarios, como ocurre en buena parte de las áreas donde se desarrolla la agricultura bajo invernadero, han podido paliarse con la implantación de suelos artificiales. Esta técnica está extendida por diferentes áreas del ámbito geográfico español. Así podemos encontrar *enarenados* en el sureste peninsular, *navazos* en la provincia de Cádiz y *sorribas* y *picón* en las Islas Canarias. La creación de suelo enarenado se ha mostrado como un medio de cultivo adecuado en Almería, destacando su buena fertilidad y su efecto sobre la eficiencia del uso del agua, al disminuir pérdidas por evaporación.

La implantación del enarenado (figura V.1.2) requiere que el terreno de asiento haya sido previamente roturado y despedregado, procediendo a continuación al abanclado, con pendientes en torno al tres por mil, para evitar el arrastre de la arena con el riego. Donde no existía suelo vegetal era usual, antes de la implantación generalizada de los riegos por goteo, la aportación de una capa de tierra de unos 20 cm de espesor, relativamente menos permeable que el suelo natural. Preparado el terreno, la primera operación a efectuar es la aportación de estiércol, enterrándose una parte, de unos 5 kg/m<sup>2</sup>, en el suelo natural o en los 20 cm de tierra aportada, incorporándolo mediante un cultivador rotativo (ver cuadro V.1.1). A continuación se extiende una capa de unos 2 cm de estiércol y, por último, se coloca una capa de arena de playa de unos 10 cm de espesor. De esta manera se tiene un suelo con tres o cuatro lechos diferentes entre sí en sus características físicas, químicas y biológicas.

Cuadro 1. Composición del estiércol

Muestra	%C.O.	%C. EHT.	%C.AH.	%C.AF.
1	6,8	2,2	0,4	1,8
2	5,5	1,7	0,3	1,4

Notas: Muestra 1, es estiércol del segundo lecho y muestra 2, estiércol del tercer estrato.

%C.O.: porcentaje de carbono orgánico. %C.EHT.: porcentaje de carbono en forma humificada.

% C. AH.: porcentaje de carbono en forma de ácidos húmicos. % C.AF.: porcentaje de carbono en forma de ácidos húmicos.

La variabilidad del estiércol utilizada en los enarenados es alta, por lo que la composición que se da en el cuadro es a título orientativo.

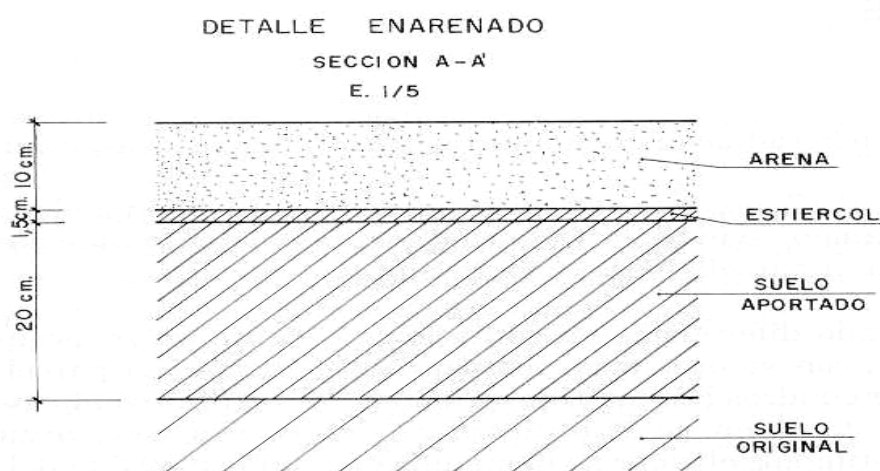


Fig. 2. Perfil del enarenado.

La duración de la fertilidad del enarenado depende del estercolado practicado y de la intensidad, tipo y rotación de los cultivos. Cada cierto tiempo (entre 3 y 5 años), es necesario reponer el estiércol. Esta operación, denominada *retranqueo*, consiste en apartar la arena e incorporar estiércol, de la misma manera y en igual cantidad que en la formación del enarenado, volviendo a extender, posteriormente, la capa superior de arena.

Las características y funciones de los estratos podemos resumirlas como sigue:

**Primer lecho u horizonte.** La arena, químicamente, se puede considerar inerte. La composición mineral es variable: un 70% son fragmentos de roca (cuarzitas, micaesquitos y calcoesquitos principalmente), un 25% son minerales de grano aislado (fundamentalmente cuarzo y, además, granate, goethita, magentita, clorita, moscovita, biotita, hematita, ilmerita, turmalina y rutilo, éstos en pequeñas cantidades) y el resto son fragmentos calcáreos de organismos. La granulometría es muy variables, predominando la arena gruesa, entre 2,0 y 0,2 mm de diámetro, lo que hace que la conductividad hidráulica en saturación sea alta. El bajo calor específico de la arena provoca su rápido calentamiento y enfriamiento, dependiendo de la radiación solar, influyendo en la temperatura de los otros lechos. Por su elevada porosidad, en subsaturación suele encerrar una gran masa de aire que actúa como aislante térmico, evitando que el suelo alcance altas temperaturas durante el día y se enfríe excesivamente por la noche. Esta característica hace que la evaporación sea pequeña y, consecuentemente se limita la ascensión por capilaridad de las sales.

**Segundo lecho u horizonte.** Este horizonte es fundamentalmente nutritivo, y en él se encuentra más del 50% de las raíces de las plantas<sup>1</sup>. Este lecho es menos permeable que el anterior y ejerce una cierta acción en los aspectos hídricos y térmicos. La estructura esponjosa del estiércol hace que retenga importantes cantidades de agua, que cede al cultivo. Esta acción se ve favorecida por la disminución de la evaporación a consecuencia de la capa de arena. Además, el calor absorbido durante el día por la arena se transmite a la capa de estiércol, que lo transfiere lentamente al suelo, actuando como una cama caliente, con el consiguiente beneficio para el sistema radical de la planta y para la actividad química y biológica.

**Tercer lecho u horizonte.** Constituido por el suelo aportado o el suelo natural. Cuando se aporta tierra debe estar exenta de elementos gruesos y suele tener las siguientes características:

- a) Propiedades químicas: contenido en materia orgánica escaso, aunque con la aportación del estiércol se eleva hasta el 1,7%, relación C/N entre 6 y 7, escasa cantidad de fósforo asimilable (5-21 ppm), cantidades de potasio asimilable normales (80-230 ppm) y pH alto (en torno a 8), debido a su naturaleza calcárea y/o dolomítica.
- b) Propiedades físicas: Textura franca, aunque varía entre franca-arcillosa y franca-limosa.

### 3 Sustratos.

Es usual el empleo del término cultivo hidropónico para como sinónimo de cultivo en sustrato. Sin embargo, el cultivo hidropónico es, por definición, el que se efectúa en agua, mientras que el cultivo en sustrato es el que se realiza utilizando un medio diferente del suelo. Los sustratos empleados suelen ser muy variados, tanto en sus características físicas y químicas como en su volumen. Los sistemas de cultivo en sustrato se clasifican en dos categorías:

- a) Con filtrado perdido (agua de desecho).
- b) Con filtrado recirculado.

A la primera categoría pertenecen la práctica totalidad de las instalaciones. Las plantas se cultivan sobre un sustrato al que se aporta, mediante riegos localizados muy frecuentes, una disolución con los nutrientes. Manteniéndose entre riegos una pequeña reserva de disolución nutritiva, lixiviándose el excedente, que no se recupera, por lo que la cantidad de fertilizante aportado tiene que ser mucho mayor que las necesidades del cultivo. El volumen de disolución filtrado es función del manejo del riego, de la calidad del agua empleada, de las características del sustrato y de la tolerancia a la salinidad del cultivo. Las cantidades tan importantes de agua y de nutrientes perdidas con esta modalidad de cultivo hacen aconsejable el uso de sistemas con filtrado recirculado.

Los sustratos más utilizados son la perlita, la lana de roca y la fibra de coco. Otros sustratos de cultivo son: las turbas, la corteza de pino y la arena. Las líneas que siguen tratan de hacer una breve descripción de algunos sustratos de cultivo.

#### 3.1 La perlita.

Mineral de color grisáceo de origen volcánico, procedente de depósitos de lava (ver cuadro V.1.2). El material se extrae, se muele y se cierce, calentándose a continuación en hornos a temperaturas entre 900 y 1.400 °C. Durante el proceso de calentamiento, la pequeña cantidad de agua de coordinación, entre un 2% y un 5% se evapora, expandiéndose éstas de 4 a 20 veces su volumen

---

<sup>1</sup> Medidas realizadas a este fin confirman que la mayoría de las raíces de las hortalizas de fruto cultivadas en los invernaderos de Almería se encuentran en este horizonte.

original, adoptando formas esféricas que son muy porosas. A consecuencia de este proceso, se forman en el interior y exterior del material oquedades que pueden ser ocupadas por aire o agua.

Cuadro 2. Composición química de la perlita.

Elemento	%
SiO <sub>2</sub>	73 a 75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11 a 13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,9 a 2
K <sub>2</sub> O	2,3 a 4,4
Na <sub>2</sub> O	3,3 a 5
CaO	0,7 a 1
MgO	0,2 a 0,35
TiO <sub>2</sub>	0,08 a 0,1
LiO <sub>2</sub>	0,01

**Propiedades químicas.** La perlita es un material inerte, con escasa capacidad de intercambio catiónico y, consecuentemente, su efecto tampón es casi nulo. Presenta reacción alcalina en disolución, con pH de 7 a 7,5, debido a la disolución de álcalis. Determinados elementos pueden estar presentes en cantidades excesivas (Fe, Mn, Zn y F) que se solubilizan en medios ácidos débiles. En medios ácidos (pH < 5), el aluminio puede solubilizarse y ocasionar problemas de fitotoxicidad en las plantas.

**Propiedades físicas.** Se trata de un material ligero cuya densidad oscila entre 80 y 100 kg/m<sup>3</sup>, de escasa resistencia mecánica y muy poroso. El diámetro de la granulometría comúnmente usada está entre 1 y 3,5 mm. Su acción capilar es muy fuerte y puede retener cantidades de agua de hasta 4 veces su peso. La retención de agua y la aireación dependen de la granulometría, siendo mayor el riesgo de asfixia para las raíces con el exceso de partículas finas, ya que retienen más agua y dificultan la aireación (figura 3). Presenta una baja conductividad térmica: 0,033 kcal/(m<sup>2</sup> h °C).

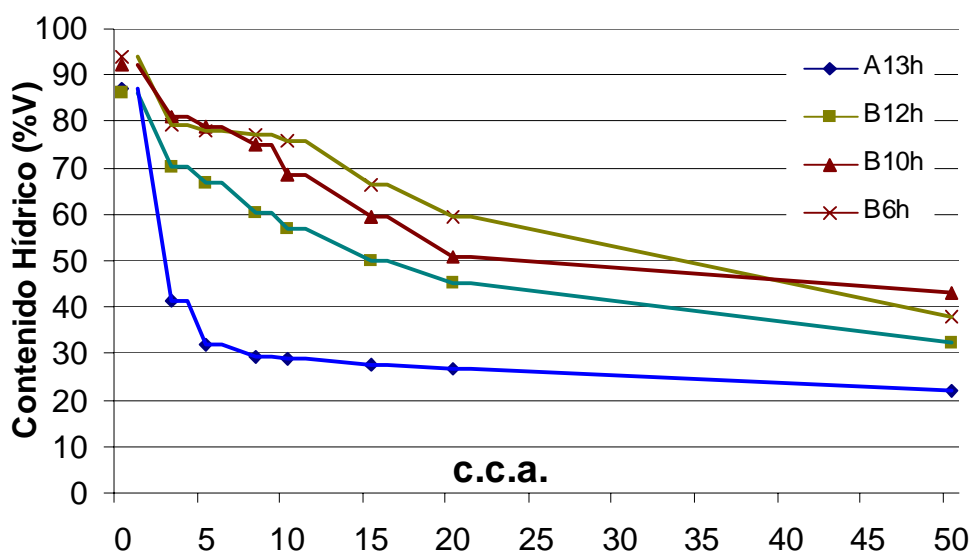


Fig. 3. Contenido hídrico (% en volumen) de los cuatro tipos de perlita

La **presentación comercial** para uso en cultivos depende del fabricante.

Suele venir envasada en macetas o sacos (figura. 4). En este ultimo caso el material es un polietileno bicapa blanco-negro, que evita la evaporación de la disolución y la formación de algas. Las dimensiones de los sacos suelen ser de 1,25 m de longitud, 0,25 m de ancho y 0,1 m de alto. El mercado ofrece diferentes granulometrías dependiendo del uso que se quiera hacer:

- Perlita gorda, diámetro entre 3 y 6 mm, con gran capacidad de aireación, utilizada en la reproducción vegetativa por estaquillado.
- Perlita estándar, diámetro entre 1,5 y 5 mm, que se suele mezclar con turba.
- Perlita fina, diámetro entre 1 y 3 mm, que es la más empleada como sustrato hortícola.
- Perlita superfina, diámetro entre 0,1 y 1,5 mm, utilizada para aumentar la retención de agua. Se suele mezclar con sustratos que, por desecación pierden parte de sus características hidrofísicas, como las turbas negras y las cortezas vegetales.

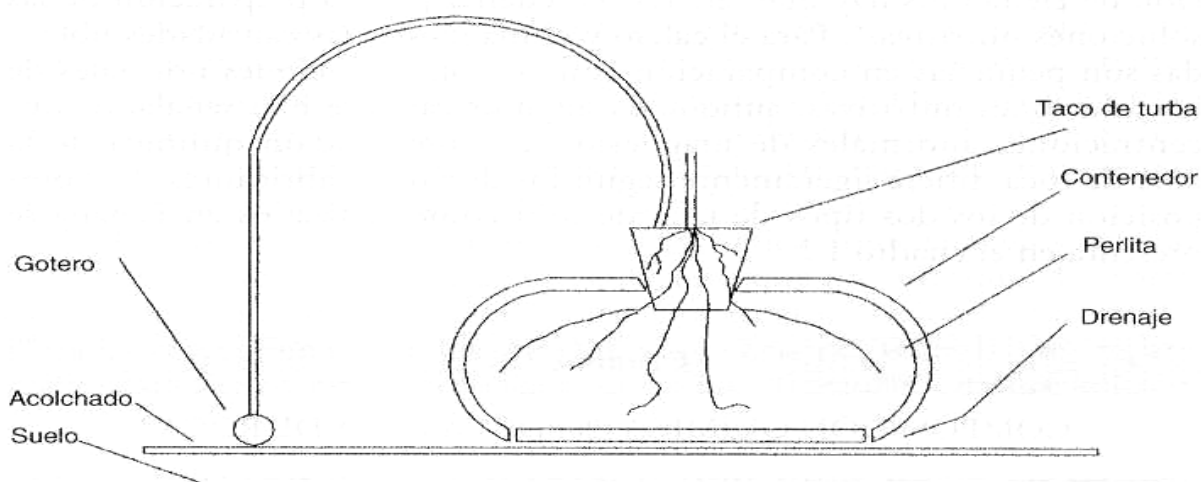


Fig.4. Cultivo en perlita, sección transversal.

### 3.2 La lana de roca.

Material obtenido mediante un proceso industrial por fusión a 1.500 °C de rocas volcánicas basálticas (diabasas), caliza y carbón de coque, en una relación de masa 4-1-1 y extrusión posterior que da origen a filamentos, a los que se incorporan resinas destinadas a mantener la cohesión. También se le añaden sustancias que le proporcionan una gran capacidad de absorción de agua.

**Propiedades químicas.** La lana de roca de pequeño diámetro tiene una gran superficie específica y no es totalmente insoluble. En contacto con la disolución libera cantidades pequeñas de Fe, Mn, Ca y Mg. La composición química difiere según el fabricante (ver cuadro 3).

La presencia de óxidos de calcio y de silicatos provocan, inicialmente, una reacción ligeramente alcalina, con pH entre 7 y 8,5. Dado que la mayoría de los cultivos necesitan para su buen desarrollo un pH entre 5,5 y 6,5 es necesario, al utilizar material nuevo, ajustar el pH con la disolución. La lana de roca, desde el punto de vista químico, se puede considerar como un sustrato bastante inerte, sin capacidad de intercambio catiónico y con poder tampón prácticamente nulo.



Cuadro. 3. Composición química de la lana de roca (%).

Elemento	Fabricante 1	Fabricante 2
SiO <sub>2</sub>	47	41,8
CaO	16	41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14	11
MgO	10	3,7
FeO	8	0,8
Na <sub>2</sub> O	2	-
TiO <sub>2</sub>	1	0,4
MnO	1	0,5
K <sub>2</sub> O	1	-
S	-	0,3

**Propiedades físicas.** La lana de roca se caracteriza por su alta porosidad, su pequeña densidad (entre 80 y 100 kg/m<sup>3</sup>), su poca rigidez y su escasa estabilidad mecánica, que hace que su duración se reduzca a unos pocos ciclos de cultivo.

Cuadro 4. Reparto de agua y aire (%) en una tabla de 15 cm de altura.

Altura	Porosidad total	Volumen aire	Volumen agua
0	96	2	94
5	96	14	82
10	96	58	38
15	96	79	17

La capacidad de retención de agua es elevada pero con escasa fuerza lo que ocasiona que el reparto agua/aire varíe en los diferentes niveles de la *tabla* (el mercado sirve este material en forma de *tablas* rectangulares). El cuadro 4 y la figura 5, muestran como en los primeros centímetros de altura la cantidad de agua puede ser excesiva y la de aire escasa para un buen desarrollo del cultivo, a medida que vamos subiendo los resultados se van invirtiendo. Por esta razón, comercialmente se suele utilizar *tablas* de 7,5 cm de altura que, una vez saturadas, tienen un reparto de 2/3 de agua y 1/3 de aire. El comportamiento aire-agua puede ser muy diferente para dos tipos de lana en tablas de 7,5 cm )Fig 5)

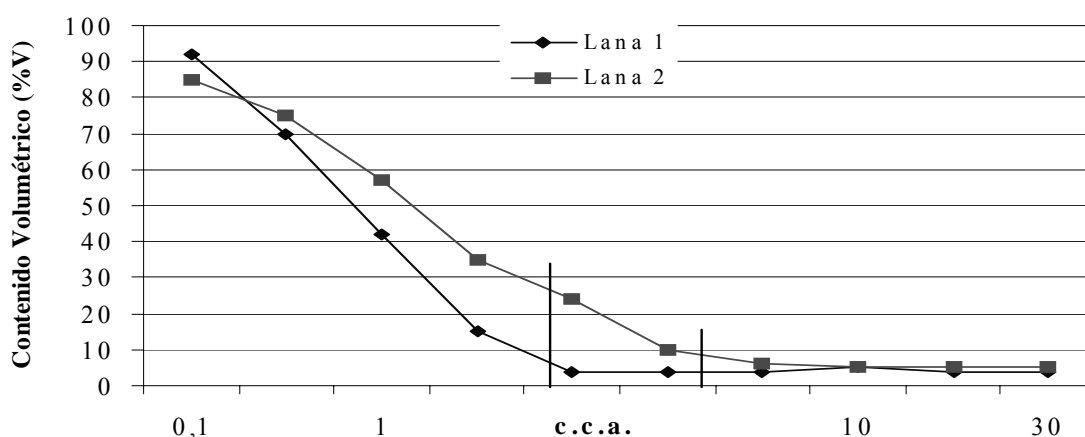


Fig. 5. Contenido hídrico (% en volumen) de dos tipos de lana de roca comerciales

La **presentación comercial** de este sustrato de cultivo difiere según el fabricante. Las características principales que debe reunir son:

- a) Altura que permita una buena relación agua-aire.
- b) Longitud de la *tabla* que permita mantenerla horizontal.
- c) Volumen suficiente de sustrato para las raíces de las plantas.

Las *tablas* (figura. 5) suelen ir envueltas en una película bicapa de polietileno opaco blanco-negro, que evita la evaporación de la disolución y la formación de algas. Las dimensiones usuales son: longitud 1 m, altura 0,075 m y anchura entre 0,15 y 0,3 m.

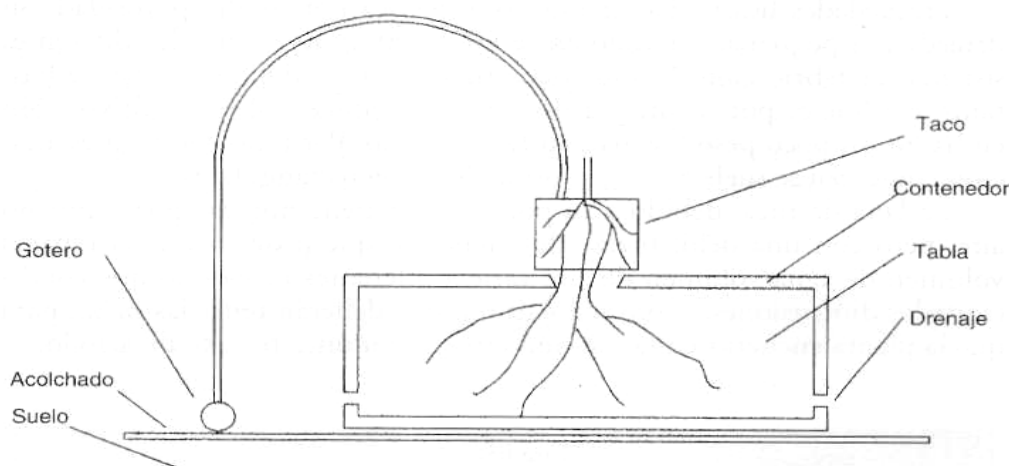


Fig. 6. Cultivo en lana de roca, sección transversal.

### 3.3 La fibra de coco.

El residuo de fibra de coco es utilizado, en algunos casos, como sustrato alternativo de la turba rubia para el cultivo de plantas ornamentales. Uno de los problemas que plantea este material es el ser demasiado seco, siendo difícil de manejar ya que una vez que se ha secado, al aplicar un riego el agua queda poco retenida en la superficie de la fibra debido a su reacción hidrófoba.

**Propiedades químicas.** Está compuesta, fundamentalmente, por lignina y celulosa. Contiene grandes cantidades de sodio y de cloro que se suelen lavar, en las zonas de acopio, con el agua de lluvia. El pH varía entre 5 y 6, la conductividad eléctrica entre 0,5 y 3 dS/m y la relación C/N entre 100 y 200.

**Propiedades físicas.** La densidad real está en torno a los 1.500 g/l, la densidad aparente sobre 70%, la porosidad total por encima del 95%, la capacidad de retención de agua superior a 500 ml/l y una capacidad de aireación de un 50%.

La **presentación comercial** suele ser en saco o suelta. Los sacos son de polietileno blanco-negro que contienen en su interior una bloque de fibra prensada, que se hincha al aportarle agua, sus medidas son de 100 cm x 15 cm x 10 cm. La fibra suelta se utiliza para rellenar contenedores en forma de maceteros con forma más o menos cúbica y canalones, fabricados con polietileno de alta densidad, de 70 cm x 15 cm x 14 cm. La cantidad de sustrato hidratado por planta es de 5 L. La altura del sustrato, en el saco, ronda los 15 cm y en los cubos unos 18 cm.

### **3.4 Otros sustratos de cultivo.**

El éxito del cultivo en sustrato va depender de su adecuada elección y serán las propiedades físicas las que tendrán un mayor peso, toda vez que la composición química se puede alterar mediante el riego y el abonado. Los materiales a utilizar así como sus mezclas dan una gama de sustratos que podemos emplear en agricultura muy variados.

Las turbas, son materiales orgánicos de origen vegetal, más o menos humificados, descompuestos de modo incompleto a causa del exceso de agua. Existen diferentes tipos de turbas que se clasifican, sobre todo, por su grado de descomposición (débil, medio y alto) y por los materiales que las componen (fibricas, hémicas y sápicas). La relación carbono/nitrógeno es variable. Se utilizan por sus buenas propiedades físicas, siendo las fibricas las más utilizadas como sustrato por su mayor porosidad y las pardas o rubias, poco descompuestas que se caracterizan por su estructura mullida, porosidad elevada, alta capacidad de retención de agua, baja densidad aparente y poca salinidad. Las turbas rubias, poco humificadas, suelen presentar una capacidad de intercambio catiónico de unos 125 meq/100 g, con una densidad aparente entre 60 y 100 kg/m<sup>3</sup>, una densidad real entre 1.400 y 1.650 kg/m<sup>3</sup> y una porosidad superior al 95%.

La corteza de pino, como sustrato se pueden utilizar cortezas de diferentes especies de árboles, en España, la más empleada es la de pino por ser la más abundante. Esta se obtiene como subproducto de la industria maderera. Existe una gran variabilidad en su composición, dependiendo del árbol, tipo de suelo, época del año en que se realiza la tala y otros. Las cortezas se pueden utilizar en fresco o compostadas. En el primer caso se puede producir una deficiencia de nitrógeno, en detrimento de la planta cultivada, ya que la relación C/N es muy elevada, con valores entre 100 y 200. También puede existir problemas de fitotoxicidad, debido a la presencia de fenoles y de manganeso. Estos problemas se evitan con el compostaje. Las propiedades físicas dependen del tamaño de sus partículas, siendo conveniente que, aproximadamente, un tercio de su peso esté constituido por partículas de tamaño inferior al milímetro. Es un sustrato ligero, con una densidad aparente entre 100 kg/m<sup>3</sup> para las partículas gruesas y 400 kg/m<sup>3</sup> para las finas. La porosidad suele ser superior al 80% pero con una débil capacidad de retención de agua y una aireación muy elevada. El pH es algo ácido (corteza fresca) y neutro (corteza compostada) y su capacidad de intercambio catiónico es de unos 50 meq/100 g.

La arena, utilizada como sustrato de cultivo tiene una granulometría que varía entre 0,2 y 2 mm, debiendo estar exenta de partículas limosas y arcillosas, y en caso de proceder de río no debe tener más de un 10% en carbonato cálcico. La densidad aparente, seca, es mayor de 1.500 kg/m<sup>3</sup>, ya que los gránulos no son porosos. La porosidad total, de carácter intergranular, es inferior al 50%. El pH oscila entre 4 y 8, y su capacidad de intercambio catiónico es, casi nula, inferior a 5 meq/100 g. Las arenas con granulometría inferior a 0,5 mm tienen gran capacidad de retención de agua, pero son muy asfixiantes, ya que la fuerza de retención aumenta a medida que disminuye el tamaño de las partículas.

## **4 Cultivo sin sustrato: la técnica de la lámina de nutrientes (NFT).**

El cultivo de plantas en una lámina de solución nutritiva recirculante, fue desarrollado originalmente con fines de investigación. En su origen, NFT es un retorno al principio de la verdadera hidroponía en el que las plantas son cultivadas estrictamente en un medio líquido. El principio de este sistema hidropónico consiste en la circulación constante de una lámina muy delgada de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo, que se encuentra en canales, no existiendo pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se constituye en un sistema de tipo cerrado. La alta relación superficie/profundidad de la solución garantiza una buena

aireación y la fina lámina reduce el volumen de raíces que se encuentran totalmente inmersas en la solución. Asimismo, la recirculación de la solución aumenta la aireación y asegura que las raíces reciban un aporte adecuado de oxígeno y de nutrientes.

# CALIDAD DE AGUA Y FERTI-RIEGO<sup>©1</sup>

Miguel Guzmán

Dpto Producción Vegetal. Universidad de Almería

[mguzman@ual.es](mailto:mguzman@ual.es)

## 1 Introducción

La introducción de las técnicas de ferti-riego de forma cada vez más frecuente en los sistemas de producción agrícola, nos obliga a reflexionar sobre los conceptos tradicionales de calidad de agua y sobre como el ferti-riego puede modificar los criterios que definen su posibilidad de utilización en agricultura.

Cuando utilizamos el ferti-riego como técnica de producción para aportar agua y fertilizantes a un cultivo, no podemos considerar ambos elementos por separado ya que las interacciones que se producen cuando los aplicamos conjuntamente son de un orden de magnitud tal que invalida las clasificaciones previamente establecidas. Además es sobradamente conocido que el concepto amplio de nutrición vegetal engloba los procesos de nutrición carbónica, hídrica y mineral como un todo en el que la absorción, transporte o movilización de elemento en el vegetal implica a los tres procesos simultáneamente.

En la interpretación tradicional de los análisis de agua para riego lo que se pretende valorar es el efecto que puede tener la utilización de un determinado tipo de agua como fuente de nutrición hídrica, sobre el desarrollo, el crecimiento o la producción del cultivo. Para utilizar cualquier sistema, método o parámetro de clasificación del agua de riego es necesario tener en cuenta que esta es uno más de los componentes del sistema de cultivo. Por tanto, su capacidad de utilización viene condicionado por el resto de los componentes del propio sistema, con los que interactúa. Las interacciones que se producen al aplicar fertilizantes al agua de riego son más importantes para analizar el sistema de cultivo que la suma de las propiedades de cada uno de los componentes analizados individualmente: el agua y los fertilizantes.

Por estos motivos es necesario asumir ciertas condiciones de utilización antes de adoptar la clasificación de un determinado tipo de agua como elemento de juicio para regular su utilización en fertirrigación.

Las premisas que regulan esta interpretación son las siguientes:

### 1.1 Producción potencial:

Debemos asumir que el manejo que se realiza del cultivo es el normal y adecuado, cuando no se define ninguna limitación de uso. Una “limitación en el uso” del agua para cualquier parámetro

---

©CYTED 2004; FERTI-RIEGO: TECNOLOGÍAS Y PROGRAMACIÓN EN AGROPLASTICULTURA (183-190+)  
Guzmán, M. & López Gálvez, J. (Ed) ISBN: 84-96023-27-3; DL: Al-290-2004; <http://www.cytetd.org>

<sup>1</sup> Trabajo presentado al **Taller de Riego y Fertirrigación**. (junio 2004) Colegio de Postgraduados, Montecillo México

---

significa que existe algún tipo de factor limitante que puede condicionar, tanto la elección del cultivo, como la adopción de técnicas especiales de manejo para mantener elevada la capacidad productiva del cultivo. En el caso de que el agua presente alguna limitación de uso deberemos asumir determinados niveles de descenso de la productividad potencial

## **1.2 Condiciones locales:**

Es necesario conocer las condiciones del sistema en el que se aplicará el agua. El drenaje debe ser adecuado, no deben presentarse mantos freáticos a menos de 1,5 m de profundidad del sistema radical. La textura del suelo tiene una gran importancia el uso del agua. No deben existir capas de restricción en el perfil del cultivo y la estructura debe conocerse adecuadamente. La lluvia no debe tener un papel preponderante en la satisfacción de las demandas hídricas del cultivo o en sus requerimientos de lavado.

## **1.3 Métodos y frecuencias de irrigación:**

La mayoría de las clasificaciones agronómicas de uso del agua se han diseñado para sistemas de irrigación superficiales o por aspersión que proporcionen una uniformidad aceptable. En estos sistemas de irrigación el agua se aplica cuando las necesidades del cultivo son evidentes. El cultivo utiliza una parte considerable (> 50%) de la reserva hídrica del suelo, antes de la siguiente sesión de irrigación; al menos el 15% del agua aplicada percola por debajo de la zona radical (fracción de lavado  $FL > 0.15$ ). La mayoría de las guías de interpretación de análisis de agua son demasiado restrictivas para los sistemas de irrigación altamente especializados (y, por tanto, para los sistemas de fertirrigación) que utilizan frecuencias de aplicación diarias o irrigaciones de alta frecuencia. Los sistemas de irrigación de alta frecuencia, requieren un manejo especial, pero proporcionan muchas más opciones para utilizar aguas de escasa o nula calidad agronómica en la mayoría de los cultivos.

## **1.4 Agua absorbida por los cultivos:**

Los diferentes cultivos difieren en sus patrones de absorción hídrica, pero las plantas prefieren absorber el agua allí donde está realmente más disponible. Alrededor del 40% del agua utilizada por un cultivo (fundamentalmente los hortícolas) se absorbe desde el cuarto superior del perfil del suelo explorado por sus raíces. Un 30% desde el siguiente cuarto; un 20% desde el tercero, y solo un 10% del cuarto más profundo.

Cada sesión de irrigación lava la capa superior (totalmente en los riegos superficiales y parcialmente en los localizados), manteniendo en este una CE relativamente baja. Por tanto, la salinidad incrementa con la profundidad y es mas elevada en las zonas más profundas del sistema radical. La salinidad media de toda el agua en contacto con el sistema radical suele ser del orden de tres veces la salinidad aplicada con el agua. El comportamiento de los sistemas de riego localizado y ferti-riego de alta frecuencia son sustancialmente diferentes, localizándose los mayores niveles de salinidad en los bordes del bulbo o de la banda húmeda del suelo.

Las sales se mueven desde las zonas superior a la inferior (o desde el punto de emisión hacia los bordes de la zona húmeda), acumulándose en estas áreas del suelo. Aunque estas sales pueden moverse por lavado con cantidades y calidades adecuadas de agua, el efecto de estas áreas de elevada salinidad es menos importante, si se mantiene una humedad adecuada en la zona de mayor actividad, superior o cerca del emisor. El mantenimiento de potenciales hídricos poco negativos (sin alcanzar niveles de saturación), en la zona de mayor actividad radical, facilita la absorción hídrica y mineral por el cultivo. Las precipitaciones o los riegos superficiales, contribuyen de una manera importante al lavado o redistribución de las sales del perfil.

## 1.5 Restricciones de uso:

El grado de restricción en el uso del agua de riego se presenta frecuentemente en diferentes grados: (ninguno, ligero, moderado, elevado y severo). La existencia de variaciones entre el 10 y 20% por encima o por debajo de los valores de referencia en la guía de interpretación utilizada son de menor importancia, si se atiende a otros factores del sistema de cultivo. Las guías de clasificación de la calidad agronómica del agua de riego utilizan (Tabla 1) diferentes índices. Estos pueden agruparse en: índices de primer y de segundo grado.

Tabla 1. Guía para clasificación agronómica de las aguas de riego

GUIA PARA INTERPRETACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO <sup>1</sup>							
PROBLEMA POTENCIAL				Unid	Grado de restricción de uso		
					Ninguno	Moderado	Severo
<b>Salinidad</b> (afecta a la disponibilidad de agua) <sup>2</sup>							
	EC <sub>w</sub>			dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
	(o)						
	TDS			mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000
<b>Infiltración</b> (afecta a la velocidad de infiltración en suelo ( se evalúa usando EC <sub>w</sub> y SAR simultáneamente) <sup>3</sup>							
	SAR	= 0 – 3		and EC <sub>w</sub>	=		
		= 3 – 6			=	> 0.7	0.7 – 0.2
		= 6 – 12			=	> 1.2	1.2 – 0.3
		= 12 – 20			=	> 1.9	1.9 – 0.5
		= 20 – 40			=	> 2.9	2.9 – 1.3
					=	> 5.0	5.0 – 2.9
<b>Toxicidad iónica específica</b> (afecta a cultivos sensibles)							
	Sodio (Na) <sup>4</sup>						
	Riegos superficiales			SAR	< 3	3 – 9	> 9
	Riegos localizados			me/l	< 3	> 3	
	Cloro (Cl) <sup>4</sup>						
	Riegos superficiales			me/l	< 4	4 – 10	> 10
	Riegos localizados			me/l	< 3	> 3	
	Boro (B) <sup>5</sup>			mg/l	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
	Elementos traza ( Table 21)						
<b>Efectos diversos</b> (afectan a cultivos susceptibles)							
	Nitrogeno (NO <sub>3</sub> - N) <sup>6</sup>			mg/l	< 5	5 – 30	> 30
	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> )						
	(Solo para aspersión)			me/l	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
	pH				Intervalo normal 6.5 – 8.4		

<sup>1</sup> Adaptado de University of California Committee of Consultants 197 (1).

<sup>2</sup> EC<sub>w</sub> = CE media, una medida de la salinidad del agua, expresada en deciSiemens/metro a °C (dS/m) o en millimhos/cm (mmho/cm). TDS= Media del total de sólidos disueltos, expresado en (mg/l).

<sup>3</sup> SAR= Relación de absorción de sodio media. A veces, SAR se presenta como RNa. Para un valor de SAR dado, la velocidad de infiltración aumenta, amedida que aumenta la salinidad. Pueden evaluarse los problemas potenciales de infiltración respecto del SAR como modificación de la Ecw en: Rhoades 1977, and Oster and Schroer 1979.

<sup>4</sup> Con riegos superficiales, para la mayoría de los cultivos leñosos sensibles al ClNa, usar los valores inferiores. La mayoría de las especies anuales no son sensibles Ver tablas de tolerancia en el documento de referencia. (Tablas 4 y 5 y 14). En sistemas de riego por aspersión y con humedades menores del 30%, Na y Cl pueden absorberse foliamente. Para los valores de sensibilidad a esta absorción pueden consultarse las tablas 18, 19 y 29 del mencionado documento.

<sup>5</sup> Para tolerancia al Boro pueden consultarse las tabla 16 y 17 del documento de referencia.

<sup>6</sup> NO<sub>3</sub>-N expresa la cantidad de nitrógeno elemental que se presenta en forma de nitratos. Cuando se analizan aguas residuales debe analizarse tanto NH<sub>4</sub> -N como Orgánico-N.

En este sentido el manejo del agua mediante las técnicas de ferti-riego, puede alterar las clasificaciones de la mayoría de las guías de interpretación, aunque en términos generales, estas normas son aplicables en la mayoría de las regiones áridas y semiáridas sometidas a irrigación convencional.

## 2 Ventajas del ferti-riego sobre el riego

De entre las ventajas que se le atribuyen al ferti-riego, las que se relacionan con la cantidad y la calidad del agua utilizable para el riego, son las dos que presentan mayor interés para este seminario.

No abordaremos aquí la discusión planteada respecto de la cantidad o la eficiencia del agua aportada en los sistemas de ferti-riego localizado que se presenta como anexo en este libro, sino que plantaremos la discusión sobre los aspectos cualitativos.

Tradicionalmente se asume que el ferti-riego permite utilizar aguas de peor calidad agronómica. Sin embargo, esta afirmación parece responder solo a los sistemas utilizados para clasificar la utilidad del agua para riego y no es más que el resultado de los efectos interactivos entre el agua (y las sales que contiene de forma natural) y los fertilizantes adicionados a la misma.

Taller de Ferti-riego en Platicultura Chapingo 2-4 Junio 2004

### Agua de riego y solución nutritiva (RASadj)

$$\text{SAR}_{\text{adj}} = \text{SAR} \times (1 + (\text{pH}_w - \text{pH}_c))$$

$$\text{pH}_c = (\text{pk}_2 - \text{pk}_c) + \text{p}(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) + \text{p}(\text{Alk})$$

$$(\text{pk}_2 - \text{pk}_c) = f(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+) \text{ Tabulado}$$

$$\text{p}(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) = f(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \text{ Tabulado}$$

$$\text{p}(\text{Alk}) = f(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) \text{ Tabulado}$$

Meq/l	pH	CO <sub>3</sub>	Na	Ca	Mg	pH <sub>c</sub>	SAR <sub>a</sub>	pH <sub>ca</sub>
Agua	8.4	2.5	8	1	0.5	8.00	12.94	9.2
Solución	5.5	0.5	8	8	6	7.8	1.92	8.1

Guzmán M. 2004 © RNM 151 PAI-UAL

Fig. 1 Índices de segundo grado utilizados para clasificación de aguas de riego

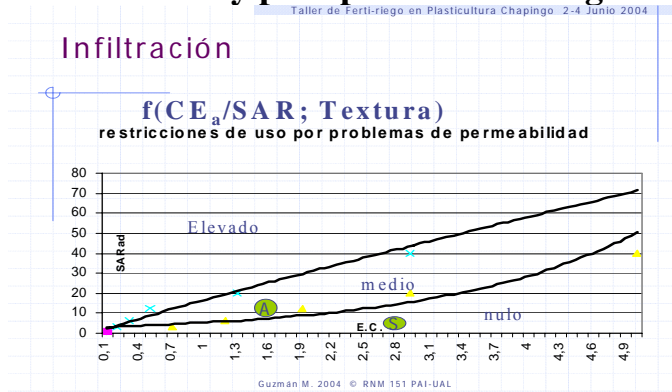
La modificación de las relaciones aniónicas por adición de fertilizantes al agua de riego modifica su capacidad de infiltración y la de precipitación de sus sales, lo que le confiere una mayor disponibilidad relativa para los cultivos.

En la Figura 1 se presentan algunos de los índices utilizados para determinar la potencialidad de un agua de riego. Al aplicar las técnicas de ferti-riego de forma continua, debemos considerar que lo que se aplica al suelo en cada sesión de ferti-riego es la solución y no el agua, por lo que la potencialidad del agua se ve modificada por la adición de sales externas (fertilizantes). Tomemos como ejemplo la composición química del agua y la de la solución de ferti-riego que se presentan en la Figura 1 y calculemos los índices que nos permitan clasificar los riesgos o restricciones de uso de ambos, por cualquier método.

Los problemas o restricciones de uso por toxicidad iónica específica que se basan en la relación existente entre Na y CE, se ven alterados, pudiendo resultar una solución de ferti-riego “buena a admisible”, cuando utilizamos un agua que al aplicarla individualmente sería “no válida” o “dudosa”.

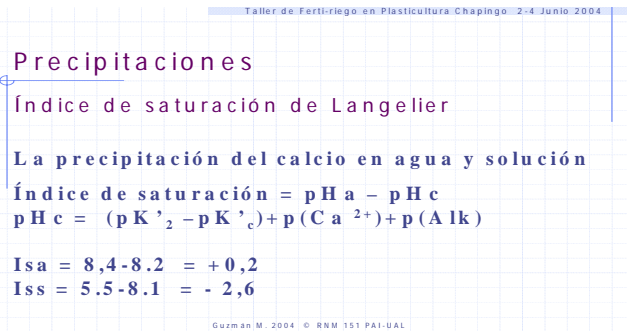


## 2.1 Infiltración y precipitaciones del agua



Los problemas de infiltración que presenta el agua de la figura 1 serían “medio”, mientras que la aplicación de la solución de ferti-riego, preparada con el mismo agua, presenta un riesgo “nulo”. La solución de ferti-riego penetrará mas fácilmente en el perfil del suelo que el agua con la que se fabrica

Fig. 2. Restricciones de por problemas de infiltración para el agua (A) y la solución de ferti-riego (S) de la figura 1.

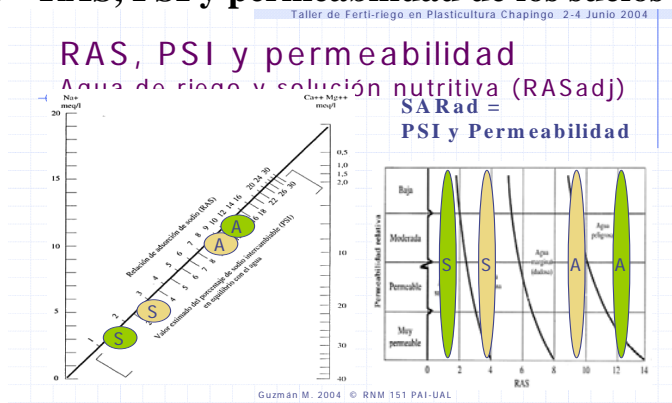


Los valores positivos del índice de Langelier para el agua de la figura 1, representan un riesgo moderado de precipitación de Ca en el perfil del suelo (y por supuesto en los goteros). Al aplicar el mismo agua junto al los fertilizantes, no existe riesgo de precipitación de sales cálcicas.

Fig. 3. Riesgos de precipitación del agua (a) y la solución de ferti-riego (s) de la figura 1

Sin embargo, debemos tener en cuenta, que la aplicación alternativa de agua y solución de ferti-riego puede incrementar los problemas de precipitación en el sistema, como resultado de la redisolución y precipitación de dichas sales

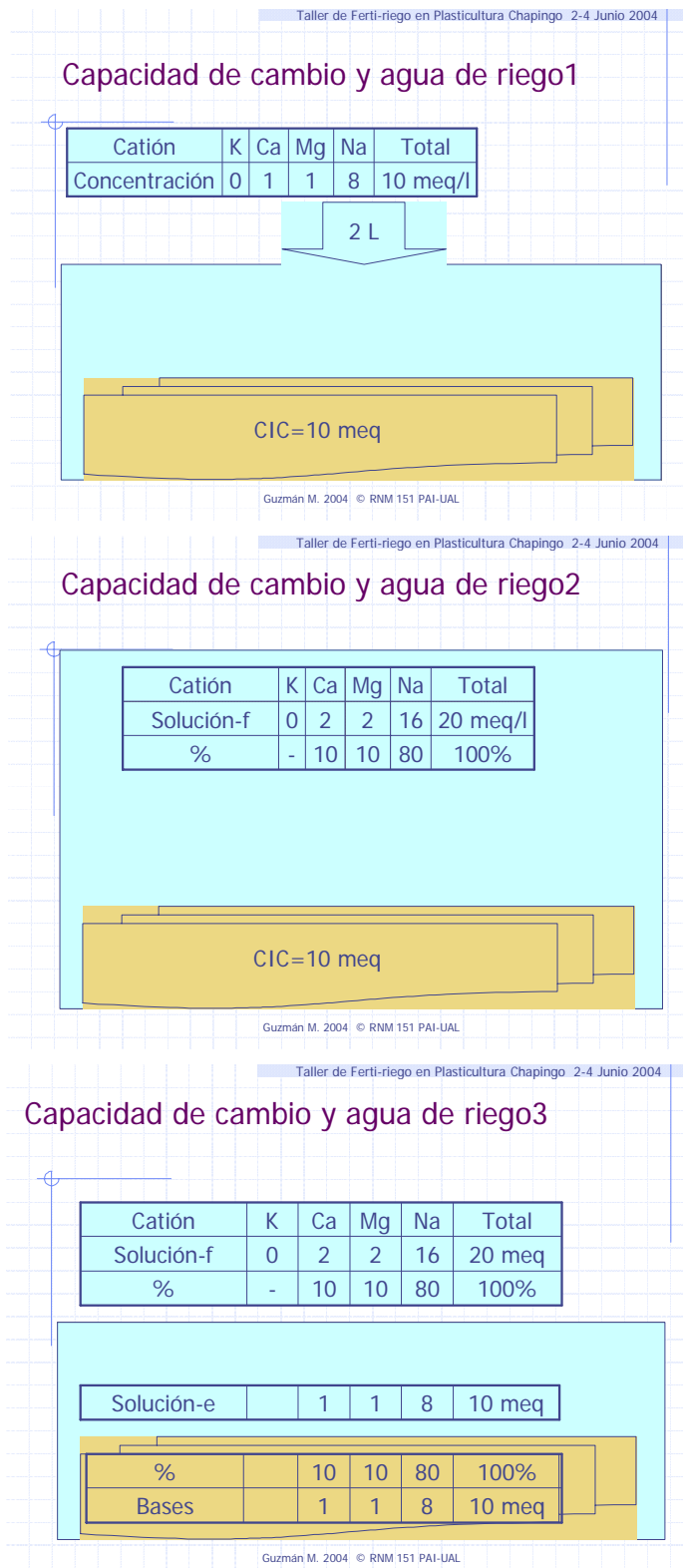
## 2.2 RAS, PSI y permeabilidad de los suelos



La modificación de las relaciones catiónicas tiene efectos sobre la relación de absorción de sodio del agua (RAS) y sobre el porcentaje de sodio cambiante del suelo (PSI). La aplicación del agua de riego, sitúa el PSI del suelo muy cerca del límite permitido para los cultivos, mientras que al aplicar la solución de ferti-riego, este descende hasta valores no peligrosos. De la misma forma los riesgos de impermeabilización del suelo pasan de “agua peligrosa” al aplicarla sola, a “agua media” o “agua superior”

Fig. 4. Relación de Adsorción de Sodio (RAS) en agua (A) y solución (S); Porcentaje de Sodio Cambiable (PSI) y riesgos de pérdida de permeabilidad del suelo.

### 2.3 Bases de cambio (CCC)



Analizamos el efecto del ferti-riego sobre las bases que ocupan los lugares de cambio (CCC) del suelo.

Supongamos que aplicamos a un suelo  $2 \text{ l}\cdot\text{m}^{-2}$  del agua, cuya composición catiónica se presenta en la imagen superior. Evidentemente estos camiones tienen que venir acompañados de aniones, cuya composición no es de interés en este momento

Supongamos que el volumen de suelo mojado presenta una capacidad de cambio de 10 meq.

Al poner en contacto el agua de riego con el suelo, las bases se intercambiarán con la existente en los lugares de cambio del suelo (por simplificación no se consideran).

Si suponemos, además, que la afinidad por los cationes es la misma para todos los lugares de cambio del suelo, estas se intercambiarán de acuerdo con su proporción relativa en la solución del suelo.

Tras el equilibrio, los lugares de cambio del suelo estarán ocupados por otros 8 meq de Na, 1 de Ca y 1 de Mg., es decir, nos encontramos ante un suelo claramente sódico.

De la misma forma, y siguiendo esta relación, permanecen en la solución edáfica (solución-e) suelo 8 meq de Na, 1 de Ca y 1 de Mg.

Los aportes que realicemos con agua tenderán a mantener este equilibrio, que es el que no presentará la analítica del suelo.

Fig. 5. Comportamiento de la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo, en equilibrio con un agua de riego.

Capacidad de cambio y solución de ferti-riego1

Catión	K	Ca	Mg	Na	Total
Concentración	7	8	6	8	29 meq/l
2 L					
Solución-e		1	1	8	10 meq
%		10	10	80	100%
Bases		1	1	8	10 meq

Guzmán M. 2004 © RNM 151 PAI-UAL

Capacidad de cambio y solución de ferti-riego2

Catión	K	Ca	Mg	Na	Total
Solución-f	14	16	12	16	58 meq
%	24	28	20	28	100%
Solución-e	14	17	13	24	68 meq
Sustrato	0	1	1	8	10 meq
NUEVO %	18	23	18	41	100%
%	18	23	18	41	100%
Bases	1,8	2,3	1,8	4,1	10 meq

Guzmán M. 2004 © RNM 151 PAI-UAL

Capacidad de cambio y solución de ferti-riego3

Catión	K	Ca	Mg	Na	Total
Solución-f	14	16	12	16	58 meq
%	24	28	20	28	100%
Solución-e	12,2	15,7	12,2	27,9	68 meq
%	18	23	18	41	100%
Bases	1,8	2,3	1,8	4,1	10 meq

Guzmán M. 2004 © RNM 151 PAI-UAL

Si al suelo anteriormente presentado, incluyendo su solución edáfica sódica, le aplicamos ahora una solución de ferti-riego como la que aparece en la primera imagen de la figura 6, no encontramos ante una situación sustancialmente diferente. La concentración salina de la solución es mayor que la del agua, ya que presenta los contenidos que no pueden eliminarse de esta, más los aportados por los fertilizantes.

La solución edáfica, estará compuesta en el momento de la mezcla por los 58 meq, aportados por los dos litros de solución de ferti-riego, más los 10 meq presentes en la solución edáfica anteriormente. La relación de equilibrio porcentual de esta solución edáfica no se mantiene durante mucho tiempo, ya que en el sistema, además, se encuentran los 10 meq que ocupan las bases de cambio del suelo. Es decir, el total de cationes presentes en el sistema suelo-solución es de 78.

Esta situación genera una nueva distribución de equilibrio que hace que se intercambien cationes entre el suelo y la disolución edáfica. Tras alcanzar el nuevo equilibrio la solución se ha enriquecido con el Na presente en el suelo y se ha empobrecido en K, Ca y Mg. Pero el gran cambio se ha producido en las bases de cambio del suelo que hacen que la sodicidad del mismo descienda considerablemente.

Fig. 6. Comportamiento de la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo, en equilibrio con una solución de ferti-riego.

Esto le confiere propiedades beneficiosas sobre el mantenimiento o la recuperación de los suelos ferti-rigados

Cuando se utilizan técnicas de ferti-riego adecuadamente definidas, la utilidad de las aguas para irrigación, debe analizarse considerando más que el propio agua, la solución de ferti-riego que se aporta,. La solución de ferti-riego debe llevar siempre disueltas sales diferentes a las que el agua presenta de forma natural. Este hecho afecta, no solo su clasificación agronómica, sino a la propia definición de los criterios calidad agronómica del agua.

## 2.4 Propuesta de ejercicio:

Con el agua de riego de la tabla siguiente, pretendemos aplicar la solución de ferti-riego que aparece debajo. Determinar la calidad agronómica de ambas (agua y solución), y la clasificación de ambas según las normas Riverside.

Determinar: Salinidad y contenido en elementos; Equilibrios K/Ca;  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ ; Ca/Mg y Ca/salinidad y clasificar tanto el agua como la solución aportada (aportes previstos, de acuerdo con Ayers y Westcot

	Aniones (meq/l)					Cationes (meq/l)					pH	CE
	$\text{NO}_3^-$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^{=}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$		
Agua de riego	-	-	1.0	3.5	11	-	-	2.0	2.0	11	7,9	1,68
Disolución ideal	14.0	1.0	4.0	0.5	-	1.0	6.0	8.0	4.0	-	5,5	2,93
Aportes previstos.				0.5	11					11		

## 3 Bibliografía

- University of California Committee of Consultants 197. Interpretation Guide for irrigation water quality. CU. California USA
- Ayers, R.S. y D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrig. and Drain. Paper N° 29, Roma.
- Cánovas, J. 1986. Calidad agronómica de las aguas para riego. Ministerio de agricultura pesca y alimentación. Madrid.
- Cerda A., Caro M. y Fernandez F.G. 1980. Criterios básicos para evaluar la calidad de las aguas para riego. An. Edaf. Agrob. XXXIX. 1779-1791.
- Pescod, M.M. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. FAO Irrig. & Drain. Paper No. 47, Roma.
- Maas, E.V. 1990. Crop salt tolerance. En: Agricultural salinity assessment and management. K.K. Tanji (ed), Am. Soc. Civil Eng., Manual & Rep. on Eng. n° 71, New York, pp. 262-304.
- Nakayama F.S. y D.A. Bucks. 1991. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. Irrigation Sci. 12: 187-192
- Organización Mundial de la Salud. 1989. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Informe Técnico 778. OMS, Ginebra.

# CARACTERÍSTICAS DE LOS FERTILIZANTES PARA SU USO EN LA FERTIRRIGACIÓN<sup>©</sup>

Eduardo Rodríguez Díaz

Departamento de Producción Agrícola CUCBA. Universidad de Guadalajara. México

Km 15 Carretera a Nogales. Las Agujas, Zapopan, Jalisco. México

[erodrigu@maiz.cucba.udg.mx](mailto:erodrigu@maiz.cucba.udg.mx)

Miguel Guzmán

Dpto. de Producción Vegetal. Universidad de Almería, España

[mguzman@ual.es](mailto:mguzman@ual.es)

## 1 Introducción

El descubrimiento químico más importante para la agricultura ha sido lo relacionado con los fertilizantes minerales. En conjunto con otros factores de los sistemas de producción, ha permitido incrementar los rendimientos de los cultivos y que aplicados en forma oportuna y racional se logra mantener la fertilidad de los suelos. Sin embargo, el uso excesivo e inoportuno al originar problemas de salinización de suelos y contaminación de acuíferos, a dado lugar a descalificar su uso.

Al existir un desequilibrio nutritivo en el suelo, ya sea originado por la extracción de las plantas, las propias características del suelo u otra razón, obliga al uso técnico de los fertilizantes minerales. Con el conocimiento de fertilidad de suelos y nutrición vegetal, permitirá aplicar y disponer los elementos nutritivos para la planta en una forma equilibrada. El uso excesivo de un fertilizante para aportar un elemento asimilable puede originar un desequilibrio con otros elementos antagónicos y afectar el desarrollo y producción de la planta.

Los fertilizantes minerales aplicados racionalmente y de manera equilibrada permite obtener cosechas mas abundantes y de mejor calidad. Las aplicaciones inadecuadas, cosa que sucede con frecuencia, se manifiestan en un agotamiento del suelo impidiendo conservar su fertilidad.

Una de las formas de lograr un equilibrio nutritivo en el suelo es la aplicación de los fertilizantes minerales a través de los sistemas de fertirrigación. Al considerar las características químicas del suelo y el agua de riego y el comportamiento de los fertilizantes al incorporarlos al sistema, se está haciendo un uso racional, oportuno y equilibrado de los fertilizantes.

En el caso del uso de los fertilizantes, en un sistema de riego por goteo es importante considerar algunas características individuales de los mismos, que al usarse en el riego convencional no pudieran ser tan relevantes. Tal es el caso de la solubilidad en el agua de riego. Esta varía con la

temperatura, ya que al disolverse algunos fertilizantes enfrían el agua y en consecuencia bajan la solubilidad del producto que se agrega o de otros ya existentes en la mezcla. Otro aspecto a considerar es la compatibilidad entre los productos que se incorporan en la solución madre, los cuales pueden reaccionar entre si o con los elementos contenidos en el agua de riego y formar compuestos insolubles precipitados. Otro de los aspectos a considerar es el carácter ácido o alcalino (básico) del fertilizante a disolver, ya que esta reacción tendrá influencia en la solubilización o insolubilización de los precipitados. Finalmente tomar en cuenta que al disolver los fertilizantes en el agua se incrementa la conductividad eléctrica de la solución del suelo pudiendo sobrepasar los límites de tolerancia de las plantas.

## 2 Definición de fertilizante

Se define como un producto químico, en este caso inorgánico, que aporta elementos nutritivos para las plantas, y que como producto químico es una sal inerte sin carga, que al mezclarse con el agua (ya sea del suelo o de una solución) se disocia dejando nutrientes en forma iónica, es decir elementos con carga negativa (aniones) o con carga positiva (cationes).

Cuadro 1. Disociación iónica de dos fertilizantes típicos.

Fertilizante	Iones cargados después de la hidrólisis	
KNO <sub>3</sub> (Nitrato de Potasio)	K <sup>+</sup> (Cación Potasio)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (Anión Nitrato)
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (Fosfato Monoamónico)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (Cación Amonio)	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (Anión Fosfato)

Fuente: SQM

## 3 Características generales de los fertilizantes para ferti-riego.

En este aspecto se mencionan, entre otras, tres importantes características de los fertilizantes, influyentes en un adecuado manejo del ferti-riego: La composición química, la pureza, la solubilidad, la salinidad y el pH.

1. Necesariamente deberán ser solubles en el agua de riego. Podrán presentarse en forma sólida o líquida. Los sólidos son materia prima cristalizada de origen natural o sintetizada industrialmente que contienen uno o dos nutrientes. Básicamente se trata de una sal fertilizante integrada por un catión y una anión que se pueden mezclar si son físicamente y químicamente compatibles. Los materiales sólidos para la fertirrigación deberán ser denominados como “solubles”, ya que esta solubilidad evitará las obstrucciones en las tuberías y emisores. Descartándose aquellos materiales que han sido aditivados para su conservación.

Los líquidos son productos derivados de procesos industriales preparados para su uso específico en el ferti-riego. Se presentan en varias categorías: las soluciones ácidas, las suspensiones y las mezclas. Se encuentran en presentaciones ya listas para ser inyectadas al sistema de riego o en altas concentraciones que deberán ser diluidos para su aplicación.

Según el número de nutrientes que aportan pueden ser simples (aportan solo uno), binarios (aportan dos nutrientes), completos o mezclas (aportan mas de dos nutrientes).

Es importante señalar que la temperatura influirá en la solubilidad de los fertilizantes, por lo que deberá considerarse al momento de la mezcla de los fertilizantes o su incorporación en el sistema de riego. A mayor temperatura mayor solubilidad.

2. Los fertilizantes son sustancias ionizables que incrementan la concentración de iones del agua de riego. Todos los fertilizantes solubles tienen, por tanto, una conductividad eléctrica característica. En la fertirrigación esta variable se utiliza para conocer la salinidad que se generará en la solución nutritiva y en la solución del suelo, lo que permitirá establecer la

concentración salina a una presión osmótica que no disminuya el rendimiento de los cultivos. Se recomienda que los abonos no aumenten más allá de  $1 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  (mmho/cm) la conductividad eléctrica del agua de riego, es por tal razón que en ocasiones deberá fraccionarse lo más posible la fertilización. Siendo ideal que la C.E. del agua más la de los fertilizantes se encuentre entre 2 y 3 mmhos/cm siempre y cuando no supere los límites de tolerancia de la planta, que son diferentes para cada cultivo.

3. Al ser los fertilizantes, sales altamente disociables influirán en las propiedades químicas y particularmente en el pH; presentan un pH distinto en solución o al mezclarse con el agua de riego, si el fertilizante incrementa el pH se tendrán riesgos de precipitados, si lo baja disminuirá el riesgo de precipitados en los emisores. A los fertilizantes solubles se les mide su pH en una solución de 1 g/L a 20° C. Algunos fertilizantes al inicio presentan un pH alcalino en el agua, pero al incorporarse al suelo tienen una reacción acidificante (Fosfato diamónico soluble).

### **3.1 Características particulares de los fertilizantes para fertirrigación.**

En términos generales, los fertilizantes empleados para la fertirrigación tienen que presentar una adecuada solubilidad para poderse manejar y distribuir adecuadamente. No deberán reaccionar entre ellos formando precipitados. Deberán ser compatibles con los elementos contenidos en el agua de riego. Carecer de impurezas y aditivos que induzcan espumas o precipitados que obstruyan o tapen los emisores del sistema de riego. Deberán presentar una composición química conocida y constante. Entre otras características.

#### **3.1.1 Composición química del fertilizante comercial.**

Puede parecer una cuestión carente de importancia, pues al adquirir un fertilizante siempre se nos proporciona la composición química. Sin embargo, esta información, solo responde a la regulación de composición química *predominante* y está altamente influida por el proceso de fabricación. Pensemos en el fosfato monoamónico  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ . La presencia en un producto comercial de otros fosfatos de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  o  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$  depende del proceso de fabricación y no constituye un fraude, por lo que no puede exigirse más de lo que la legislación sobre la materia impone en cada caso. Si intentamos estimar la riqueza en N y  $\text{P}_2\text{O}_5$  simultáneamente en dos fosfatos monoamónicos fertilizantes, procedentes de fabricantes diferentes, encontraremos que ninguna de las riquezas no es compatible con una sola fórmula química. Esto no significa que existan errores en el etiquetado o en la fabricación, sencillamente, los valores en N y  $\text{P}_2\text{O}_5$  responden a la analítica realizada sobre el fertilizante para garantizar su riqueza comercial, no su composición.

El desconocimiento de la composición química de un fertilizante nos puede inducir a cometer errores por desconocimiento que perjudiquen gravemente la respuesta de nuestro cultivo a una determinada solución de fertirrigación. Desgraciadamente, es bastante frecuente encontrar en manuales actuales, que utilizan técnicas de ferti-riego, errores sobre la composición química de los fertilizantes que invalidan, o nos hacen dudar sobre la validez de los criterios aplicados en toda la obra. Consulte a este efecto, la tercera edición del Manual de cultivos sin suelo de Urrestarazu, M. 2004

Pongamos ahora como ejemplo uno de los fertilizantes más utilizados en ferti-riego para cultivos sin suelo: el nitrato cálcico. Se emplea básicamente como fuente de calcio, pero, además, aporta nitrógeno. Es sin duda alguna el fertilizante más empleado en fertirrigación. A pesar de que tanto los suelos como las aguas de nuestra zona contienen cantidades apreciables de Ca, el aporte adicional por medio de este fertilizante resulta beneficioso para compensar excesos relativos de Na y prevenir la degradación de la estructura del suelo. También puede utilizarse para equilibrar los aportes de Mg. Es eficiente en la prevención de alteraciones fisiológicas ocasionadas por la baja movilidad del

Ca como la podredumbre apical (Blosson end rot) en tomate, pimiento y melón, el tipburn en lechuga, o el bitter pit en manzana.

La sal pura:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  es altamente higroscópica, por lo que cuenta con agua constitucional, normalmente 2 moléculas de agua forman parte de su composición química dando:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Sin embargo, su alta higroscopicidad hace que el número de moléculas de agua aumente con el tiempo, si el fertilizante se mantiene en un ambiente rico en humedad. De esta forma, al utilizar repetidamente un envase para preparar soluciones de ferti-riego, podemos estar utilizando sustancias con diferente contenido hídrico, y el agua pesa, por lo que estaremos reduciendo la cantidad de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  aportada a las siguientes soluciones. Esta anomalía puede eliminarse realizando soluciones concentradas que utilicen totalmente el envase original (no almacenar envases abiertos de este tipo de fertilizantes).

En realidad, el fertilizante comercial no es la sal pura que hemos descrito, sino una sustancia mucho más compleja, y que como consecuencia del proceso de fabricación, contiene como componente esencial nitrato cálcico y ocasionalmente nitrato amónico. Su fórmula química es:  $5[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}] \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3$  (peso molecular de 1080,5). Por tanto, este fertilizante aporta una parte del nitrógeno en forma amoniacal. Este amonio, no es una impureza, sino que se considera en la riqueza en N del fertilizante, y aunque puede despreciarse en cultivos en suelo o enarenado, es conveniente considerar en cultivos sin suelo. ¿Cómo puede considerarse como una condición ineludible para el buen funcionamiento de los cultivos sin suelo, no aportar más de  $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  de amonio, si se desconoce la cantidad que aporta el nitrato de calcio?

### 3.1.2 Riqueza y pureza: peso molar de los fertilizantes

Habitualmente, las garantías de composición de los fertilizantes químicos, vienen expresadas en función de su riqueza. Esta representa la cantidad porcentual de elemento (o del óxido del mismo) que se encuentra presente en la sustancia comercial. La pureza de una sal viene definida por la cantidad porcentual de sustancia químicamente pura presente en una mezcla. Los fertilizantes utilizables para ferti-riego deben ser de elevada pureza, pero esto no implica que puedan ser considerados como sales puras. El conocimiento de la cantidad de sal pura presente en un envase de fertilizante, resulta de gran importancia a la hora de preparar soluciones nutritivas. Sobre todo cuando el sistema de cultivo, en el que se aplica el ferti-riego, utiliza un sustrato carece de capacidad para intercambiar iones (CCI) con la solución rizosférica.

ELEMENTO	P. ATOMICO	P. EQ.	ELEMENTO	P. ATOMICO	P. EQ.
C	14		$\text{K}^+$	39	39
$\text{HCO}_3^-$	61	61	$\text{Ca}^{2+}$	40	20
$\text{CO}_3^{=}$	60	30	$\text{Mg}^{2+}$	24	12
H	1	1	$\text{Fe}^{2+}$	56	28
O	16		$\text{Mn}^{2+}$	55	27,5
N	14		$\text{Zn}^{2+}$	65,5	32,8
$\text{NH}_4^+$	18	18	$\text{Cu}^{2+}$	64	32
$\text{NO}_3^-$	62	62	$\text{Na}^+$	23	23
P	31				
$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	97	97			
S	32				
$\text{SO}_4^{=}$	96	48			
B	11	11			
$\text{B}_4\text{O}_7^{=}$	155	77,5			
Cl	35,5	35,5			
Mo	96				
$\text{MoO}_4^-$	160	80			

Cuadro 2. Peso atómicos y equivalentes para los diferentes elementos nutritivos



Para este conocimiento sin necesarios conocimientos químicos básicos. En el cuadro 2 se presentan los pesos atómicos de los elementos nutritivos; los pesos iónicos de las formas más fácilmente asimilables por las plantas y sus correspondientes pesos equivalentes. Los fertilizantes no pueden considerarse en ningún caso como sales químicamente puras, por lo que debemos conocer o estimar su pureza para cada caso concreto.

Utilicemos como ejemplo el nitrato amónico. Posiblemente sea el fertilizante más utilizado en fertirrigación sobre suelo, debido a su gran riqueza en nitrógeno; La forma amónica es fácilmente retenida por los coloides del suelo lo que disminuye las pérdidas por lavado. Esta forma N-NH<sub>4</sub>, se absorbe progresivamente a ser transformada en nitrato, y tiene carácter acidificante. Su utilización en sistemas de cultivo hidropónico se ve muy limitada por la toxicidad que presenta el ión amonio. Este es directamente asimilable por las plantas lo que en nuestras condiciones puede suponer sintomatología de toxicidad amónica con concentraciones de amonio en solución superiores a 0,8–1,0 meq /l. Esta facilidad de asimilación, solo hace recomendable su uso en épocas de gran demanda en nitrógeno. Las plantas son capaces de soportar mayores concentraciones de amonio durante los primeros estadios de su crecimiento (o cuando este es eminentemente vegetativo). Sin embargo, determinadas especies hortícolas pueden asimilar hasta un 20% del N como N-NH<sub>4</sub>, sin manifestar síntomas de toxicidad, incluso en cultivos sobre sustratos sin capacidad de cambio catiónico (CCC).

La tabla 1 recoge las riquezas y purezas de dos fuentes de nitrato amónico: una sal pura de laboratorio (35% N, cuyo precio resulta prohibitivo como fertilizante) y un fertilizante comercial de elevada pureza (33,5% N). Ambos pueden considerarse como productos comerciales de elevada pureza, sin embargo, al preparar disoluciones de fertirrigación es imprescindible ser conscientes de que cuando pesamos 1 Kg de producto, NUNCA estamos pesando 1 kg de sal pura. Por este motivo la disolución resultante de cada producto tendrá una composición molar diferente.

Tabla 1. Riqueza y pureza (expresada en g.Kg<sup>-1</sup>; ppm; mol.Kg<sup>-1</sup> y eq.Kg<sup>-1</sup>) de dos productos comerciales de nitrato amónico

Sal	Riqueza	%	g/Kg	ppm	mol/Kg	q/Kg
<b>Nitrato Amónico(Puro: 17.5 + 17.5)</b>	<b>N</b>	<b>35.0</b>	<b>350</b>	<b>350.000</b>		
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	77.5	775.0	775.000	12.5	12.5
Pm = 80	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	22.5	225.0	225.000	12.5	12.5
Pureza 99.93%	Total	100	1000	1000.000	12.5	
<b>Nitrato Amónico(Fert: 16.75 + 16.75)</b>	<b>N</b>	<b>33,5</b>	<b>335</b>	<b>335.000</b>		
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	74.13	741.3	741.300	11.96	11.96
Pureza 95.65%	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	21.52	215.2	215.200	11.96	11.96
Pmolar = 83,64	Total	95.65	1000	1000.000	11.96	

Si la sal pura contiene en 35% de su peso como N elemental, en el fertilizante comercial solo el 33,5% de su peso es N elemental. Esto significa que la pureza de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> en el fertilizante comercial es del 95,65% (el 4,35% restante son impurezas que no contienen nitrógeno). Un 50% del N está en forma NO<sub>3</sub>-N- y otro 50% en forma NH<sub>4</sub>-N. Esto quiere decir, que cada Kg que extraemos del envase, contiene 11,96 moles de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (que en disolución se disociará en 11,96 moles de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y 11,96 moles de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Sin embargo, el 74,13% del Kg pesado son NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y el 21,52% es NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Aunque carece de significación química, el concepto de “*peso molar*” de una sustancia es de gran utilidad a la hora de preparar soluciones de ferti-riego. El peso molar (no confundir con peso molecular) representa la cantidad de producto comercial que es necesario pesar para obtener un mol

de la sal pura que queremos disolver. Se calcula dividiendo el peso molecular de la sal pura (pm) entre la riqueza del producto comercial. En otras palabras: Para preparar una disolución de fertiriego que contenga un mol de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , es necesario pesar 83,64 g del producto comercial contenido en el saco de fertilizante. El conocimiento de estas relaciones entre la riqueza y la pureza de un fertilizante, expresado como peso molar, no solo facilita los cálculos de preparación de las soluciones nutritivas, sino que disminuye el riesgo de cometer errores por desconocimiento. El peso molecular del nitrato calcico fertilizantes sería de 1080,5, y su peso molar (para el producto comercial de HIDRO o SQM) es de 1084,7. En el anexo de este tema se presentan tablas con los datos más significativos de los fertilizantes usados para fertiriego en Almería.

### 3.1.3 Solubilidad.

Tabla 2. Solubilidad de algunos fertilizantes a 20° C

Fertilizante	Solubilidad (g/l)
Nitrato de calcio	1200
Nitrato de amonio	1700
Sulfato de amonio	500
Urea	500
Nitrato de potasio	300
Sulfato de potasio	110
Fosfato monopotásico	200
Fosfato monoamónico	200
Sulfato de magnesio	700
Nitrato de magnesio	550
Cloruro de potasio	350
Bórax	50

Para incorporar los fertilizantes al agua de riego se debe preparar previamente una solución madre, en donde es importante el grado de solubilidad de los abonos empleados. Esto permite determinar la cantidad máxima de fertilizante a utilizar en un determinado volumen de agua.

En este aspecto se debe tener presentes dos factores: La pureza del agua y su temperatura. A mayor pureza y temperatura, mayor será la solubilidad. En diversa literatura se presentan tablas de solubilidad estandarizadas a 20° C para distintos fertilizantes (Tabla 2), sin embargo, como la

calidad del agua es diferente, estas pruebas se realizan con agua destilada y posiblemente la solubilidad en una finca en particular pudiera ser menor.

Tabla 3. Solubilidad del Nitrato de amonio (33.5%) según temperatura.

Temperatura (°C)	Solubilidad (g/L)
18	1520
22	1700
24	1720
26	1760
28	1820

Fuente: Fesa-Enfersa

Lo anterior nos sirve de orientación, sin embargo, se tiene que considerar que en el caso de los fertilizantes nitrogenados producen una reacción endotérmica, es decir, enfrían el agua en la que se disuelve el fertilizante. Incluso pueden bajarla a 0° C disminuyendo de esta manera la solubilidad de otro abono a disolver en la solución. En la tabla 3 se ilustra la variación de la solubilidad del Nitrato de amonio en función de la temperatura.

### 3.1.4 Conductividad Eléctrica.

Los fertilizantes solubles tienen diferente conductividad eléctrica y esta se utiliza para conocer la salinidad que genera y poder elegir el producto mas adecuado. Las unidades utilizadas para medirla son los ds/cm o los mmhos/cm, debiéndose medir a concentración menor a 1 g de fertilizante / litro de agua, a una temperatura de 20° C (Tabla 4).

En condiciones de agua y/o suelo con determinada salinidad, el conocer este parámetro del fertilizante permitirá elegir aquellos que presentan una baja conductividad eléctrica. O caso contrario se podrán utilizar los que generan mayor conductividad; en este último caso en algunos cultivos, dependiendo de la fase fenológica, se busca incrementar la conductividad eléctrica de la solución del suelo para buscar un determinado beneficio.

Fertilizante	C.E. $\mu\text{S}/\text{cm}$
Nitrato de amonio	850
Nitrato de potasio	693
Nitrato de calcio	605
Nitrato de magnesio	448
Sulfato de amonio	1033
Sulfato de magnesio	410
Sulfato de potasio	880
Fosfato monoamónico	455
Fosfato monopotásico	375
Cloruro de potasio	948

Alarcón, A. 2002. Tomado de: Muñoz R. J. y Castellanos J.Z. (2003)  
 $1 \text{ mS}/\text{cm} = 1 \text{ dS}/\text{m} = 1000 \text{ S}/\text{cm} = \text{mmhos}/\text{cm}$

Es bastante frecuente encontrar las soluciones ideales para los diferentes cultivos expresadas como concentraciones iónicas. Para facilitar este cálculo, es interesante conocer las funciones de incremento salino de los fertilizantes comerciales que utilizamos habitualmente. La solubilidad y la los incrementos de CE para cada fertilizante, no solo responden a la sal, sino a las impurezas que contiene la mezcla. Por este motivo es más conveniente expresar estas funciones para el peso molar de cada uno de los fertilizantes comerciales o disponibles, que para las sales químicamente puras.

Tabla 5. Peso molar, solubilidad y pendientes de función de incremento salino para fertilizantes utilizados en ferti-riego en España.

Fertilizante	Peso molar fertilizante	Solubilidad (g/l) a 25 °C	CE. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) = B·[f]	
			B para f = [g/l]	B para f = [mmol/l]
Nitrato Amónico	83.70	1700	1345	113
Urea cristalina	60.91	1000	2	0.1
Nitrato Cálcico	1084.73	2100	1118	1213
Nitrato potásico	102.29	150	1340	137
Nitrato Magnético	256.36	600	843	216
Fosfato Mono-amónico	116.77	200	868	101
Fosfato Mono-potásico	136.49	200	315	43
Sulfato Amónico	133.43	600	1885	252
Sulfato potásico	188.38	110	1827	344
Sulfato magnético	251.93	700	730	184

En la Tabla 5 se presentan las funciones de incremento salino de algunos fertilizantes comerciales disponibles en España (con sus correspondientes pesos molares y solubilidades a 25 °C). Estas funciones de incremento salino, deben considerarse carentes de ordenada en el origen (es decir, que no aportar fertilizantes no puede modificar la CE del agua de ferti-riego) y solo pueden considerarse lineales para las concentraciones habituales en las soluciones de ferti-riego. Es decir, no pueden extrapolarse a las soluciones madre, o concentradas.

En las tablas 6 y 7 se observa el porcentaje de fertilizante insoluble al variar la concentración y temperatura en las soluciones.

Tabla 6. % de Fosfato monoamónico cristalino insoluble por variación de la temperatura y concentración en la solución.

Concentración %	pH	C.E. (mS/cm)	Tª Inicial (°C)	Tª Final (°C)	Insolubles (%)
50	3.89	56.1	23.3	15.0	74.51
40	3.90	53.2	23.2	15.0	52.60
30	3.92	55.7	23.2	15.5	26.65
20	3.98	52.1	23.5	16.2	1.38
15	4.03	53.2	23.4	18.1	-
10	4.07	40.6	23.5	20.3	-
5	4.17	26.7	23.6	21.8	-
2.5	4.24	15.7	23.5	22.5	-
1	4.51	6.4	23.6	23.2	-

Fuente: Fesa-Enfersa

Tabla 7. % de Nitrato de potasio insoluble por variación de la temperatura y concentración en la solución.

Concentración %	pH	C.E.(mS/cm)	Tª Inicial (°C)	Tª Final °C	Insolubles(%)
40	10.02	143.5	24.5	12.1	73.1
30	10.02	134.8	24.4	11.6	49.1
20	10.03	127.2	24.7	11.9	13.0
15	10.01	108.6	24.6	13.9	3.4
10	10.00	80.6	27.7	17.3	1.4
5	9.95	47.2	24.6	20.8	-
2.5	9.91	27.2	24.7	22.7	-
1	9.63	13.3	24.6	22.9	-

Fuente: Fesa-Enfersa

### 3.1.5 PH

Tabla 8. Reacción de los fertilizantes.

Fertilizante	Reacción
Nitrato de amonio	Acida
Nitrato de potasio	Básica
Nitrato de calcio	Básica
Nitrato de magnesio	Neutral
Sulfato de amonio	Muy ácida
Sulfato de magnesio	Neutral
Sulfato de potasio	Neutral
Fosfato monoamónico	Acido
Fosfato monopotásico	Básica
Hidróxido de calcio	Básica

La Urea [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] en pequeñas dosis es acidificante y a altas dosis alcaliniza.

Todos los fertilizantes tienen diferente pH en solución. Es otro parámetro para la elección del fertilizante, ya que dependiendo de las condiciones del agua, del suelo o los requerimientos de la planta, será la reacción del fertilizante a utilizar (Tabla 8).

La calidad del agua en su contenido de HCO<sub>3</sub> y las características de los fertilizantes tienen una relación estrecha con el pH. El manejo del pH en la preparación de la solución nutritiva y en su incorporación al suelo a través del sistema de riego por goteo, evitará que se tengan precipitados insolubles que obturen los emisores y que se desequilibre la solución nutritiva.

### 3.1.6 Relación entre CE y pH: el caso de los ácidos

La utilización de ácidos como fertilizantes requiere de un conocimiento de las relaciones entre la CE y el pH. Esta relación es especialmente interesante cuando en el agua de riego existen sales neutralizables por el ácido adicionado. La adición de un equivalente de ácido, neutralizará un equivalente de bicarbonatos presentes en el agua. Dado que la CE de la disolución depende de la constante de disociación de las sales presentes en la disolución, la CE final, obtenida después de la neutralización, dependerá de la diferencia, en las mencionadas constantes, de las especies iónicas presentes antes y después de la neutralización.

Producto	Pureza (%)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	CE
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	55	1,38	Baja
	75	1,58	
HNO <sub>3</sub>	38	1,24	Sube
	59	1,36	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98	1,84	Varía

Es conveniente recordar que la riqueza de los ácidos comerciales es muy variable y es conveniente conocer la relación que existe entre la riqueza en elemento, la pureza del ácido comercial y la densidad de la presentación.

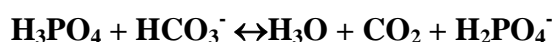
La neutralización de los bicarbonatos de una solución es una reacción química en la que se produce un cambio en las formas iónicas presentes en la solución, es decir:

Si adicionamos ácido nítrico a un agua que presenta bicarbonatos en disolución se produce la siguiente reacción:



Este cambio de especies iónicas (desaparición de bicarbonatos y aparición de nitratos) presentes en la disolución tiene un efecto sobre la conductividad eléctrica de la misma. Los nitratos tienen una mayor contribución sobre la conductividad que los bicarbonatos, debido fundamentalmente a su mayor movilidad. Por esto, la CE de la solución se verá incrementada, (pero no en la proporción esperada por la adición de ácido a un agua que no contuviera bicarbonatos), ya que hay que descontar a este incremento la CE debida a la desaparición de los iones bicarbonato neutralizados.

En el caso del ácido fosfórico:



Los iones generados serían fosfato, que presentan una menor contribución a la CE de la disolución que los iones bicarbonato, lo que implica que tras la acidificación, la conductividad eléctrica de la disolución no solo no se incrementa sino que disminuye respecto de la inicial.

La utilización de ácido sulfúrico:



Su carácter de ion divalente le hace actuar de forma diferente: Para bajas concentraciones de bicarbonatos se produce un ligero incremento de la CE de la solución (hasta 5 meq/l +60 μS/cm), mientras que para mayores concentraciones de bicarbonatos a neutralizar se produce un descenso de la CE de la solución (15 meq/l suponen -155 μS/cm).

Dada la peligrosidad potencial de los ácidos fertilizantes, no es recomendable preparar las soluciones de ferti-riego partiendo directamente de sus presentaciones concentradas. Lo más habitual es diluir el producto comercial antes de utilizarlo como fertilizante o acidificador de agua. Los volúmenes de ácido utilizados para neutralizar bicarbonatos, así como las funciones cuadráticas que se presentan en la figura 1, pueden aplicarse para calcular las necesidades y modificaciones de la CE utilizando ácidos comerciales diluidos 100 veces. Se han calculado utilizando ácido comercial concentrado para neutralizar los bicarbonatos presentes en 100 l de agua.

La figura 1 representa el comportamiento de la CE al adicionar ácidos a un agua sin bicarbonatos (función de incremento lineal) y a aguas con cantidades crecientes de bicarbonatos. Las funciones de CE representadas pueden utilizarse para calcular la CE tras la neutralización con cada uno de los ácidos utilizados (Nítrico, Fosfático y Sulfúrico). X representa la cantidad de bicarbonatos neutralizados (expresada en  $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Debemos tener presente que la presencia de carbonatos en el agua, requiere el doble de equivalentes de ácido que la de bicarbonatos.

La neutralización de los bicarbonatos (expresada en  $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ) con ácido nítrico siempre incrementa la CE final de acuerdo con la función cuadrática:

$$CE_{\text{final}} = -0,22\cdot[\text{HCO}_3] + 18,8\cdot[\text{HCO}_3]$$

La neutralización de los bicarbonatos (expresada en  $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ) con ácido fosfórico, reduce la CE final de acuerdo con la función cuadrática:

$$CE_{\text{final}} = -0,52\cdot[\text{HCO}_3] + 0,58\cdot[\text{HCO}_3]$$

La neutralización de los bicarbonatos (expresada en  $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ) con ácido sulfúrico, modifica la CE final, incrementándola para  $[\text{HCO}_3]$  bajas y aumentándola para concentraciones elevadas, de acuerdo con la función cuadrática:

$$CE_{\text{final}} = -1,85\cdot[\text{HCO}_3] + 20,41\cdot[\text{HCO}_3]$$

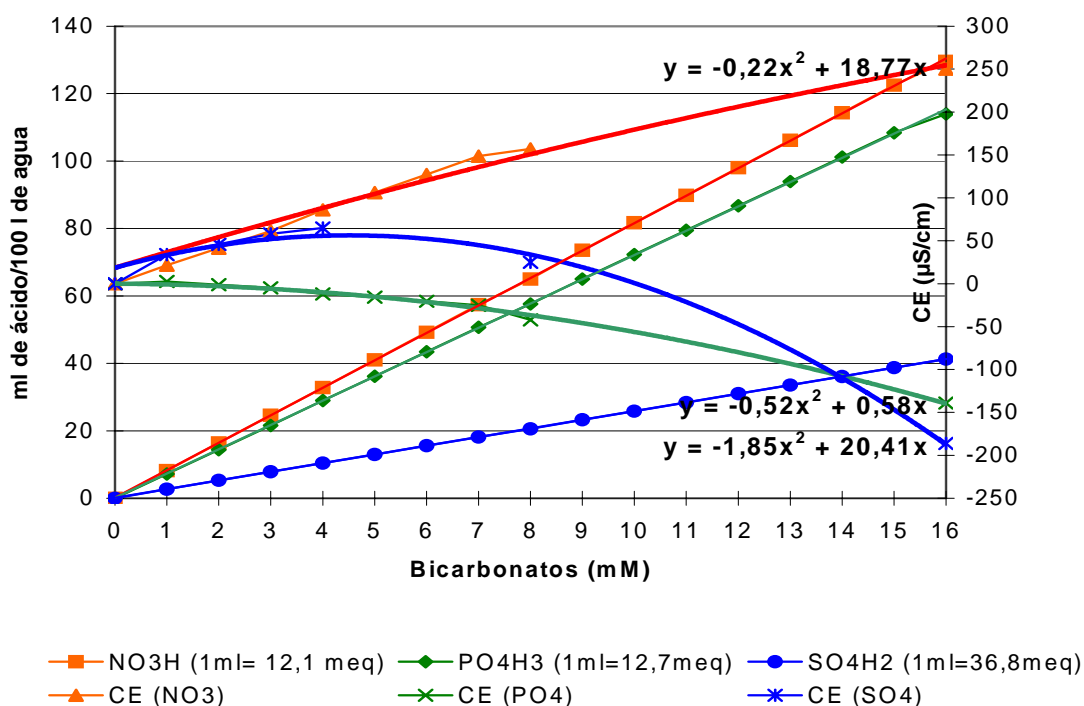


Fig. 1. Representación gráfica del comportamiento (y su correspondiente función) de la CE de la disolución tras la neutralización de cantidades crecientes de bicarbonatos, con tres ácidos comerciales.

### 3.1.7 Temperatura.

Los fertilizantes al mezclarse con el agua pueden presentar reacciones térmicas que cambiarán la temperatura de la solución e influirán en la solubilidad de los fertilizantes a incorporar. La mayoría de los fertilizantes tienen una reacción endotérmica (nitratos, urea, amonios) al solubilizarse en el agua, es decir, bajan la temperatura de la solución al incorporarse (Tabla 9). Es importante considerar este fenómeno en la época invernal o cuando se trabaja con aguas frías. En las tablas 10, 11 y 12 se puede observar que al preparar soluciones madre con diferentes fertilizantes, al incrementar la concentración la temperatura se modifica de forma significativa en algunos casos.

Tabla 9. Reacción térmica de los fertilizantes.

Fertilizante	Reacción
Nitrato de Amonio	Endotérmica
Urea	Endotérmica
Sulfato de Amonio	Endotérmica (-)
Fosfato Monoamónico	Endotérmica
Nitrato de Potasio	Endotérmica
Sulfato de Potasio	Endotérmica (-)
Acido Fosfórico	Exotérmica *
Acido Nítrico	Exotérmica *
Acido Sulfurico	Exotérmica *

\* Su uso se deberá realizar con los cuidados requeridos para su mezcla. Siempre aplicar el ácido al agua, nunca al revés.

de los fertilizantes tienen una reacción endotérmica (nitratos, urea, amonios) al solubilizarse en el agua, es decir, bajan la temperatura de la solución al incorporarse (Tabla 9). Es importante considerar este fenómeno en la época invernal o cuando se trabaja con aguas frías. En las tablas 10, 11 y 12 se puede observar que al preparar soluciones madre con diferentes fertilizantes, al incrementar la concentración la temperatura se modifica de forma significativa en algunos casos.

Tabla 10. Solución madre de Nitrato de Amonio

Concentración (%)	pH	C.E. mmhos/cm	Tª Inicial °C	Tª Final °C
1	5.17	11.58	26	24.00
5	5.05	16.82	26	22.4
10	5.00	41.40	26	18.8
25	4.80	71.50	26	8.3
50	4.78	116.5	26	-3.0

Fuente: Fesa-Enfersa

Tabla 11. Solución madre de Urea

Concentración (%)	pH	C.E. mmhos/cm	Tª Inicial °C	Tª Final °C
1	7.28	41.9	24.7	24.1
5	8.98	76.4	24.7	21.8
10	9.20	106.9	24.4	18.8
25	9.61	182.8	24.6	11.2
50	9.65	482.0	24.5	5.0

Fuente: Fesa-Enfersa

Tabla 12. Solución madre de Sulfato de Amonio

Concentración (%)	pH	C.E. mmhos/cm	Tª Inicial °C	Tª Final °C
1	5.61	13.69	24.9	24.0
5	5.62	35.7	24.6	23.9
10	5.72	60.0	24.8	23.4
25	5.83	72.0	24.9	22.1
50	5.87	87.9	24.7	20.5

Fuente: Fesa-Enfersa





# **PROGRAMACIÓN Y CONTROL DEL FERTI-RIEGO**

---



# DIAGNOSTICO NUTRIMENTAL DE CULTIVOS AGRÍCOLAS<sup>©1</sup>

Prometeo Sánchez García

Grupo de Nutrición Vegetal, Colegio de Postgraduados, México.

[promet@colpos.mx](mailto:promet@colpos.mx)

## 1 Introducción.

Para incrementar la productividad de los cultivos de interés agrícola es necesario maximizar la potencialidad genética de éstos durante su desarrollo. La nutrición mineral es uno de los principales factores que permite incrementar el potencial productivo de las plantas. Para esto, es necesario crear condiciones ideales de nutrición para los cultivos y controlar éstas durante su desarrollo, es decir, llevar a cabo un monitoreo constante desde la siembra hasta la cosecha.

Aunque el rendimiento potencial de un cultivo está predeterminado genéticamente, algunos factores abióticos, tales como edáficos, climáticos y manejo agrotécnico del cultivo, entre otros, pueden incrementar o disminuir a éste. Por lo tanto, es necesario conocer el efecto de los nutrientes sobre los procesos bioquímicos y fisiológicos de las plantas en cada etapa fenológica y manipular éstos, bajo determinadas condiciones. El concepto de fertilidad del suelo es inseparable del término nutrición mineral de los cultivos, por lo que es necesario también conocer las características genéticas, físicas, químicas, biológicas, fisico-químicas, bioquímicas, micromorfológicas, etc. del suelo y/o sustrato. De tal manera que solamente las plantas pueden determinar la capacidad de suministro del suelo, debido a que el requerimiento interno de cada cultivar es diferencial. Por esto, es necesario llevar a cabo un diagnóstico nutrimental de los cultivos ya que la respuesta agronómica de ellos está en función de los nutrientes absorbidos.

## 2 Generalidades del diagnóstico nutrimental.

La palabra diagnóstico deriva del griego *diagnōsis* que significa conocimiento, es decir, un diagnóstico consiste en determinar la naturaleza de una enfermedad, o bien, que sirve para reconocer (Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, 2000). Desde el punto de vista agronómico, un diagnóstico nutrimental consiste en establecer el origen de una anomalía nutrimental (deficiencia y/o exceso) en los cultivos de interés agrícola.

El fundamento teórico del diagnóstico nutrimental se basa en la “Teoría de la nutrición mineral de las plantas” propuesta por el científico alemán Justus Von Liebig en el año de 1840 y éste consiste en “preguntar al cultivo” su estado nutrimental.

Los objetivos del diagnóstico nutrimental son:

---

©CYTED 2004; FERTI-RIEGO: TECNOLOGÍAS Y PROGRAMACIÓN EN AGROPLASTICULTURA (205-206) Guzmán, M. & López Gálvez, J. (Ed) ISBN: 84-96023-27-3; DL: A1-290-2004; <http://www.cytcd.org>

<sup>1</sup> Trabajo presentado al **Taller de Riego y Fertirrigación**. (junio 2004) Colegio de Postgraduados, Montecillo México.

---

1. Evaluar la capacidad de suministro del suelo y/o sustrato;
2. Conocer el estado nutrimental en que se encuentran los cultivos que integran un sistema de producción;
3. Determinar la efectividad de la prácticas de fertilización recomendadas, entre otros.

De acuerdo con Gorshkova (1984) la aplicación de fertilizantes con el apoyo de un diagnóstico vegetal permitió incrementar el rendimiento de centeno y trigo de invierno en un 25 y 43%, respectivamente en comparación con tratamientos donde se aplicó la dosis regional recomendada.

Sin Fertilizante	Dosis regional recomendada	Dosis recomendada por el análisis vegetal
<b>C E N T E N O D E I N V I E R N O</b>		
<b>1.4 ton/ha</b> ( N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> )	<b>3.45 ton/ha</b> ( N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> )	<b>4.61 ton/ha</b> ( N <sub>115</sub> P <sub>45</sub> K <sub>110</sub> )
<b>T R I G O D E I N V I E R N O</b>		
<b>1.5 ton/ha</b> ( N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> )	<b>3.01 ton/ha</b> ( N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> )	<b>5.25 ton/ha</b> ( N <sub>100</sub> P <sub>50</sub> K <sub>90</sub> )

Cuadro 1. Incremento del rendimiento de centeno y trigo de invierno por efecto del análisis vegetal (Gorshkova, 1984).

De igual manera, Salazar-García y Lazcano-Ferrat (2003) señalan que mediante la aplicación de fertilizantes, con la ayuda de un diagnóstico nutrimental de suelo y planta de aguacate, se logró incrementar los rendimientos de éste último 3.8 veces más, en promedio de cuatro años.

En la actualidad, los métodos de diagnóstico en la nutrición de cultivos se dividen en: edáfico y vegetal. De tal manera que el diagnóstico vegetal considera a su vez, el diagnóstico visual, diagnóstico químico y diagnóstico funcional.

El método visual de diagnóstico es sencillo y práctico debido a que no se requiere de equipo especializado y permite establecer rápidamente las posibles causas de una anomalía nutrimental, pero se requiere ser un experto para poder identificar ésta o en ocasiones puede presentarse el “hambre oculta” y tal vez se presenten dos o más anomalías (deficiencia o toxicidad) que enmascaren los síntomas.

El método de diagnóstico químico permite determinar el contenido de nutrimentos en la planta tanto contenido total como formas solubles (análisis químico de tejido vegetal y análisis del extracto celular de pecíolo).

Los métodos funcionales de diagnóstico permiten determinar las necesidades nutrimentales de los cultivos y no la cantidad de nutrimentos en la planta y esto se puede evaluar mediante el control de la intensidad de los procesos fisiológicos y bioquímicos.

# EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD NUTRIMENTAL<sup>©1</sup>

Arturo Galvis-Spinola

Grupo de Nutrición Vegetal, Colegio de Postgraduados, México.

[galvis@colpos.mx](mailto:galvis@colpos.mx)

## 1 ¿Qué significa “disponibilidad nutrimental”?

El término “disponibilidad” suele relacionarse con la cantidad de nutrimentos en el suelo que la planta puede aprovechar en un tiempo dado. El efecto del ambiente climático y químico sobre los componentes del suelo, hace que la liberación de los nutrimentos fluya a distinta intensidad y cantidad en un lapso específico, mientras que su variación en el terreno dependerá tanto del tipo de manejo como de la heterogeneidad del suelo.

### 1.1 ¿Cómo se evalúa la disponibilidad nutrimental?

Los análisis químicos de las muestras de suelo son los métodos convencionales más populares para evaluar la disponibilidad de los nutrimentos para los cultivos, los cuales constan de diferentes etapas mismas que se muestran en el siguiente esquema.

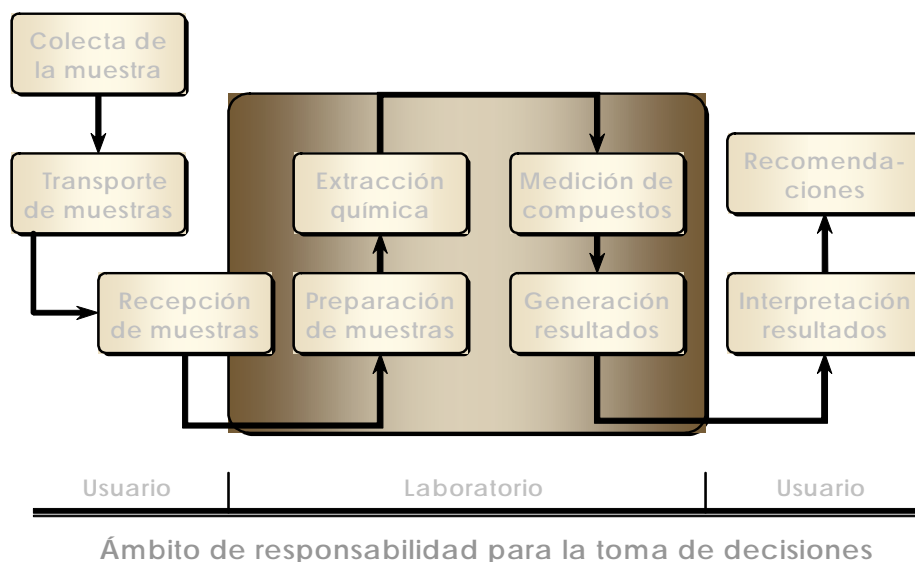


Fig. 1. Ámbitos de responsabilidad para la tomas de decisiones en el diagnostico nutrimental

©CYTED 2004; FERTI-RIEGO: TECNOLOGÍAS Y PROGRAMACIÓN EN AGROPLASTICULTURA (207-202) Guzmán, M. & López Gálvez, J. (Ed) ISBN: 84-96023-27-3; DL: A1-290-2004; <http://www.cytcd.org>

<sup>1</sup> Trabajo presentado al **Taller de Riego y Fertirrigación**. (junio 2004) Colegio de Postgraduados, Montecillo México.

Cada etapa involucrada en el esquema en discusión es crítica, porque existe una alta probabilidad de cometer errores cuando no se domina el procedimiento a seguir en cada una. Si se falla en cualquier etapa, los resultados no serán confiables y no se tendrá el éxito esperado en la toma de decisiones, sobre el manejo de la nutrición del cultivo en cuestión.

### 1.1.1 ¿En qué consiste la colecta de muestras?

El propósito del análisis químico es evaluar la condición nutrimental del sistema de producción y proveer una guía para decidir sobre el uso más conveniente de los fertilizantes. Sin embargo, debido a que sólo se necesitan unos cuantos gramos de muestra para hacer el análisis, es crucial asegurarse que se colecte una muestra que represente fielmente al área de interés. Las características de los suelos son heterogéneas entre los campos de una región y dentro de la misma parcela (textura, color, pendiente, drenaje, erosión, entre otros). Por este motivo, se recomienda dividir la zona de interés basándose en la similitud de sus características en unidades de muestreo (UM), cuya superficie abarque entre 10 y 20 hectáreas por cada UM. En cada UM se colecta una muestra compuesta entre 5 y 15 sub-muestras, dependiendo de lo que se desea analizar y evitar coleccionar puntos dentro de cada UM que no coincidan con sus características más frecuentes y evidentes.

## 1.2 ¿A través del análisis químico se resuelven los problemas de la nutrición de los cultivos?

A menudo se comete el error de creer que el resultado del análisis corresponde a la cantidad de nutrimentos disponibles para el cultivo. La extracción de un nutrimento específico de la muestra de suelo se puede hacer por diversos métodos químicos; sin embargo, con cada uno se obtiene una cantidad diferente según el procedimiento que se emplee, lo que impide que los resultados sean comparables. La selección del método de análisis más apropiado no depende de la cantidad que sea capaz de extraer, sino de la correlación que tenga el dato obtenido en el análisis con la respuesta de la planta, lo cual es función de las características de cada tipo de suelo. Cuando no se procede de dicha manera, no se tendrá una interpretación adecuada de los resultados y las recomendaciones no serán las apropiadas. Si se cuenta con suficiente información, dicha técnica será una herramienta valiosa para tomar decisiones sobre el manejo de la nutrición de los cultivos.

### 1.2.1 ¿Es confiable la información que se genera en un laboratorio?

No debe emplearse cualquier método de análisis químico para extraer un nutrimento puesto que su capacidad de extracción varía por tipo de suelo y su relación con la planta. Desafortunadamente no siempre se cuenta con esta información en la mayoría de los servicios de análisis y en ocasiones es factible encontrar que no coincide el reporte de los laboratorios aunque se trate de la misma muestra y nutrimento. Esto puede atribuirse a errores en el análisis o a que emplearon distintos métodos. Como cada uno tiene diferente capacidad para extraer el nutrimento de interés, el más adecuado será el que se correlacione mejor con la planta en el tipo de suelo en cuestión, de otra manera no se podrá interpretar el resultado.

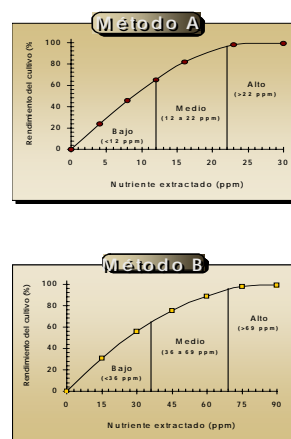


Fig. 2 Métodos de diagnóstico

### 1.3 ¿Basta con la interpretación de los resultados del análisis para generar la recomendación de aplicación de fertilizantes?

La interpretación del análisis se refiere a la probabilidad de la respuesta del cultivo a la aplicación de fertilizantes y **NO** a la dosis que debe ser aplicada. Para conocer la cantidad de fertilizante que se necesita adicionar en cada caso, es indispensable contar con la calibración del método químico empleado para extraer el nutriente de interés, como se observa a continuación:

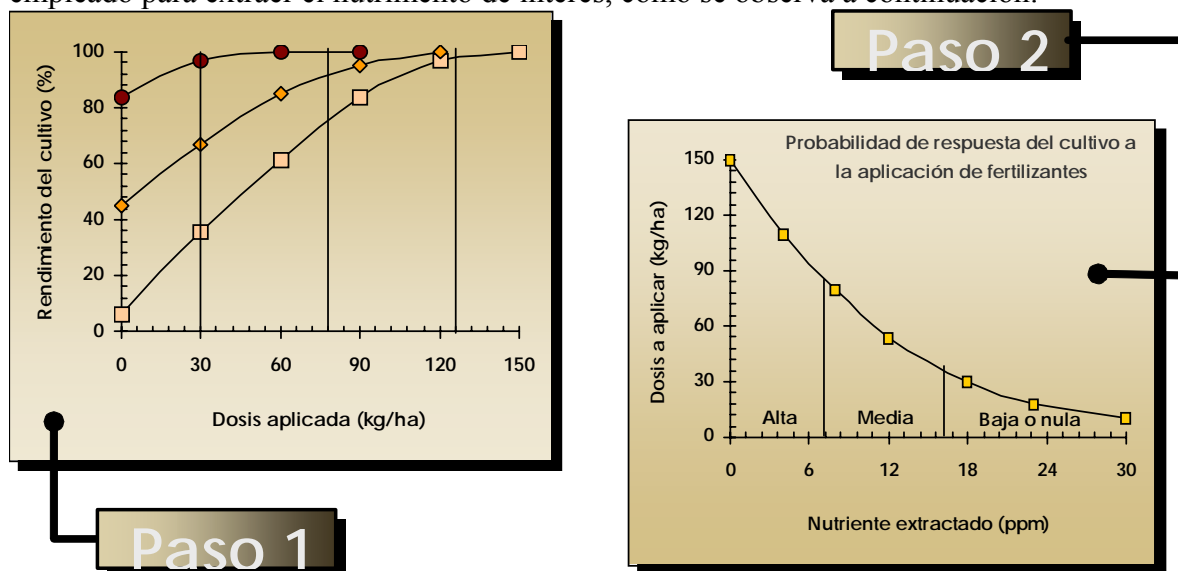


Fig. 3. Respuestas a dosis aplicada y nutriente extractado

En ensayos de respuesta (paso 1) en suelos con diferentes niveles del nutriente de interés, se obtiene la dosis que debe aplicarse en cada condición a una meta específica de rendimiento. En el paso 2, se relaciona la dosis con el nutriente que se extrae en el laboratorio. Si esta información no se tiene, el análisis de las muestras no será de utilidad.

#### 1.3.1 Entonces, ¿es viable usar la técnica de los análisis químicos para resolver los problemas de la nutrición de los cultivos?

La respuesta depende de varios factores que deben considerarse: Será un **SÍ** categórico si se cumplen con todos los requisitos, entre los que destacan los siguientes:

- Hacer una colecta apropiada de muestras;
- Que el laboratorio cumpla con procedimientos que garanticen la calidad de la información generada;
- Para interpretar correctamente los resultados deberá contarse con la correlación entre los métodos que se empleen para extraer cada nutriente que se analizará y la respuesta de la planta. Esta información deberá ser congruente con los suelos y cultivos de interés;
- La información que arroja la interpretación de los resultados no es suficiente. Es indispensable contar con la calibración de los métodos para generar la dosis que corresponda a cada caso en particular.

Si no se cumple con uno o más de los aspectos anteriores, el uso de esta técnica **NO** será conveniente, puesto que se tendrán más problemas de los que se intentan resolver a través de dicho procedimiento.

## 2 El Método MINUTO: Alternativa para evaluar la disponibilidad nutrimental

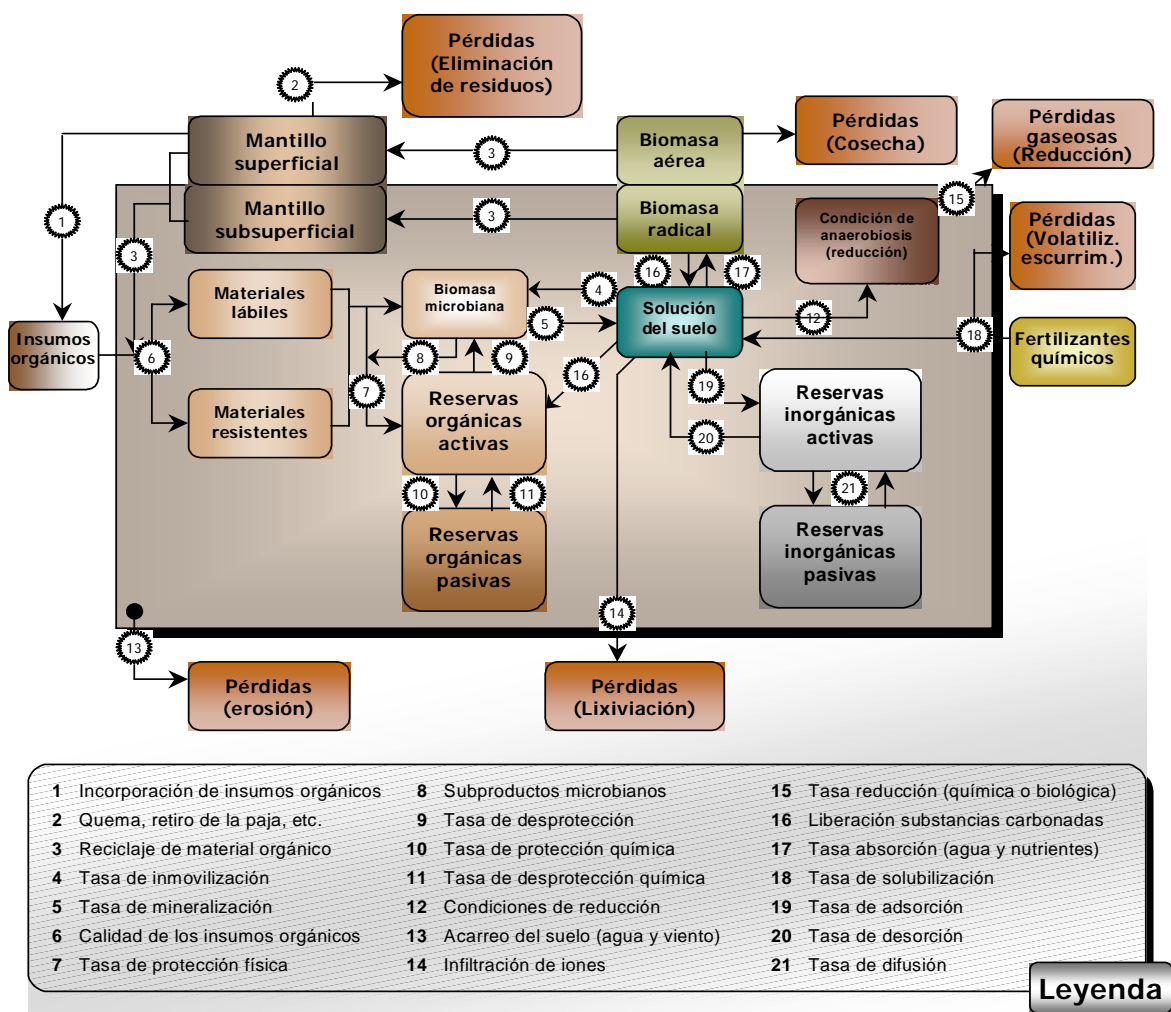


Fig 4. Procesos involucrados en la disponibilidad nutrimental del suelo

### 2.1 ¿En qué consiste el método MINUTO?

En la mayoría de los sistemas de producción agrícola del país no se cuenta con estudios sobre correlación y calibración de métodos para solucionar los problemas nutrimentales mediante los métodos convencionales de análisis químicos. En este sentido, dado a que el tiempo y costo que debe invertirse para generar dicha información supera las expectativas del sector productivo, proponemos como alternativa la evaluación directa de los procesos físicos, químicos, biológicos, fisicoquímicos y bioquímicos que ocurren en el ambiente del suelo. Estos procesos están involucrados en las reacciones que se producen entre los componentes orgánicos e inorgánicos edáficos. La ventaja de nuestra propuesta es que se estima con precisión razonable la oferta nutrimental del suelo sin necesidad de correlacionar los métodos como en el caso de los procedimientos convencionales. En el esquema que se muestra a continuación, se presenta los componentes de los procesos involucrados en la disponibilidad nutrimental y que cuantificamos para evaluar la oferta nutrimental del suelo para los cultivos.

Estos procesos ocurren en cualquier tipo de suelo y ambiente climático, donde las diferencias están en el tamaño de los componentes del sistema y la velocidad e intensidad de sus flujos. Las rutas



hacia la solución del suelo implican la oferta nutrimental y las que salen de ésta abaten la disponibilidad de los nutrimentos, lo cual modifica negativamente la eficiencia de recuperación del fertilizante. Las salidas del sistema representan las pérdidas de nutrimentos que deberán reponerse a través de la aplicación de fertilizantes, mientras que la biomasa radical y aérea se refiere a la demanda nutrimental del cultivo. El conocimiento y cuantificación de estos parámetros nos ha permitido generar dosis de fertilizantes exitosamente, indistintamente del cultivo y suelo de interés.

## 2.2 ¿Qué tipo de análisis hacemos en el laboratorio?

Análisis	Método	Propósito
<b>Análisis químicos</b>		
Capacidad amortiguadora del suelo	Incubaciones y análisis por microondas.	Evaluar la <b>resistencia</b> del suelo a los cambios en la dinámica nutrimental, tanto en reacciones de origen orgánico como inorgánico.
Reservas inorgánicas activas	Espectrofotometría de inducción con plasma acoplado	Detectar la <b>capacidad actual</b> de aporte nutrimental del suelo por reacciones inorgánicas.
Reservas orgánicas activas	Espectro visible-ultravioleta	Detectar la <b>capacidad actual</b> de aporte nutrimental del suelo por reacciones orgánicas.
<b>Análisis bioquímico</b>		
Actividad de la biomasa microbiana	Procedimientos Enzimáticos	Evaluar la <b>capacidad de aporte potencial</b> del suelo y la tasa de liberación o retención de los nutrientes involucrados en reacciones biológicas.
<b>Análisis biológico</b>		
Biomasa microbiana	Fumigación-incubación	Evaluar la fluctuación de las poblaciones de los microorganismos responsables de la relación entre las reservas orgánicas edáficas y la liberación o retención de los nutrientes que están involucrados en estos procesos.
<b>Análisis físicos</b>		
Estabilidad de agregados	Agitación mecánica	Evaluar el efecto del manejo sobre la estructura del suelo y su capacidad para almacenar agua.
Retención de humedad	Olla de membrana	Caracterizar los parámetros que rigen la hidrodinámica en el suelo, lo cual repercute sobre la velocidad de las tasas de liberación y retención de nutrientes en el suelo.
<b>Análisis fisicoquímicos</b>		
Efectividad inicial de la fertilización	Superficie específica, tamaño de poro y adsorción	Evaluar y cuantificar la <b>tasa de liberación y retención</b> de los nutrientes de reacción inorgánica sobre las <b>reservas activas</b> del suelo.
Efecto residual de la fertilización	Espectro visible-ultravioleta	Evaluar y cuantificar la <b>tasa de liberación y retención</b> de los nutrientes de reacción inorgánica sobre las <b>reservas pasivas</b> del suelo.

Fig. 5. Análisis empleados para evaluar los procesos involucrados en la disponibilidad nutrimental del suelo

## 2.3 ¿Cómo colectamos las muestras que necesitamos evaluar en una región agrícola?

La correcta planeación de la colecta de muestras en la zona de interés nos permite obtener la información necesaria para tomar decisiones eficientes sobre el manejo de la nutrición del cultivo. No se trata de realizar una colecta intensiva de muestras para explorar qué es lo que ocurre, más bien el procedimiento es reflexivo con base en la evaluación que hacemos sobre las condiciones de suelo, clima y manejo. Esto nos facilita hacer un planteamiento teórico al respecto, dirigir la colecta de las muestras apropiadamente y corroborar las deducciones teóricas que hayamos planteado. Difícilmente el resultado del análisis resulta “sorpresivo” si uno cuenta con suficiente conocimiento sobre la materia. Esto permite a su vez verificar la calidad de la información que se genere en el laboratorio, puesto que el análisis sólo precisa la cantidad de nutrimentos o magnitud del proceso evaluado, y ambos deben ser congruentes con lo esperado para cada situación.

## **2.4 ¿Qué se puede esperar al evaluar los procesos involucrados en la nutrición de los cultivos?**

A través del Método MINUTO se cuantifica la oferta nutrimental del suelo, esto es: la magnitud de las reservas orgánicas e inorgánicas (activas y pasivas) de nutrimentos del suelo, su contribución a la nutrición del cultivo de interés y la velocidad con la que aportan los nutrimentos. Esto nos brinda las condiciones necesarias para tomar decisiones oportunas y eficientes en los siguientes aspectos:

- a) Definir si es necesario aplicar fertilizantes y qué nutrimentos se deben adicionar (diagnóstico).
- b) Con base en el tipo de suelo, clima, cultivo y manejo del sistema de producción, generar la dosis de fertilizante más conveniente para cada caso a nivel regional o unidad de producción, según se requiera.
- c) Identificar el momento más oportuno para aplicar los fertilizantes y lograr la máxima eficiencia de aprovechamiento de los nutrimentos.

Con el procedimiento que proponemos hemos tenido numerosas experiencias en diversos lugares de México y otros países. Estas se ponen a consideración de los integrantes del taller para su análisis y discusión, lo cual sin lugar a dudas nos permitirá enriquecer los planteamientos expuestos, así como detectar las carencias y fallas que pudiesen presentar.

# DIAGNÓSTICO DEL ESTRÉS POR NITRÓGENO EN PLANTAS C3 Y C4 MEDIANTE EL USO DE SENSORES REMOTOS<sup>©1</sup>

Basilio Brizuela Pérez

Programa de Edafología, IRENAT-COLPOS México

[basilio@colpos.mx](mailto:basilio@colpos.mx)

## 1 Introducción.

El uso de tecnología de sensores remotos en la agricultura ha generado altas expectativas en el sector. Desafortunadamente, los resultados hasta ahora no han sido los esperados y la gran mayoría de trabajos en esta área muestran relaciones empíricas entre la información captada por los sensores (radianzas) a bordo de satélites comerciales y diversas variables biofísicas: biomasa, índice de área foliar, cobertura, entre otras. La publicación de Bastiransen (1998) es una excelente revisión de estos esfuerzos y los resultados obtenidos.

Una estrategia alternativa al uso de información de los sensores remotos es la vía de los modelos biofísicos de transferencia de la radiación en el follaje de los cultivos. Este proyecto propone el uso de sensores remotos para diagnosticar el estado nutrimental de nitrógeno y pronosticar el rendimiento relativo en cultivos básicos y hortalizas, como una probable contribución al desarrollo de la agricultura asistida (AGRASER) en México.

## 2 Agricultura asistida por sensores remotos.

El concepto de “Agricultura Asistida por Sensores Remotos” o AGRASER se basa en la teoría radiativa y biofísica de la dinámica del crecimiento de los cultivos, en donde utiliza el concepto de patrones invariantes de los espacios espectrales para extraer información relativa al estado de la vegetación y sus variables asociadas. La información relativa (por ejemplo del índice de área foliar o IAF) define el porcentaje actual de la variable de interés en relación a su máximo potencial. Así, un producto de la AGRASER sería, por ejemplo, un plano de un predio, georeferenciado espacialmente, donde se muestran valores del IAF que van del 0 % (suelo desnudo) hasta el 100 % (suelo cubierto totalmente con un IAF de 3) en píxeles de 30 x 30 m (satélite LANDSAT). Algo similar sucedería con los niveles de estrés o de rendimientos esperados. La Figura 1 muestra esquemáticamente este tipo de producto generado con la tecnología AGRASER para una variable biofísica o de estado.

---

©CYTED 2004; FERTI-RIEGO: TECNOLOGÍAS Y PROGRAMACIÓN EN AGROPLASTICULTURA (213-218) Guzmán, M. & López Gálvez, J. (Ed) ISBN: 84-96023-27-3; DL: Al-290-2004; <http://www.cytetd.org>

<sup>1</sup> Trabajo presentado al **Taller de Riego y Fertirrigación**. (junio 2004) Colegio de Postgraduados, Montecillo México

---

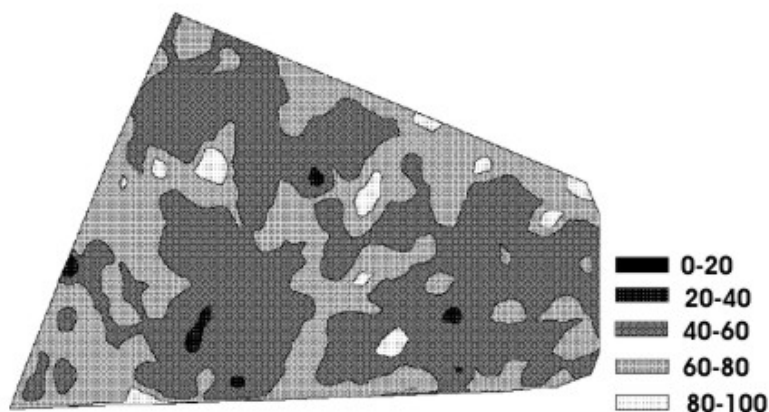


Figura 1. Esquema del producto a generar con la tecnología AGRASER

Aunque se han realizado grandes esfuerzos de modelación para obtener parámetros biofísicos de los cultivos, los resultados obtenidos han sido muy limitados (Jacquemoud *et. al.*, 1995, 2000; Weiss *et. al.*, 2000; Kuusk, 1991); independientemente del tiempo y costos de computación requeridos, lo cual hace esta estrategia poco práctica para aplicaciones en tiempo “casi real” (3 - 16 días). El problema fundamental de la inversión de modelos radiativos biofísicos es que son tareas matemáticamente indeterminadas; esto es, con solo un par de bandas espectrales (R e IRC), se puede estimar la densidad y distribución espacial y angular de los fitoelementos del follaje y las propiedades ópticas de estos. Para caracterizar esta información es necesario al menos diez variables: área foliar, reflectancia y transmitancia de las hojas; reflectancia del suelo; media y varianza de la distribución angular de las hojas y factor de agrupamiento espacial de estas; esto sin considerar información de la fuente de radiación difusa y directa, la atmósfera y la geometría sensor – radiación, dando como resultado más de 20 variables a estimar. Es matemáticamente claro que obtener información de más de 10 parámetros con 2 datos es algo que implica soluciones múltiples del problema, donde cualquiera de ellas puede ser la correcta. Esta estrategia es usada actualmente por el grupo asociado al sensor MODIS, donde se utiliza el promedio de las soluciones múltiples del proceso de inversión biofísica-radiativa (Knyazikhin *et. al.*, 1998a y b). En el caso del satélite LANDSAT y similares, el acceso a 6 bandas espectrales no resuelve el problema de inversión, aun con el uso de satélites con un número grande de bandas (mayor de 20), la correlación espectral entre las bandas limita su uso en los problemas de inversión. En relación al acoplamiento de modelos radiativos con modelos biofísicos, tales como el EPIC (Sharpley y Williams, 1990), para predecir el estado de los cultivos y sus variables asociadas, su formulación está intrínsecamente limitada por los requerimientos de información (generalmente se requieren más de 40 datos en los modelos biofísicos) y su disponibilidad en condiciones operativas en el campo mexicano. Aún con modelos muy simplificados, la necesidad de tener información de campo y su análisis estadístico imponen severas restricciones en su aplicabilidad práctica.

La Figura 2 muestra un patrón típico de puntos de reflectancias en el espacio del R-IRC en una zona de riego. Cada punto representa un píxel de una escena tomada por el sensor de un satélite (LANDSAT, por ejemplo). Esta nube de puntos es generalmente analizada usando índices de vegetación (Baret y Guyot, 1991), los cuales requieren de hipótesis *a priori*, no sujetas a validación. El uso de estos índices con fines predictivos está limitado al grado de cumplimiento de las hipótesis supuestas y, generalmente, produce resultados que no son estables al cambiar las condiciones atmosféricas o los suelos de fondo en los cultivos (Liu y Huete, 1995). La alternativa a esta

estrategia de análisis y modelación es el uso del conocimiento de los patrones generados por la mezcla atmósfera – suelo – vegetación.

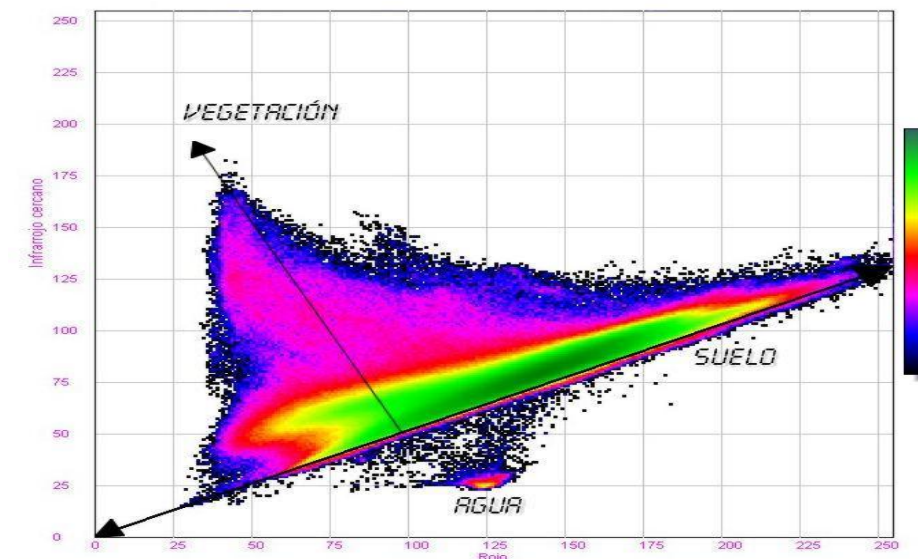


Figura 2. Patrón de la nube de puntos de la reflectancia en el espacio espectral R-IRC

## 2.1 Visión conceptual.

Con el conocimiento de los patrones espectrales, interpretados en forma relativa, es posible evaluar el estado nutricional y rendimiento de los cultivos; para su uso en el señalamiento de estrategias que afronten situaciones como: planeación de cultivos, valor de la producción en el mercado futuro, comercialización de las cosechas y montos a cubrir por aseguramientos en caso de siniestros, Este esquema operacional de uso de la información espectral de los sensores remotos, fundamentada en consideraciones biofísicas, capta la esencia del proceso dinámico de los cultivos agrícolas. En un lenguaje matemático y físico moderno, la modelación propuesta es el análisis de los patrones espectrales en el espacio de una dinámica no-lineal (Ruelle, 1991). El marco teórico del proyecto está concentrado en el espacio espectral del rojo (R) e infrarrojo cercano (IRC), del espectro electromagnético, de la radiación captada por un sensor remoto.

### Objetivos.

1. Diagnosticar el estado nutricional de nitrógeno en plantas de maíz, trigo, cebada, frijol y chile en función de los patrones espectrales rojo(R) e infrarrojo cercano(IRC) y a sus propiedades ópticas en sus etapas fenológicas.
2. Generar y validar un modelo biofísico con base en el contenido de nitrógeno en follaje, patrones espectrales y propiedades ópticas en hojas individuales y en conjunto.

### Hipótesis.

La cuantificación del nitrógeno con base en la reflectancia de la planta a los patrones espectrales rojo e infrarrojo cercano y las propiedades ópticas de las hojas, sirven para él diagnóstico del estado nutricional de nitrógeno y para el pronóstico del rendimiento relativo de los cultivos.

### Avances.

El modelo expo-lineal de Goudriaan-Monteith de transferencia radiativa en el follaje de cultivos es utilizado para simular el efecto del estrés nutrimental por nitrógeno en los patrones espectrales del espacio del rojo e infrarrojo cercano. Usando los espacios meta-paramétricos de las curvas iso-IAF se discute la relación entre un cultivo sin estrés y uno sujeto a estrés, mostrando una conceptualización que puede ser usada para detectar este tipo de perturbación en los cultivos, basada en el espacio del rojo e infrarrojo cercano.

### 3 Literatura

- Baret, F. y Guyot, G., 1991, Potentials and limits of vegetation indexes for LAI and APAR assessment, *Remote Sens. Environ.*, 35, 161-173
- Bastiransen, W.G.H., 1998, *Remote Sensing in Water Resources Management: The State of the Art*, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 119 pag.
- Bruinsma, j. 1963. The quantitative analysis of chlorophyll a and b in plant extract. *Protochem and Photobiol* 2: 241-249 pp
- Busch, W.C., 1993, Soil Background Effects on Reflectance-Based Crop Coefficients for Corn, *Remote Sens. Environ.*, 46, 213-22
- Bremner, J.M. and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. In *Methods of soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties (Agronomy 9)*. 2<sup>nd</sup>. Edition. ASA, SSSA, Medison, Wis., USA. 595-694 pp
- Chavez, P.S., 1996, Image-Based Atmospheric Corrections – Revisited and Improved, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(9), 1025-1036
- Duda, R.O. y Hart, P.E., 1973, *Pattern classification and scene analysis*, John Wiley & Sons.
- Goel, N.S., 1988, Models of Vegetation Canopy Reflectance and Their Use in the Estimation of Biophysical Parameters from Reflectance Data, *Remote Sensing Reviews*, 4, 1-222
- Goudriaan, J., 1977, *Crop Micrometeorology, A Simulation Study*, Simulation Monographs, PUDOC, Wageningen, The Netherlands, 259 pag.
- Goudriaan, J. y Monteith, J.L., 1975, A Mathematical Function for Crop Growth based on Light Interception and Leaf Area Expansion, *Ann. Botany*, 66, 695-701
- Huete, A.R., 1988, A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), *Remote Sens. Environ.*, 25, 295-309
- Huete, A.R., Jackson, R.D. y Post, D.F., 1985, Spectral Response of a Plant Canopy with Different Soil Backgrounds, *Remote Sens. Environ.*, 17, 37-53
- Jacquemoud, S., Bacour, C., Poilve, H. y Frangi, J.-P., 2000, Comparison of Four Radiative transfer Models to Simulate Plant Canopy Reflectance: Direct and Inverse Mode, *Remote Sens. Environ.*, 74, 471-481
- Jacquemoud, S., Baret, F., Andrieu, B., Danson, F.M. y Jaggard, K., 1995, Extraction of Vegetation Biophysical Parameters by Inversion of the PROSPECT + SAIL Models on Sugar Beet Canopy Reflectance Data. Application to TM y AVIRIS Data, *Remote Sens. Environ.*, 52, 163-172
- Jones G. H. 1983. *Plants and microclimate*. Cambridge University Press. Londres, Inglaterra. 323 pp.
- Jones, M. B., 1988. El microclima de las plantas. En: *Técnicas en Fotosíntesis y Bioproduktivdad*. (Ed. Pr Croombs, J.; Hall, D.O.; Long, S. P. y Sculok, J. M. O.) U.N.E.P.-O.N.U. Traducción del C.P. Chapingo, Méx. México. 22-23 p
- Kuusk, A., 1991, Determination of Vegetation Canopy Parameters from Optical Measurements, *Remote Sens. Environ.*, 37, 207-218
- Knyazikhin, y., Martonchik, J.V., Myneni, R.B., Diner, D.J. y Running, S.W., 1998a, Synergistic algorithm for estimating vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from MODIS and MISR data, *J. Geophys. Res.*, 103, 32257-32275

- Knyazikhin, y., Martonchik, J.V., Diner, D.J., Myneni, R.B., Verstraete, M., Pinty, B. y Gobron, N., 1998b, Estimation of vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from atmosphere-corrected MISR data, *J. Geophys. Res.*, 103 (D24), 32239-32256
- Lawlor, D. W. 1993. Photosynthesis: molecular, physiological and environmental processes. Longman Scientific and Technical. Hong Kong. 318 pp.
- Liu, H.Q. y Huete, A., 1995, A Feedback Based Modification of the NDVI to Minimize Canopy Background and Atmospheric Noise, *IEEE Trans. Geoscience Rem. Sensing*, 33(2), 457-465
- Myneni, R.B., Ross, J.K. y Asrar, G., 1989, A Review of Photon Transport in Leaf Canopies, *Agric. For. Meteorol.*, 45, 1-153
- Peckold, S., Lovejoy, S., Schertzer, D. y Hooge, C., 1997, Multifractals and Resolution Dependence of Remotely Sensed Data: GSI to GIS, en Quattroch, D.A. y Goodchild, M.F. (Eds.), *Scale in Remote Sensing and GIS*, CRC Press, Lewis Publisher, 361-394
- Peñuelas, J., Isla, R., Filella, I. y Araus, J.L., 1997, Visible and near-infrared reflectance assessment of salinity effects on barley, *Crop Sci.*, 37, 198-202
- Pierce, F.J. y Nowak, P., 1999, Aspects of Precision Agriculture, *Advances in Agronomy*, 67, 1-85
- Ross, J., 1981, *The Radiation Regime and Architecture of Plant Stands*, Dr. W. Junk, Norwell, Mass., 391 pag.
- Ruelle, D., 1989, *Chaotic Evolution and Strange Attractors, The Statistical Analysis of Time Series for Deterministic Nonlinear Systems*, Cambridge University Press, Cambridge, 96 pag.
- Ruelle, D., 1991, *Chance and Chaos*, Princeton University Press, Princeton, 195 pag.
- Salisbury, B. F. Y C. W. Ross. 1994. *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Interamericana. México D. F. 759 pp.
- Sharpley, A.N. y Williams, J.R. (Eds.), 1990, *EPIC – Erosion/Productivity Impact Calculator*, 1. Model Documentation, USDA Technical Bulletin No. 1768
- Tucker, C.j., 1979, Red and Infrared Linear Combination for Monitoring Vegetation, *Remote Sens. Environ.*, 8, 127-150
- Verhoef, W., 1984, Light Scattering by Leaf Layers with Application to Canopy Reflectance Modelling: The SAIL Model, *Remote Sens. Environ.*, 16, 125-141
- Weiss, M., Baret, F., Myneni, R.B., Pragnere, A. y Knyazikhin, Y., 2000, Investigation of a Model Inversion Technique to Estimate Canopy Biophysical Variables from Spectral and Directional Reflectance Data, *Agronomie*, 20, 3-22
- Yoshioka, H., Miura, T., Huete, A.R. y Ganapol, B.D., 2000, Analysis of vegetation isolines in RED-NIR reflectance space, *Remote Sens. Environ.*, 74, 313-326





# FERTILIZACIÓN DE LOS CULTIVOS<sup>©1</sup>

Teresa Marcela Hernández Mendoza

Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo, México

[teresahdz@correo.chapingo.mx](mailto:teresahdz@correo.chapingo.mx)

## 1 Generalidades

### 1.1 ¿Cuál es el propósito de la fertilización?

La práctica de la fertilización tiene como objetivo primordial aportar los nutrientes que son esenciales para los cultivos agrícolas, cuando el suelo no los provee en la cantidad adecuada y en el tiempo oportuno en que son demandados por las plantas.

### 1.2 ¿Por qué en ocasiones no se aprecia el efecto de la fertilización?

En condiciones normales el cultivo responderá a la aplicación de fertilizantes cuando la cantidad de nutrientes que demande sea mayor a la que el suelo pueda aportarle (oferta del suelo). Si su demanda es satisfecha con la oferta nutricional, la adición de fertilizantes no incrementará la cantidad o calidad de los productos a cosechar, indistintamente del cultivo y nutriente que se trate. Otras causas probables pueden ser atribuibles a que no se adiciona la cantidad requerida en el momento oportuno, ni el insumo apropiado según las características del suelo.

### 1.3 ¿El rendimiento del cultivo depende de la aplicación de fertilizantes?

La aplicación de fertilizantes promoverá un mayor rendimiento y calidad de la cosecha, sólo cuando la disponibilidad de los nutrientes en el suelo sea el factor más restrictivo de la producción; de otra manera, mientras no se resuelvan los problemas que restringen el desarrollo del cultivo (desórdenes no nutricionales), la adición de nutrientes por sí misma no mejorará la productividad agrícola.

### 1.4 ¿Cómo se generan las dosis de fertilizantes?

Cualquier método que se emplee para generar recomendaciones de aplicación de fertilizantes parte de dos premisas: a) existe un déficit nutricional que se corrige a través de la adición de fertilizantes; b) los insumos que se apliquen liberarán los nutrientes con una determinada eficiencia. La diferencia entre los procedimientos radica en cómo se consideran los parámetros involucrados (demanda del cultivo, oferta del suelo, eficiencia de la fertilización), y la precisión de su cuantificación.

---

©CYTED 2004; FERTI-RIEGO: TECNOLOGÍAS Y PROGRAMACIÓN EN AGROPLASTICULTURA (219-226)  
Guzmán, M. & López Gálvez, J. (Ed) ISBN: 84-96023-27-3; DL: Al-290-2004; <http://www.cytcd.org>

<sup>1</sup> Trabajo presentado al **Taller de Riego y Fertirrigación**. (junio 2004) Colegio de Postgraduados, Montecillo México.

## **2 Demanda Nutrimental**

### **2.1 ¿Qué es la demanda nutrimental?**

La demanda nutrimental es la cantidad de nutrientes esenciales que necesita el cultivo para mantener sus funciones metabólicas en óptimas condiciones, indistintamente del medio donde crece la planta (suelo y clima) o el manejo que se practique en el sistema de producción, como es el caso de cultivos en hidroponía, fertirriego, labranza de conservación, o cualquier otro tipo de prácticas agrícolas.

#### **2.1.1 ¿Qué relación tiene la demanda con el rendimiento del cultivo?**

La demanda nutrimental del cultivo varía directa y proporcionalmente con la meta de rendimiento y la calidad esperada en la cosecha; es decir, mientras más producción se tenga por unidad de superficie, el cultivo necesitará mayor cantidad de nutrientes para satisfacer la demanda que genera la biomasa que produce el cultivo de interés.

#### **2.1.2 ¿Entonces, a mayor demanda se tendrá más rendimiento y mejorará la calidad de la producción?**

**NO:** La demanda está supeditada a la cantidad y calidad de la producción, y ésta a su vez depende del efecto que ejercen sobre ella el suelo, clima y manejo que imperen en el sistema de producción. Si se asigna el valor de la demanda con base en una meta de rendimiento y calidad superior a la que realmente es factible aspirar, la dosis de fertilizante no será la correcta. Al respecto, un exceso nutrimental puede ser tóxico para el cultivo o limitar la disponibilidad de otros nutrientes y en ambos casos se afectará de manera negativa la rentabilidad de la producción.

### **2.2 ¿Qué significa el término “extracción nutrimental”?**

La planta extrae los nutrientes principalmente del suelo y los emplea en diversas funciones para formar su biomasa vegetativa y el producto de interés comercial. A la cantidad de nutrientes contenida en el tejido vegetal a un tiempo dado (por ejemplo a la cosecha), se le llama extracción nutrimental y suele expresarse en kilogramos de nutriente por tonelada de producto cosechado.

#### **2.2.1 ¿Demanda nutrimental es sinónimo de extracción nutrimental?**

La extracción nutrimental del cultivo será igual a su demanda, si y sólo si, los nutrientes que aprovechó la planta durante su ciclo de producción estuvieron disponibles en la cantidad adecuada y en el momento en que fueron requeridos por el cultivo. Esto es, la demanda nutrimental es la cantidad que se espera extraiga el cultivo y se establece con base en la meta de rendimiento y calidad de la producción, mientras que la extracción se refiere a la cantidad de nutrientes que acumuló durante su ciclo hasta llegar a la cosecha, sin importar las condiciones que prevalecieron durante el período de crecimiento y desarrollo del cultivo.

### **2.3 ¿La cantidad de nutrientes que demanda el cultivo equivale a la dosis de fertilizante que se debe aplicar?**

No es correcto calcular la dosis de fertilizantes considerando exclusivamente la extracción nutrimental por las siguientes razones: a) Debe considerarse el aporte de nutrientes por el suelo (oferta), el cual varía en cantidad y frecuencia; b) Parte de los nutrientes que serán aplicados no quedarán disponibles para el cultivo (eficiencia); c) La extracción no siempre coincide con la demanda del cultivo, como se discute a continuación.

### 2.3.1 Para un mismo cultivo y nivel de rendimiento, ¿la planta extraerá la misma cantidad de nutrimentos?

La figura 1 muestra como ejemplo el caso de la respuesta de la caña de azúcar, a la acumulación del fertilizante nitrogenado y la acumulación de nitrógeno en la planta completa a la cosecha. La planta extraerá más nutrimentos de los que requiere, cuando la disponibilidad de éstos en el suelo exceda la demanda del cultivo.

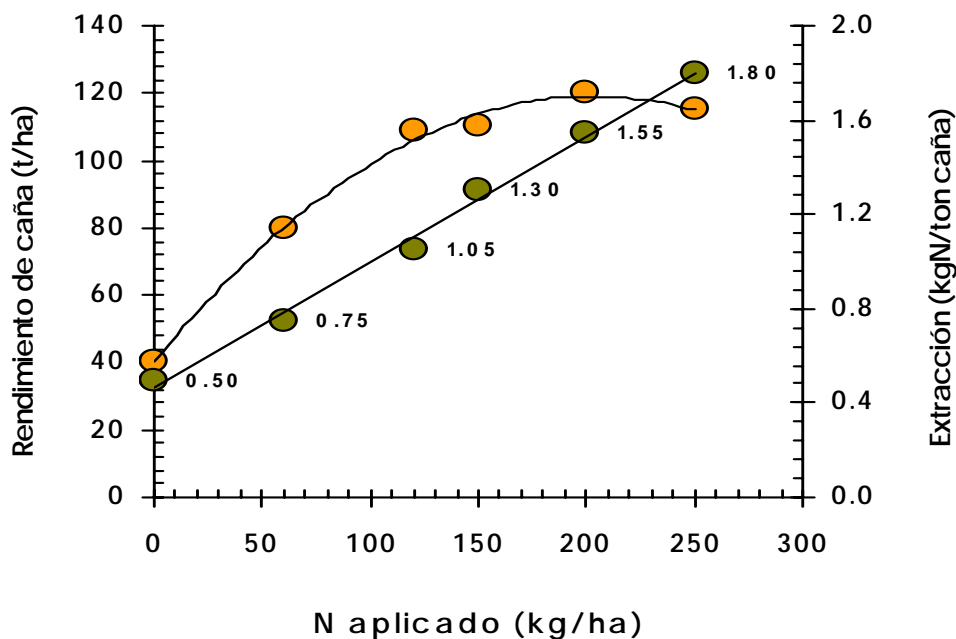


Fig. 1. Respuesta productiva y extracción de N en caña de azúcar para dosis crecientes de N aplicado

Si esto ocurre, los acumulará en sus tejidos de manera inocua, siempre y cuando se mantengan dentro de los límites permisibles (superávit). Si sobrepasa dicho nivel disminuirá el rendimiento y calidad de cosecha.

### 3 Diagnóstico Nutricional: Herramienta eficaz para tomar Decisiones Oportunas

#### 3.1 ¿En qué consiste el diagnóstico nutricional con el método MINUTO?

El diagnóstico nutricional se refiere al procedimiento mediante el cual se evalúa la oferta nutricional del suelo, para definir si ésta es capaz de satisfacer la demanda nutricional del cultivo de interés o si es necesario corregir los niveles nutrimentales a través de la práctica de la fertilización. La forma en que procedemos para realizar lo anterior se resume en la siguiente figura. La evaluación de la condición de déficit, superávit o exceso nutricional nos permite decidir si es necesario aplicar dosis de corrección, de mantenimiento o si no conviene aplicar determinado(s) nutrimento(s).

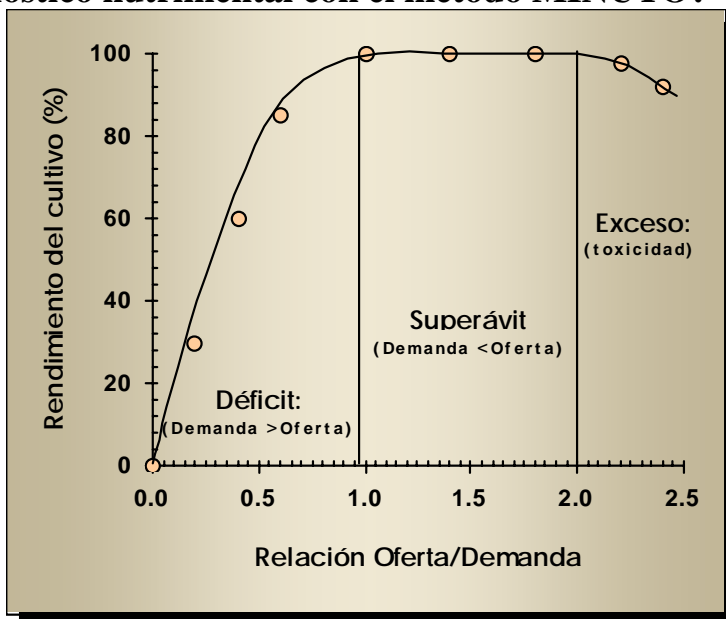


Fig. 2. Definición de zonas de diagnóstico

#### 3.1.1 ¿Existen diferentes tipos de dosis de fertilizantes?

Con el método MINUTO generamos los siguientes tipos de dosis de fertilizantes: a) Dosis de corrección: La empleamos para superar la condición de déficit nutricional del área de interés. Esto evita mermar la cantidad y calidad esperada de la producción por problemas nutrimentales, y si el caso lo amerita, corregir las prácticas de la fertilización realizadas en la región. b) Dosis de mantenimiento: cuando existe un superávit, el empleo de este tipo de dosis conserva una oferta nutricional óptima del suelo, lo que nos permite diseñar estrategias de fertilización, esto es, planear las aplicaciones de fertilizantes a largo plazo de acuerdo a la capacidad de inversión del productor, rotación de los cultivos, tipo de suelo y clima, entre otros. De las ventajas que se obtienen con las estrategias de fertilización se destacan las siguientes: no es necesario hacer análisis químicos del suelo continuamente; disminuyen los costos por uso de fertilizantes; incrementa la rentabilidad del sistema de producción. Por lo tanto, la dosis de fertilizantes es específica por tipo de suelo, clima, cultivo, manejo y metas de rendimiento y calidad de producción.

### 3.1.2 ¿Qué resultados se han obtenido con el método MINUTO?

El método MINUTO lo hemos aplicado con éxito en distintas regiones agrícolas del país y el extranjero, abarcando diferentes condiciones (trópico húmedo, sub-húmedo y semiárido, zonas frías y templadas, entre otras), y diversos cultivos (cereales, hortalizas, forestales, frutales, praderas, ornamentales, leguminosas, industriales, oleaginosas y praderas). Para verificar la eficacia y precisión de las recomendaciones, las hemos comparado en condiciones de campo con valores observados en ensayos de respuesta, como es el caso de lo que obtuvimos en trigo, maíz, sorgo y cebada en riego y temporal con producciones entre 3 y 14 t/ha de grano.

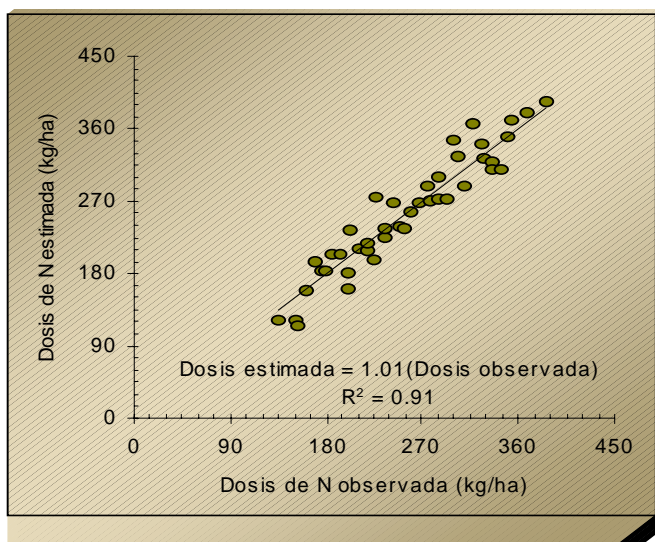


Fig. 3. Relación entre dosis observada y estimada

### 3.1.3 ¿Se puede aplicar el método MINUTO en fertirriego?

Respecto a la figura anterior, se aprecia una estrecha relación entre la dosis que generamos con el método MINUTO y la obtenida en experimentos de campo, verificando así su alta precisión. La ventaja de cuantificar los procesos involucrados en las reacciones de los nutrientes con los componentes del suelo, es que también podemos conocer la variación de la condición nutricional durante el ciclo completo del cultivo, lo cual es fundamental para regular las aplicaciones de fertilizantes en sistemas de riego presurizado (fertirriego). La figura 4 muestra un ejemplo de los resultados que hemos tenido al estimar la acumulación diaria de nitrógeno en tres rendimientos de trigo (figura a), comparada con los experimentos de campo (figura b).

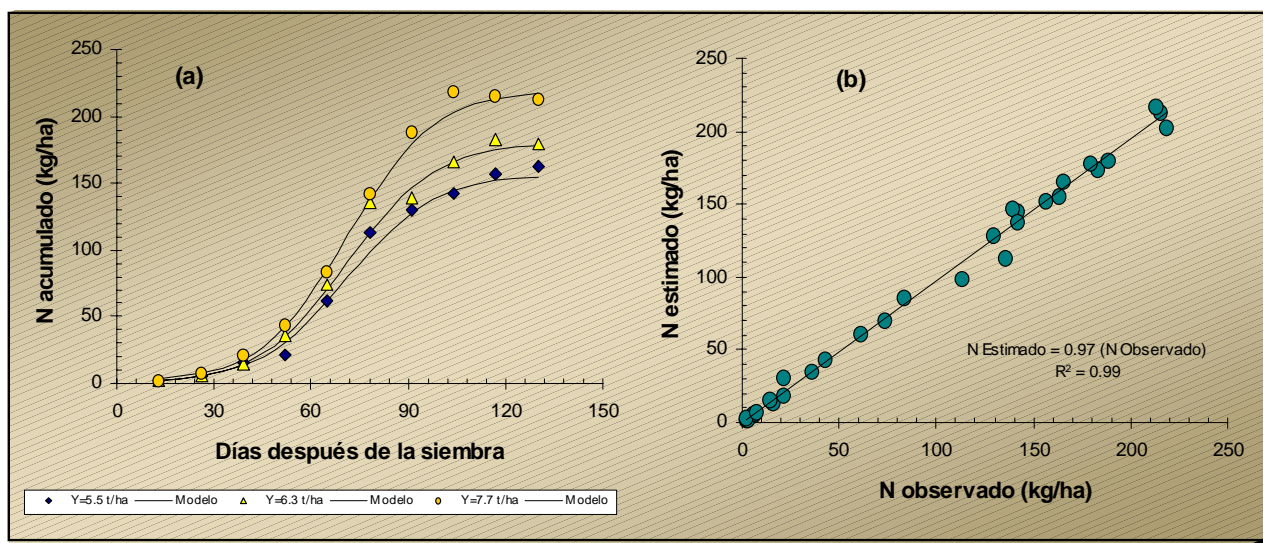


Fig 4. Acumulación diaria de N para rendimiento de trigo (a) y respuesta en campo (b)

### 3.1.4 ¿Es posible predecir el efecto de la fertilización sobre el rendimiento y calidad de la producción?

Los resultados en discusión muestran la eficacia y precisión de nuestro método MINUTO. Otro ejemplo es el caso de la fertilización potásica en la producción de tomate donde evaluamos distintas variedades y dosis de fertilizantes:

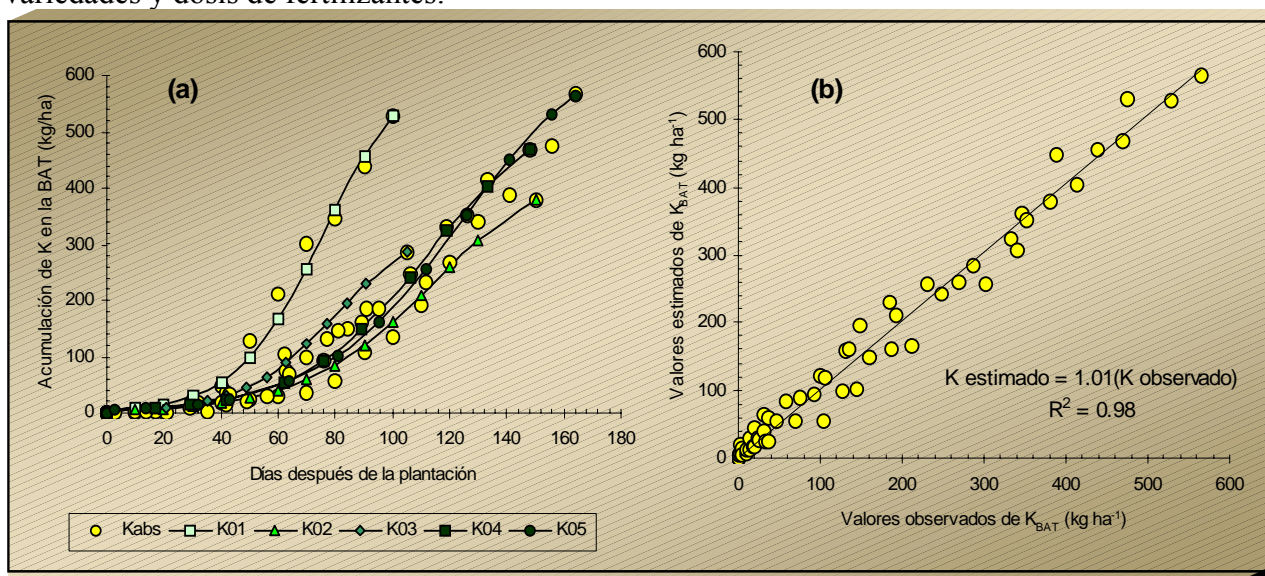


Fig. 5. Acumulación diaria de K para rendimiento de tomate (a) y respuesta en campo (b)

Lo anterior nos permite concluir que a través del conocimiento y cuantificación de los procesos, además de brindarnos la capacidad para generar una dosis para cada condición en particular, nos permite predecir con razonable precisión el efecto que tendrá un determinado manejo nutricional sobre la calidad y cantidad de productos a cosechar, lo cual no es posible hacer mediante el empleo de los métodos convencionales.

### 3.1.5 ¿Con el método MINUTO, es factible disminuir los costos de producción sin afectar el rendimiento y calidad de la cosecha?

Cuando se realiza apropiadamente la fertilización de los cultivos, es factible mejorar la rentabilidad del sistema de producción, puesto que se adicionan únicamente aquellos nutrientes que el cultivo requiera, lo cual sucede cuando el suelo no sea capaz de proveerlos en el momento que los necesita la planta y en la cantidad que los demande. En la figura 6 se comparan los costos de uso de fertilizantes invertidos en una producción comercial de tomate y maíz, respecto a los que se invirtió con el método MINUTO.

Con la tecnología del productor y el método MINUTO se obtuvieron los mismos rendimientos: 12 t/ha de maíz en labranza de conservación y 100 t/ha de tomate en fertirriego. Los casos mostrados en la figura en discusión se eligieron porque el productor aplica más fertilizantes de los que realmente necesita el cultivo en las condiciones específicas evaluadas. El productor invirtió más dinero que el recomendado con el método MINUTO sin ningún beneficio extra, llegando en este caso a ser de 150% para el maíz y 300% para el tomate. Esto quiere decir que con una inversión menor hubiese tenido la misma producción y calidad de la cosecha y, por ende, mayor rentabilidad.

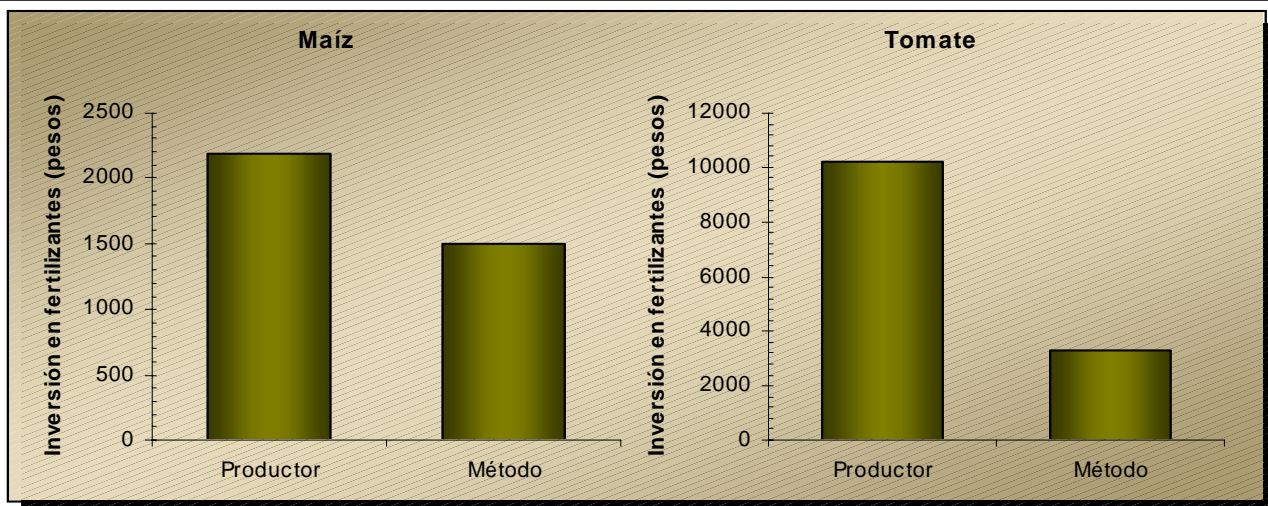


Fig. 6. Inversión en fertilizantes por el método MINUTO, respecto al estándar del productor

Desde luego, estos son sólo ejemplos de lo que suele ocurrir y, por lo mismo, esta situación puede variar según los niveles nutrimentales, de rendimiento y manejo del sistema de producción. En algunos casos será necesario aplicar más nutrimentos de los que actualmente se hace y en otros menos, lo importante es diseñar estrategias de fertilización adecuadas a cada condición en particular, para asegurar la óptima rentabilidad posible por uso de materiales fertilizantes.





# CRITERIOS PARA LA DOSIFICACIÓN DE FERTILIZANTES EN HORTALIZAS<sup>©1</sup>

Manuel Sandoval Villa

Programa de Edafología. Colegio de Postgraduados

[msandoval@colpos.mx](mailto:msandoval@colpos.mx)

Las hortalizas son el principal cultivo en el que se justifica el empleo del fertirriego. Estos cultivos son altamente rentables y demandantes de nutrimentos. Es conocido que los cultivos bajo esta modalidad requieren de una fertilización de fondo que generalmente incluye porcentajes de aproximadamente el 20% del total de los fertilizantes. Para ese 80% que resta aplicar nos tenemos que preguntar:

1. ¿Cuál será el criterio a utilizar para programar la aplicación los fertilizantes que permita el abasto oportuno y evite pérdidas de los nutrimentos?
2. ¿Qué fuente de fertilizante es más recomendable en etapas vegetativas o en la reproductiva?
3. ¿Cuál es la eficacia de estos métodos utilizados para programar la aplicación de los fertilizantes?

Para responder la primera pregunta se utilizan 1) curvas de la velocidad de acumulación de biomasa, 2) curvas de extracción nutrimental, 3) grados días de desarrollo y 4) intervalos de suficiencia tanto del cultivo como en la solución del suelo.

Las curvas de velocidad de acumulación de biomasa son la primera herramienta utilizada para fraccionar la fertilización. Sin embargo, estas curvas dependen de factores del clima: temperatura, humedad y radiación solar. Por lo tanto, presentan la limitante de no ser extrapolables y se restringen a las condiciones en las que fueron generadas.

Las curvas de extracción nutrimental dependen de las metas que los productores consideren óptimas. En otras palabras, la extracción es mayor cuando la meta de producción es cercana a la producción potencial del cultivo y al contrario.

La utilización de los grados días de desarrollo permite extrapolar los hallazgos a otras localidades, sin embargo se requiere información climatológica no disponible en muchos casos. La utilización de la información de estaciones meteorológicas cercanas siempre implica un sesgo en nuestros cálculos.

El uso de intervalos de suficiencia en tejido vegetal (hoja, pecíolos, etc.) o en la solución del suelo es un enfoque similar a las pruebas de ensayo y error. Por lo tanto, su uso se recomienda como una

---

©CYTED 2004; FERTI-RIEGO: TECNOLOGÍAS Y PROGRAMACIÓN EN AGROPLASTICULTURA (227-228) Guzmán, M. & López Gálvez, J. (Ed) ISBN: 84-96023-27-3; DL: Al-290-2004; <http://www.cytcd.org>

<sup>1</sup> Trabajo presentado al **Taller de Riego y Fertirrigación**. (junio 2004) Colegio de Postgraduados, Montecillo México.

forma de verificación más que un criterio. Curiosamente, esta herramienta es de las utilizadas en términos prácticos en las zonas productoras de hortalizas en México.

Las plantas presentan una respuesta fisiológica importante ante los fertilizantes, especialmente los nitrogenados. Por ejemplo es común que las plantas respondan favorablemente a aplicaciones de fertilizantes nítrico-amoniacaes (nitrato de amonio) o amoniacaes (sulfato de amonio) N durante el crecimiento vegetativo. Sin embargo, esta práctica puede ser contraproducente cuando las plantas están en fructificación. La pudrición apical de los frutos es un claro ejemplo de esta situación.

La utilidad y la eficiencia de los enfoques utilizados para la programación de los fertilizantes necesariamente se reflejan en la producción y en la compatibilidad de este con el medio ambiente. Es decir, los rendimientos deben ser elevados y no deben quedar residuos de fertilizantes que puedan escapar del perfil del suelo.

# LA FERTIRRIGACIÓN EN LA FLORICULTURA MEXICANA<sup>©1</sup>

Rubén Bugarín Montoya

Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit. México

[rbugarin@nayar.uan.mx](mailto:rbugarin@nayar.uan.mx)

## 1 Antecedentes

### 1.1 Producción florícola

La floricultura en México ha experimentado grandes avances en el uso de tecnología moderna que incluye entre otros, la producción en invernadero, el uso de la microirrigación y fertirrigación, manejo integrado de plagas y enfermedades, y tecnología de poscosecha. En México existen 10.47 mil hectáreas dedicadas a la floricultura, de las cuales 87 % están bajo riego y 13 % de temporal. Los estados con mayor superficie dedicada a la floricultura son: el Estado de México (35 %), Puebla (21 %), Michoacán (9%), Morelos (8%) y Guanajuato (9%). El Estado de México aporta el 93 % de la producción nacional de flores que asciende a 15.1 mil toneladas (SAGAR, 1995). En dicho estado la superficie en invernadero se aproxima a 600 ha. Las principales especies florícolas que se producen para exportación son rosas, claveles, crisantemos tipo margaritas, statice, gladiolas, *Lilium*, iris, Gerbera, orquídeas, ave del paraíso y *Gypsophila*. Durante el periodo 1993-1996 México exportó flores frescas a más de 30 países, con una tasa de crecimiento anual de 30.6 %. Las exportaciones de flores frescas mexicanas se concentran en más del 85 % en el mercado de Estados Unidos, lo cual representa el 5 % de las importaciones totales de flores de ese país (Hamrick, 2004); le siguen en importancia Canadá, Alemania y Japón (Bancomext, 1998).

En la producción de flores frescas de corte, tanto a campo abierto como invernadero, prevalece el cultivo en suelo aún cuando existe una pequeña superficie, estimada en menos de 20 ha, que emplea sistemas hidropónicos con sustratos inertes. Por su parte el cultivo de plantas en maceta (nochebuena, crisantemo, gerbera, *Lilium*, etc.) incluyen el uso de una combinación de sustratos orgánicos (turba, estopa de coco, “tierra de hoja”, cascarilla de arroz) e inorgánicos (piedra pómez, “tezontle” negro y rojo, arena, agrolita y vermiculita).

### 1.2 Sistemas de riego

En la década de los años 70, inició el uso de sistemas de riego presurizado por goteo y microaspersión en la producción de flores en México. Sin embargo, en sistemas de riego por goteo surgieron muchos problemas técnicos con su uso principalmente por el taponamiento de emisores, como resultado de una deficiente filtración o por precipitaciones químicas en el sistema. Aun

---

©CYTED 2004; FERTI-RIEGO: TECNOLOGÍAS Y PROGRAMACIÓN EN AGROPLASTICULTURA (229-234) Guzmán, M. & López Gálvez, J. (Ed) ISBN: 84-96023-27-3; DL: Al-290-2004; <http://www.cyted.org>

<sup>1</sup> Trabajo presentado al **Taller de Riego y Fertirrigación**. (junio 2004) Colegio de Postgraduados, Montecillo México.

cuando no existen datos oficiales disponibles, la expansión en la superficie cultivada con estos sistemas de riego se dio con mayor intensidad a partir de la década de los años 80 empleando sistemas de microaspersión en el cultivo de rosas y sistemas de nebulización en la propagación de muchas especies ornamentales. El uso de riego por goteo en la producción de flores se ha incrementado sobre todo a partir de los años 90. Actualmente la mayoría de las explotaciones comerciales de flores en invernadero utilizan la microaspersión o riego por goteo de manera rutinaria. A pesar del avance en la implementación de los sistemas de riegos presurizados en la industria florícola, se estima que aproximadamente 80 % de los productores de flores frescas de corte no realizan la adición de fertilizantes en el agua de riego, lo cual se debe en gran parte al desconocimiento del manejo de los fertilizantes y a la deficiente o escasa difusión información técnica sobre cómo dosificar los fertilizantes mediante estos sistemas de riego a los distintos cultivos florícolas.

### 1.3 Aplicación de fertilizantes

#### 1.3.1 Dosis de fertilizantes

La tendencia de la floricultura nacional es hacia la especialización en cultivos florícolas y el reto consiste en desarrollar infraestructura y tecnología de producción adecuadas para ofrecer productos de mayor calidad tanto en el mercado interno como de exportación. El manejo del agua y fertilizantes son dos de los factores más importantes en los sistemas de producción agrícola, dado que permiten la aplicación de agua y nutrientes de manera precisa y uniforme en el sistema radical de las plantas cultivadas en suelo, lo cual posibilitan la obtención de mejor rendimiento y calidad de productos cosechados (Bar-Yosef, 1999).

Si bien ha sido demostrado y aceptado que la fertirrigación posibilita el control eficiente de la nutrición de los cultivos agrícolas a través de su ciclo de crecimiento (Hochmuth, 1995; Bar-Yosef, 1999), también es cierto que faltan interrogantes que resolver cuando se refiere a los cultivos ornamentales, como es el caso de la determinación de la dosis de fertilizante y de cómo dosificarla a través del tiempo. En la floricultura mexicana, la dosificación de fertilizantes en el agua de riego se realiza de manera empírica e incluso muchos productores suministran los fertilizantes basados en ensayo de prueba y error, lo cual requiere mucho tiempo y esfuerzo, y no siempre conlleva a un empleo óptimo de la fertilización. La dosis de fertilización para cualquier cultivo agrícola en particular esta definida por la demanda nutrimental, el suministro edáfico (oferta nutrimental del suelo) y la eficiencia de recuperación del fertilizante por la planta (ERF) de acuerdo a la ecuación siguiente: **Dosis = (Demanda-Suministro)/ERF**. La cuantificación acertada de cada componente permite establecer dosis de fertilización correctas. La parcialización de los fertilizantes deberá realizarse de acuerdo al estado de desarrollo vegetal, lo que implica conocer la tasa diaria de consumo óptimo durante el ciclo de crecimiento a fin de lograr el máximo rendimiento y calidad de tallos florales cosechados. Existen investigaciones acerca de la dinámica del crecimiento vegetal y su relación con la extracción nutrimental para algunas especies ornamentales incluyendo plantas leñosas como el rosal, en el que incluso se han estudiado las tasas de absorción de nitrógeno en distintas épocas del año y la distribución interna del nitrógeno en un ciclo de floración (Cabrera *et al.*, 1995a, 1995b), pero la demanda nutrimental a través del tiempo de muchas otras plantas ornamentales para flor de corte aun no se conoce, lo cual dificulta la administración de fertilizantes.

#### 1.3.2 Inyección de fertilizantes

En virtud de la falta de información que se tiene para determinar las dosis de fertilización en flores de corte de acuerdo a lo mencionado anteriormente, muchos floricultores suministran nutrientes con base en la concentración en el agua de riego. Para ello, aplican soluciones nutritivas cuya

composición varía desde solo N, P y K en algunos casos, hasta soluciones nutritivas hidropónicas completas con macro y micronutrientes. De esta manera es muy común encontrar desbalances nutrimentales en los cultivos florícolas en invernadero y campo abierto. Por su parte Montag (1999) señala para el caso de Israel, que las recomendaciones de fertirrigación para un cultivo en suelo están basadas en aquellas empleadas para cultivos hidropónicos, pero que las recomendaciones deberán ajustarse considerando algunos parámetros importantes como son tipo de suelo, concentración de nutrientes en el suelo y capacidad de intercambio catiónico. Al respecto, Imas (1999) señala que las recomendaciones de fertilizantes para sustratos inertes son precisas y expresadas como concentración en el agua de riego, en tanto que en suelos arcillosos las recomendaciones están expresadas en cantidades (kg/ha) por las dificultades para determinar la concentración de nutrientes en la solución del suelo.

En los Cuadros 1 y 2, se citan ejemplos de recomendaciones de dosis de fertilizantes para el cultivo de rosas y clavel (Gamboa, 1988, 1989), respectivamente. Estas cantidades están basadas en investigación y experiencia comercial en U.S.A. y Costa Rica.

Cuadro 1. Dosis de nutrientes para el cultivo de rosas en suelo (g/m<sup>2</sup>/semana)

Nutriente	Etapa de desarrollo	
	Vegetativa	Reproductiva
N	2.5-3.5	2.0-3.0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.0-3.0	0.5-1.5
K <sub>2</sub> O	1.5-2.5	2.0-3.0
Mg	0.0-0.1	0.1-0.2

Cuadro 2. Cantidades de nutrientes que se aplican en un cultivo de clavel (g/m<sup>2</sup>/semana)

Etapa del cultivo	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	S
Plantas jóvenes (0-4 semanas)	1.5-3.0	2.0-3.0	0.5-1.5	0-0.1	0-0.1
Etapa vegetativa	1.5-2.5	1.0-2.0	2.0-3.0	0-0.1	0-0.1
Etapa reproductiva	1.0-2.0	0	1.5-2.5	0	0

La producción de flores frescas de corte en suelos no requiere sistemas de inyección de fertilizantes tan complejos como los que se emplean en sistemas de cultivo sin suelo. El empleo de inyector tipo “venturi”, Dosmatic o Dosatron instalados en la tubería de conducción de agua mediante una línea en paralelo o la inyección de fertilizantes en el sistema de succión de agua del equipo de bombeo, son los sistemas más empleados. La frecuencia de inyección de fertilizantes en el agua de riego varía desde la aplicación diaria o cada tercer día hasta una vez por semana.

### 1.3.3 Tipos de fertilizantes

#### 1.3.3.1 Fertilizantes utilizados en preplantación

En los sistemas de producción de flores frescas de corte, tanto a campo abierto como invernadero es común el empleo de fertilizantes en preplantación basados en N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O. Las cantidades aplicadas varían en función del cultivo y tipo de suelo. Es usual que los productores de flores apliquen de 20-40 % de la cantidad de nitrógeno total del programa de fertilización, así como 50-100 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 20-50 % de K<sub>2</sub>O. Las fuentes de fertilizantes para aplicar en preplantación son superfosfato triple de calcio, superfosfato simple de calcio, fosfato diamónico, nitrato de amonio, urea y nitrato de potasio.

### 1.3.3.2 Fertilizantes para fertirriego

La adición de nutrimentos en el agua de riego requiere del empleo de fertilizantes sólidos solubles (simples o complejos) o fertilizantes líquidos. Las fuentes más empleadas en la floricultura mexicana son nitrato de potasio, fosfato monoamónico, fosfato monopotásico, urea, nitrato de amonio y sulfato de potasio. De todos estos fertilizantes, las fuentes nitrogenadas como urea y nitrato de amonio contienen cierta cantidad de ceras que pueden ocasionar problemas de obturación de goteros, por lo que resulta conveniente separar las ceras antes de la inyección. Una fuente alternativa para suministrar nitrógeno en sistemas de riego presurizado, es el empleo de UAN32, el cual es un fertilizante líquido que contiene 32 % de nitrógeno a base de una mezcla de urea y nitrato de amonio y una densidad aparente de 1.3 g/L. También son muy comunes los fertilizantes sólidos complejos con distintas formulaciones –por ejemplo- 20-10-20, 15-30-15, 12-43-12, 18-18-18. Algunos fertilizantes líquidos utilizados en la floricultura son 8-24-0, 10-34-0 y otras formulaciones que se fabrican de acuerdo a las necesidades de los productores.

## 2 Problemas detectados en la floricultura acerca del fertirriego

En la implementación y operación de sistemas de fertirrigación mediante riego por goteo y microaspersión en la floricultura mexicana, se han detectado algunos problemas, los cuales se señalan a continuación

- ✓ Desconocimiento por parte de los floricultores acerca de cómo operan los sistemas de fertirrigación.
- ✓ El manejo y operación de los sistemas de fertirriego es excelente en algunos casos pero deficiente en muchos otros.
- ✓ Es frecuente encontrar equipos mal instalados
- ✓ Desconocimiento de dosis adecuadas de fertilización (caso especial el nitrógeno)
- ✓ Problemas de dosificación de fertilizantes
- ✓ Desconocimiento de cómo mezclar fertilizantes
- ✓ Poco empleo de análisis químico de suelo, planta y agua
- ✓ En muchos casos las láminas de riego son excesivas
- ✓ Insuficiente generación de conocimiento técnico-científico y su divulgación por parte de las instituciones educativas e investigación
- ✓ Faltan técnicos capacitados
- ✓ Contaminación con materiales plásticos
- ✓ Posibles problemas de eutrofización

## 3 Algunas propuestas

- ✓ Se requieren mayores recursos federales a través del Programa Alianza para el Campo y procedimientos más expeditos.
- ✓ Generación y aplicación de conocimiento científico y técnico entre instituciones y productores.
- ✓ Creación de una red nacional de investigadores en fertirrigación
- ✓ Cursos-talleres a técnicos y productores sobre el manejo y operación de sistemas presurizados de riego y fertirrigación.
- ✓ Boletín informativo para técnicos y productores
- ✓ Algunos aspectos que requieren ser investigados:

- Evaluación del estado nutrimental de los cultivos florícolas en zonas productoras.
- Cuantificar demanda nutrimental y tasas de extracción a través del tiempo en especies ornamentales donde no exista información.
- Determinar dosis totales y parciales de fertilización en cultivos florícolas para obtener mayor rendimiento y calidad de tallos florales.
- Dinámica de los nutrientes en el suelo en sistemas de fertirrigación
- Eficiencia de la fertilización mediante riego por goteo
- Patrones de humedecimiento en suelos y eficiencia del riego por goteo subsuperficial *versus* goteo superficial.
- Uso de abonos organominerales en conjunción con fertirriego
- Eficiencia de los acolchados plásticos en los sistemas de producción
- Calidad del agua riego en zonas florícolas
- Uso de compuesto orgánicos como mejoradores del suelo
- Evaluación del impacto ambiental en cuerpos de agua superficiales y subterráneas, derivado del uso de fertilizantes.

#### 4 Literatura citada

- BANCOMEXT. 1998. Oportunidades de negocios. Sector Florícola. Dirección General adjunta de Promoción sectorial. 30 p.
- Bar-Yosef, B. 1999. Advances in fertigation. *Adv. In Agronomy* 65: 1-77.
- Cabrera, I. R., Evans, R. Y. and Paul J. L. 1995a. Cyclic nitrogen uptake by greenhouse roses. *Scientia Hort.* 63:57-66.
- Cabrera, I. R., Evans, R. Y. and Paul J. L. 1995b. Nitrogen partitioning in rose plants over a flowering cycle. *Scientia Hort.* 63: 67-76.
- Gamboa Z. L. 1988. Producción del clavel. Oficina de publicaciones de la Universidad de Costa Rica. San José de Costa Rica. 87 p.
- Gamboa Z. L. 1989. El cultivo de la rosa de corte. Oficina de publicaciones de la Universidad de Costa Rica. San José de Costa Rica. 156 p.
- Hamrick, D. 2004. Invest in México to reach US market. *Floraculture International* 14(1):10.
- Hochmuth, G.J. 1995. Fertigation of vegetable crops in Florida, USA. *Dahlia Greidinger International Symposium on Fertigation*. Technion-Israel Int. of Tech., Haifa, Israel. Pp 199-214.
- Imas P. 1999. Recent techniques in fertigation on horticultural crops in Israel. Presented at the IPI-PRII-KKV. Workshop on Recent Trends in Nutrition Management Horticultural crops. Dapoli, Maharashtra, India.
- Montag, U. 1999. Fertigation in Israel. IFA Agricultural conference on managing plant nutrition. Barcelona, Spain.
- SAGAR, 1995. Anuario Estadístico 1995. México, D. F.





# LA FERTIRRIGACIÓN APLICADA A CULTIVOS INDUSTRIALES Y ORNAMENTALES EN ÁREAS PRODUCTORAS DE COLOMBIA<sup>©</sup>

Diego Miranda

Universidad Nacional de Colombia

[dmirandal@unal.edu.co](mailto:dmirandal@unal.edu.co)

## 1 Evaluación de fertirriego en el cultivo del Algodonero *Gossypium hirsutum*

En la mayor parte del área algodonera, un factor limitante de la producción es el agua, pues el exceso déficit de la humedad del suelo tiene un proceso aleatorio en cuanto a la cantidad y distribución de lluvias, relegando a un segundo plano la práctica de riego. Caicedo (1999).

Es necesario conocer algunos aspectos técnicos que permitan un óptimo aprovechamiento del agua, entre ellos tenemos algunos parámetros hidrodinámicos del suelo, el clima y la planta que faciliten una adecuada planificación del riego. Caicedo (1999).

En cuanto al método de riego, en el algodón al igual que en la mayoría de cultivos de clima cálido, se puede utilizar indistintamente el riego por aspersión o por surcos, teniendo en cuenta aspectos tales como disponibilidad de agua, adecuación existente a nivel predial y la mano de obra disponible.

Con respecto a la práctica de fertirriego, Castaño, J (1991), realizó en el cultivo del algodón, durante el primer semestre de ese año, un ensayo en la hacienda “Marañones” de propiedad de la Federación Nacional de Algodoneros (Federalgodón). Ubicada en El Espinal (Tolima-Colombia), a 431 msnm, con una T° promedio de 28°C y una precipitación promedio de 1300 mm por año, distribuidos bimodalmente, con el fin de determinar el efecto del riego por goteo y la fertirrigación y determinar su efecto sobre los parámetros de crecimiento y desarrollo del cultivo, sobre el rendimiento del Algodonero y sobre los factores de calidad de la fibra.

El riego por goteo se aplicó en parcelas utilizando una cinta T-tape, con una descarga de 2 L/gotero/h a una presión de 20 PSI, aplicando volúmenes de acuerdo con la etapa de desarrollo del cultivo. Para el caso de la fertirrigación, el suministro de fertilizantes se hizo semanalmente, utilizando como fuente de elementos mayores urea, Nitrato de potasio (KNO<sub>3</sub>) y fosfato diamónico (DAP).

Los niveles de fertilización empleados fueron los recomendados por la Federación Nacional de cafeteros de Colombia que consisten de la aplicación de 90 Kg de N; 50 Kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 10 kg de K<sub>2</sub>O por hectárea (que equivalen a 1725 g de N; 962 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 192 g de K<sub>2</sub>O por tratamiento. Estas

aplicaciones se complementaron con elementos menores de Cu (150 g/ha), Zn (100g/ha) y Mn 150 g/ha en fraccionamiento durante el ciclo y las fuentes utilizadas fueron sulfato de cobre, sulfato de Zn y sulfato de manganeso. Estos tratamientos se compararon con un testigo sin riego y con una fertilización edáfica, donde se emplearon los mismos niveles de nutrientes mayores y menores.

Las fuentes fueron: Urea. Cloruro de potasio y fosfato diamónico en tres fraccionamientos (1/3 a los 10 DDE, 1/3 a los 30 DDE y 1/3 a los 55 DDE). Adicionalmente se suministró 64 g de Kelatex Mn a todos los tratamientos. El balance hídrico se determinó a partir del uso consuntivo y la precipitación y con base en estos datos se determinó el volumen a aplicar.

Con base en los resultados se pudo concluir que el rendimiento promedio más alto del cultivo lo presentó la fertirrigación con 2800 Kg/ha, frente a 2312 Kg/ha del goteo y 1839 Kg/ha del testigo. Igual comportamiento presentó el número de estructuras emitidas por la planta. La fertirrigación presentó una emisión de 93 botones por planta, comparada con 81,5 del goteo y 35,7 del testigo; las flores por planta 56,4, contra 51,1 para el goteo y 35,7 para el testigo; 54,9 cápsulas por planta en comparación con 49,3 para el goteo y 33,6 para el testigo.

En cuanto al parámetro de contenido nutritivo de la planta durante el ciclo, no hubo diferencias significativas entre tratamientos excepto para los contenidos de Boro a los 70 DDE, que fue superior para la fertirrigación 101,9 ppm frente 53,1 ppm del goteo y 36,3 del testigo. (Castaño, J 1992.)

## **2 Fertirrigación en cultivos florícolas**

### **2.1 En Rosas. *Rosa chinensis* x *Rosa gigantea***

Las más importantes rosas para el cultivo bajo invernadero tienen un origen relativamente reciente dentro de los grupos floribunda e hibrid tea. El tipo más reciente es el grandiflora (Stewart, 1969). Las rosas modernas son híbridos complejos obtenidos a partir de nueve especies silvestres. (Heywood, 1982).

En la mayoría de empresas florícolas Colombianas, existentes en la sabana de Bogotá y Antioquia, el suministro de las necesidades hídricas y nutricionales para los cultivos florícolas está en manos de grupos de trabajadores especializados en esa actividad que conforman el área MIRFE (Manejo integrado de riego y fertilización) en el cultivo.

En general puede decirse que en flores existen tres sistemas de riego: el riego por goteo, el riego por poma o cacho y el riego antiheladas (microaspersión modificado).

Para determinar el volumen de agua a utilizar en cualquiera de estos sistemas, las frecuencias y los tiempos de riego, se utilizan variables climáticas, edáficas y fisiológicas que influyen directamente en el crecimiento y desarrollo del cultivo.

En flores la fertilización se realiza a través del riego, teniendo en cuenta el abonado de fondo (Presiembra) y aunque la fertirrigación desde el establecimiento del cultivo, puede ser suficiente para el adecuado desarrollo del mismo. Es usual realizar una fertilización de fondo, ya sea, con fertilizantes convencionales o con fertilizantes de liberación lenta. Su importancia radica en establecer una reserva que permita palear errores o carencias en la fertirrigación. Posteriormente, también es necesario controlar los parámetros de pH, la conductividad eléctrica de la solución del suelo, así como la realización de análisis foliares.

La tabla 14, muestra las necesidades nutricionales del cultivo, con base en los que se realizan los programas de fertirrigación semanal del cultivo.

Tabla 14. Necesidades nutricionales para un cultivo de rosas

ELEMENTO	UNIDAD (%)	RANGOS DESEABLES
N	%	3.00-5.00
P	%	0.25-0.50
K	%	1.5-3.0
S	%	0.25-0.75
Mg	%	0.25-0.50
Ca	%	1.00-2.00
Fe	ppm	60-200
Mn	ppm	30-200
B	ppm	30-60
Cu	ppm	8-100
Zn	ppm	18-100

Fuente: Acosta F, ASOCOLFLORES, 2001

Como consideraciones generales existentes sobre los programas de fertilización, el uso de fertilizantes que endurecen el suelo, como el Mg aplicado en exceso o aquellos que no se solubilizan y forman “costras” deben ser moderados o encontrarles sustitutos válidos. Se deben evitar fertilizaciones repetitivas con fertilizantes que tiendan a causar excesiva fluctuación del pH. Las rosas son particularmente sensibles a los bicarbonatos, también a concentraciones altas de sales que provocan defoliación en algunas variedades. El uso de fuentes de materia orgánica y sus derivados pueden aliviar y corregir en buena forma algunos de estos problemas.

## 2.2 En Freesia (*Freesia X Hybrida*),

Carrillo, (1994), realizó una evaluación de diferentes formulaciones de Fertilizantes sobre la producción de flores y cormos en el cultivo de Freesia (FREESIA X HYBRIDA), utilizando cormos de grado B, pertenecientes a las variedades ELEGANCE y DESTINY. Se emplearon tres fuentes de fertilizantes solubles, Formulaciones amarilla y azul del abono KRISTALON y la formula DOS para la fertilización de Freesias, cuya composición aparece en las tablas 15 y 16.

Tabla 15. Composición de la Formula DOS para Freesias.

FUENTE	CONCENTRACIÓN (ppm)	GRADO
Nitrato de Amonio	220 de N	26-0-0
Nitrato de Potasio	85,7 de K <sub>2</sub> O	13-0-38
Acido fosfórico	4 de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0-27-0
Sulfato de Magnesio	12 de MgO	10
Sulfato de Hierro	1 de Fe	20
Molibdato de Amonio	0,14 de Mo	54
Solubor	0,79 de B	21

Fuente: Carrillo, 1994.

Tabla 16. Composición del fertilizantes KRISTALON aplicado en el cultivo de Freesias.

FUENTE	KRISTALON AMARILLO RELACIÓN 13-40-13 NPK (%)	KRISTALON AZUL RELACIÓN 19-6-20-3 NPK (%)
N	13,0	19
NO <sub>3</sub> N	3,9	11,8
NH <sub>4</sub> N	9,1	7,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40,0	6,0
K <sub>2</sub> O	13	20,0
MgO	1	3,0
B	0,025	0,025
Cu	0,01	0,01
Mo	0,001	0,001

Fuente: Carrillo, 1994.

Los resultados mostraron que a nivel de variedad, la longitud del tallo floral de Destiny (37,5 cm) fue mayor significativamente que Elegance (35,6 cm). La tendencia observada mostró que Elegance produjo más botones florales (12,61) que Destiny (12,38), aunque sus diferencias no fueron significativas.

Se pudo concluir que ninguna formulación afecta el crecimiento del tallo floral, sin embargo, existieron diferencias para la variedad Destiny entre la formulaciones Kristalón amarillo y Kristalón azul, las cuales presentaron promedios más altos (39,26 cm) y los más bajos (35,48 cm) respectivamente.

Se observó también que para ambas variedades, el promedio más alto de producción de botones florales lo propició Kristalón amarillo con 12,86 botones/espiga para Destiny y 12,90 botones por espiga para Elegance. Carrillo, (1994).

### 2.3 En Pompón *Dendratherma grandiflora* Tzelev

Peñaloza, (2002), evaluó el efecto de la oxigenación del fertirriego sobre la nutrición y producción del Pompón *Dendratherma grandiflora*. El objetivo de este trabajo fue medir los efectos nutricionales, al aplicar Oxígeno elemental a través del fertirriego, bajo el sistema de un cultivo comercial de Pompón, observando los efectos sobre los nutrientes disueltos, relacionándolos con sus similares de la planta y su influencia en la producción de Pompón. Los tratamientos evaluados fueron:

**Tratamiento 1:** Nivel de fertirriego: 1,9 L.m<sup>-2</sup>, sin agregar Oxígeno elemental al fertirriego

**Tratamiento 2:** Nivel de fertirriego: 1,9 L.m<sup>-2</sup>, agregando Oxígeno elemental al fertirriego

**Tratamiento 3:** Nivel de fertirriego: 2,27 L.m<sup>-2</sup>, sin agregar Oxígeno elemental al fertirriego

**Tratamiento 4:** Nivel de fertirriego: 2,27 L.m<sup>-2</sup>, agregando Oxígeno elemental al fertirriego

**Tratamiento 5:** Nivel de fertirriego: 3,28 L.m<sup>-2</sup>, sin agregar Oxígeno elemental al fertirriego

**Tratamiento 6:** Nivel de fertirriego: 3,28 L.m<sup>-2</sup>, agregando Oxígeno elemental al fertirriego

**Tratamiento 7:** Nivel de fertirriego: 3,76 L.m<sup>-2</sup>, sin agregar Oxígeno elemental al fertirriego

**Tratamiento 8:** Nivel de fertirriego: 3,76 L.m<sup>-2</sup>, agregando Oxígeno elemental al fertirriego

**Tratamiento 9:** Nivel de fertirriego: 4,13 L.m<sup>-2</sup>, sin agregar Oxígeno elemental al fertirriego

**Tratamiento 10:** Nivel de fertirriego: 4,13 L.m<sup>-2</sup>, agregando Oxígeno elemental al fertirriego

Las concentraciones de los nutrimentos en el fertirriego y de las formas elementales se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Concentraciones de nutrimentos en el fertirriego y de las formas elementales

Fuentes mayores (meq. L <sup>-1</sup> )	N	P	K	Ca	Micronutrimentos	meq.L <sup>-1</sup>
Ácido Nítrico	4,45	0	0	0	Quelato de Fe	10,0
Nitrato de Ca	72,31	0	0	103,46	Quelato de Mn	4,0
Nitrato de K	11,10	0	30,99	0	Quelato de Cu	0,2
Nitrato de Amonio	12,00	0	0	0	Ácido Bórico	0,4
Ácido Fosfórico	0	6	0	0	Molibdato de Amonio	0,15

Fuente: Peñaloza, 2002.

Como resultados se pudo determinar que el Oxígeno sobre la solución edáfica causó valores deprimidos de la relación de Sodio, una mayor disponibilidad de hierro y Fósforo a concentraciones mayores de Amonio de 0,17 meq/100g.

Al nivel de la producción de Pompón: Un Aumento de las interconexiones del suelo a la planta y su producción, pues aumenta el número de variables que se correlacionan; Una mayor producción de flores por unidad de área cultivada; una mayor duración de la flor en el intervalo del fertirriego experimentado y el uso económico del riego aprovechando láminas bajas de fertirriego. (Peñaloza, 2002).

### 3 La fertirrigación en cultivos de hortalizas

#### 3.1 En tomate de mesa *Lycopersicon esculentum* Mill

El tomate *Lycopersicon esculentum* Mill como producto fresco es una de las hortalizas más demandadas por los consumidores colombianos, sin embargo la producción Nacional se está rezagando frente a la creciente demanda (CCI, 1998). El tomate participa con el 20% de la producción hortícola Nacional. Entre 1991 y 1997, la producción Colombiana de tomate pasó de 203.361 toneladas a 374.261 toneladas. Sin embargo, en los últimos años se han venido reduciendo las áreas plantadas en forma considerable, principalmente por la incertidumbre de precios en el mercado. Otras razones para esta disminución son: el agotamiento de los suelos en las zonas tradicionales de cultivo, la utilización de variedades de bajos rendimientos, los altos costos de producción y el aumento de problemas fitosanitarios.

Trabajos realizados en Colombia por Barreto, D y otros (2000), para las condiciones de La Meseta alta de Ibagué, ubicada en el departamento de Tolima-Colombia, a 850 msnm, permitieron evaluar el comportamiento fisiológico de algunos materiales de tomate. Los híbridos evaluados fueron EMPIRE, COLOSO, MOGAMBO Y H-8059-2, todos con rendimientos promedios superiores a 10 t/ha.

El tomate, es un cultivo con necesidades elevadas de agua; su uso consuntivo se ha calculado entre 5-7 mm/día/planta adulta, dependiendo de la temperatura. Los requerimientos hídricos del tomate son del orden de 630 mm de agua por cosecha. (FEDECAFE, 1985).

Para la determinación de los requerimientos nutricionales del cultivo del tomate, se tomó como base los niveles reportados por Hochmuth (1994) y Hochmuth y Halon (1995), incrementados en 50%. (294Kg/ha de N, 168 Kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 378 Kg/ha de K<sub>2</sub>O, más elementos menores ) con base en experiencias previas realizadas en la Meseta alta de Ibagué. Para suplir estos requerimientos se desarrolló el programa de fertirriego que aparece en las tablas 19 y 20, para tres cosechas continuas, con el fin de evitar salinización del suelo por acumulación de cloruros.

Tabla 19. Cantidad de fertilizante en Kg/ha utilizando cloruros, para la primera cosecha, con aplicación de día por medio, para la Meseta alta de Ibagué

Semana	Nitrato de amonio (N-NHO <sub>4</sub> )	Cloruro de potasio estándar (KCl)	Superfosfato triple (TSP)	Kelatex (Fe,B,Zn, Mg) C/U
Pre-transplante			365	
1-2	9.3	5.2		
3-5	14	7.8		2.5
6-12	18.6	10.4		
13	14	7.8		
14-cosecha	9.3	5.2		

Fuente: Barreto et al, 1999

Tabla 20. Cantidad de fertilizante en Kg/ha sin cloruros, para la segunda cosecha, con aplicación de día por medio, para la Meseta alta de Ibagué.

Semana	DAP	Nitrato de amonio (N-NHO4)	Nitrato de Potasio (KNO3)	Kelatex (Fe,B,Zn, Mg) C/U
1-2	5.3	5.3	11.9	
3-5	8.0	7.9	17.9	2.5
6-12	10.6	10.5	23.8	
13	8.0	7.9	17.9	
14-cosecha	5.3	5.3	11.9	

Fuente: Barreto et al, 1999

De acuerdo con el comportamiento de los materiales sometidos a evaluación, bajo el sistema de fertirriego, los materiales de Tipo Milano recomendados para la meseta alta de Ibagué son EMPIRE, planta vigorosa de crecimiento determinado, con frutos redondos, ligeramente achatados, de buen tamaño y corteza lisa, con resistencia a enfermedades y altos rendimientos, en segundo lugar COLOSO, planta muy vigorosa de crecimiento indeterminado, frutos de gran calibre y excelente sabor, muy fuertes con resistencia al transporte y con tolerancia a *Verticillium.spp*

### 3.2 En Pimentón *Capsicum annum L.*

El pimentón *Capsicum annum L.* es una hortaliza que ha venido aumentando su popularidad en Colombia en los últimos años. Entre las razones para esto está su alto valor nutritivo y la alta rentabilidad que ofrece al productor. Es la hortaliza con mayor contenido de vitamina C, además de contener vitaminas A y B y algunos minerales. En cuanto a su rentabilidad, el pimentón no solo ofrece menores riesgos que otras hortalizas, sino que también presenta una menor fluctuación de precio en el mercado (FEDECAFE, 1985).

Para el año 1999, la producción de Pimentón en el departamento del Tolima fue de 1635 toneladas, en un área de 54.5 hectáreas, principalmente en el Municipio de Cajamarca (SADR, 2000).

Trabajos realizados en Colombia por Barreto, D y otros (2000), para las condiciones de La Meseta alta de Ibagué, ubicada en el departamento de Tolima-Colombia, a 850 msnm, permitieron evaluar el comportamiento fisiológico de algunos genotipos, bajo fertirrigación, estos fueron: CALIFORNIA WONDER, KEYSTONE RESISTANT GIANT, X3R CAMELOT y RIVERA.

Para la determinación de los requerimientos nutricionales del cultivo del tomate, se tomó como base los niveles reportados por Hochmuth (1994) y Hochmuth y Halon (1995), incrementados en 50%. (294Kg/ha de N, 168 Kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 378 Kg/ha de K<sub>2</sub>O, más elementos menores ) con base en experiencias previas realizadas en la Meseta alta de Ibagué. Para suplir estos requerimientos se desarrolló el programa de fertirriego que aparece en las tablas 21 y 22, para tres cosechas continuas, con el fin de evitar salinización del suelo por acumulación de cloruros.

Tabla 21. Cantidad de fertilizante aplicado en Kg/ha utilizando cloruros, para la primera cosecha, con aplicación de día por medio, para la Meseta alta de Ibagué.

Semana	Nitrato de amonio (N-NHO4)	Cloruro de potasio estándar (KCl)	Superfosfato triple (TSP)	Kelatex (Fe,B,Zn, Mg) C/U
Pre-transplante			365	
1-2	9.3	5.2		
3-5	14	7.8		2.5
6-12	18.6	10.4		
13	14	7.8		
14-cosecha	9.3	5.2		

Fuente: Barreto et al, 1999

Tabla 22. Cantidad de fertilizante aplicado sin cloruros , en Kg/ha, para la segunda cosecha, con aplicación de día por medio, para la Meseta alta de Ibagué.

Semana	DAP	Nitrato de amonio (N-NHO4)	Nitrato de Potasio (KNO3)	Kelatex (Fe,B,Zn, Mg) C/U
1-2	5.3	5.3	11.9	
3-5	8.0	7.9	17.9	2.5
6-12	10.6	10.5	23.8	
13	8.0	7.9	17.9	
14-cosecha	5.3	5.3	11.9	

Fuente: Barreto et al, 1999

Los rendimientos promedio alcanzados por los mejores genotipos bajo el sistema de fertirriego fueron 12046 Kg/ha para X3R CAMELOT y 8527 Kg/ha para el genotipo RIVERA. Estos materiales son los más cultivados en la actualidad, en el Departamento del Tolima.

### 3.3 En maíz dulce (*Zea mays* L. var *saccharata* Korn)

El Maíz dulce, se produce para consumo humano, bien sea como producto fresco o procesado. La variedad de maíz dulce (*Zea mays* var. *Saccharata*), se puede encontrar de tres colores amarillo, blanco y bicolor. Y de acuerdo con su contenido de azúcar, se clasifica en tres categorías: Estándar, intermedio y superdulce (Shultheis, 1994). Como en todos los tipos, en las variedades de maíz, existen diferencias en su periodo vegetativo.

En Colombia en los últimos años el consumo de maíz dulce se ha incrementado considerablemente, sobre todo en forma congelada y también en fresco. El producto congelado es muy adecuado a los gustos del consumidor actual, ya que es fácil y rápido de preparar y está disponible todo el año.

Las áreas comerciales de este cultivo en Colombia, se ubican en San Jerónimo (Antioquia), Fusagasuga (Cundinamarca) , Yumbo (Valle del Cauca ) e Ibagué (Tolima).

Trabajos realizados en Colombia por Barreto, D y otros (1999), para las condiciones de La Meseta alta de Ibagué, ubicada en el departamento de Tolima-Colombia, a 850 msnm, permitieron evaluar el comportamiento fisiológico de algunos genotipos, bajo fertirrigación, estos fueron: PUNCHLINE, PRIMETIME; SWEETIE-82 y XP-7 FLORIDA.

Para la determinación de los requerimientos nutricionales del cultivo del maíz dulce, se tomó como base los niveles reportados por Hochmuth (1994) y Hochmuth y Halon (1995), incrementados en 50%. (252Kg/ha de N, 134 Kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 202 Kg/ha de K<sub>2</sub>O, más elementos menores) con base en experiencias previas realizadas en la Meseta alta de Ibagué. Para suplir estos requerimientos se desarrolló el programa de fertirriego que aparece en las tablas 23 y 24, para tres cosechas continuas, con el fin de evitar salinización del suelo por acumulación de cloruros.

Tabla 23. Cantidad de fertilizante en Kg/ha utilizando cloruros, para la primera cosecha, con aplicación de día por medio, para la Meseta alta de Ibagué.

Semana	Nitrato de amonio (N-NHO4)	Cloruro de potasio estándar (KCl)	Superfosfato triple (TSP)	Kelatex (Fe,B,Zn, Mg) C/U
Pre-transplante			291.3	
1-2	14.0	6.0		
3-5	21	9.0		2.5
6-12	28	12.0		
13	21.0	9.0		
14-cosecha	14	6.0		

Fuente: Barreto et al, 1999

Tabla 24. Cantidad de fertilizante en Kg/ha sin cloruros, para la segunda cosecha, con aplicación de día por medio, para la Meseta alta de Ibagué.

Semana	DAP	Nitrato de amonio (N-NHO4)	Nitrato de Potasio (KNO3)	Kelatex (Fe,B,Zn, Mg) C/U
1-2	5.0	8.0	8.0	
3-5	8.0	12.0	12.0	2.5
6-12	11.0	16.0	16.0	
13	8.0	12.0	12.0	
14-cosecha	5.0	8.0	8.0	

Fuente: Barreto et al, 1999

El genotipo considerado más estable en las localidades evaluadas fue XP-7 FLORIDA, que fue el que demostró mayor acumulación de materia seca, durante sus ciclos productivos, lo que se refleja en su rendimiento obtenido de 7749 Kg/ha, seguido por PUNCHLINE con 7565 Kg/ha y en tercer lugar SWEETIE-82 con 5830 Kg/ha.

### 3.4 En fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.)

En 1998, Colombia participó con el 0,7% de la producción mundial de fríjol seco (114.503 Toneladas), con una tasa de crecimiento anual promedio de 1,9% entre 1991-1998. Como el principal factor que explica este comportamiento está la mejora en el rendimiento, que pasó de 808 Kg/ha en 1992 a 945 Kg/ha en 1998.

El área plantada a su vez presentó una tendencia creciente entre 1991-1995, pero desde 1996, se han disminuido aproximadamente unas 45.000 Has, debido a la crisis, por la que atraviesan los cultivos transitorios en Colombia. (CCI, 2000). La producción Nacional se concentra en la región andina (85% de la producción, en la costa atlántica 13% y el 2% restante en otros departamentos. El 65% de la producción Nacional proviene de variedades volubles o de enredadera y el 35% restantes de variedades arbustivas.

Trabajos realizados para la zona de la Meseta alta de Ibagué, permitieron evaluar cuatro variedades de fríjol arbustivo así: Diacol Calima, liberada para zonas entre 800 y 1200 m snm; ICA Caucaya, ICA Quimbaya e ICA Cafetero, estos últimos liberados para la zona cafetera ubicada entre los 1200-1800 msnm. Barreto et al, 1999.

Los periodos críticos del fríjol en cuanto a suministro de riego son: germinación, floración, fructificación y llenado de los frutos. El riego debe ser corto y liviano, requiere entre 300-400 mm distribuidos durante su periodo vegetativo (80-90 días) para el clima cálido. (Rincón, 1979).

Para la determinación de los requerimientos nutricionales del cultivo, se tomo como base los niveles reportados por Hochmuth (1994) y Hochmuth and Halon, (1995), incrementados en 50% (202 Kg/ha de N, 202 Kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 202 de K<sub>2</sub>O, más elementos menores), de acuerdo con las experiencias previas en la Meseta de Ibagué. (Barreto et al., 1999).

Para suplir estos requerimientos se desarrolló el programa de fertirriego que aparece en las tablas 25 y 26, para tres cosechas continuas, con el fin de evitar la salinización del suelo por acumulación de cloruros.



Tabla 25. Cantidad de fertilizante en Kg/ha utilizando cloruros, para la primera cosecha, con aplicación de día por medio, para la Meseta alta de Ibagué.

Semana	Nitrato de amonio (N-NHO <sub>4</sub> )	Cloruro de potasio estándar (KCl)	Superfosfato triple (TSP)	Kelatex (Fe,B,Zn, Mg) C/U
Pre-transplante			291.3	
1-2	14.0	6.0		
3-5	21	9.0		2.5
6-12	28	12.0		
13	21.0	9.0		
14-cosecha	14	6.0		

Fuente: Barreto et al, 1999

Tabla 26. Cantidad de fertilizante en Kg/ha sin cloruros, para la segunda cosecha, con aplicación de día por medio, para la Meseta alta de Ibagué.

Semana	DAP	Nitrato de amonio (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	Nitrato de Potasio (KNO <sub>3</sub> )	Kelatex (Fe,B,Zn, Mg) C/U
1-2	5.0	8.0	8.0	
3-5	8.0	12.0	12.0	2.5
6-12	11.0	16.0	16.0	
13	8.0	12.0	12.0	
14-cosecha	5.0	8.0	8.0	

Fuente: Barreto et al, 1999

La variedad de fríjol que presentó el mejor comportamiento con respecto a fertirriego en la zona, fue la Diacol Calima, con un periodo vegetativo entre 83-87 días. Con un rendimiento de 1977.6 Kg/ha, seguido por ICA Cauca yá con 1563 Kg/ha, ICA Quimbaya 1485 kg/ha e ICA Cafetero con 1368 Kg/ha, convirtiéndose en los amterilaes más recomendados para esta región.

### 3.5 En Coliflor *Brassica oleracea* L. var DEFENDER

Tabla 27. Composición garantizada de la solución nutritiva aplicada al cultivo de Coliflor para evaluación en fertirriego.

Elemento-Compuesto	Gramos/litro
N-TOTAL	57,5
N-NH <sub>4</sub>	15,5
N-NO <sub>3</sub>	42,0
P	15,63
K	54,08
Ca	12,50
Mg	1,88
S	2,5
Mn	1,13
Zn	0,31
Cu	0,64

La coliflor es una de las hortalizas más importantes cultivadas en la sabana de Bogota-Colombia, ubicada a 2630 msnm, con variedades en su mayoría importadas.

Velásquez en 1997, desarrollo un experimento tendiente a evaluar los efectos de la fertirrigación y el riego por goteo en el cultivo de coliflor de la variedad comercial DEFENDER, en la finca Almunia, ubicada en el Municipio de Madrid Cundinamarca, 2600 msnm. Se emplearon 5 concentraciones de una solución nutritiva denominada “Agrofeed”, regada y fertilizada diariamente. El diseño de las soluciones no partió de los requerimientos nutricionales de la especie.

La composición garantizada de la solución evaluada aparece en la tabla 27.

Los tratamientos de fertirriego evaluados se muestran en la tabla 28.

Tabla 28. Fertilización básica y tratamientos de fertirriego para Coliflor *Brassica oleracea* var. DEFENDER. Madrid Cundinamarca.

TTMTO	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Cu
BASICO	18.4	5	17.3	4	0.6	0.8	0.6	0.1	0.2
BASICO+25%	23	6.3	21.6	5	0.8	1.0	0.8	0.12	0.25
BASICO-25%	13.8	3.8	13	3	0.5	0.6	0.5	0.08	0.15
BASICO+50%	27.6	7.5	26	6	0.9	1.2	0.9	0.15	0.30
BASICO-50%	9.2	2.5	8.7	2	0.3	0.4	0.3	0.05	0.1

Fuente: Velásquez, 1988

Las dosis aplicadas se compararon entre sí, en términos de tamaño y peso de las cabezas, la cantidad producida y comportamiento de la salinidad en cada tratamiento.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 29.

Tabla 29. Rendimientos en parcelas experimentales de coliflor en tratamientos de fertirrigación.

TTMTO	Producción número de cabezas	Producción total en kg por parcela	Producción Kg/m <sup>2</sup>
BASICO	18.4	5	17.3
BASICO+25%	23	6.3	21.6
BASICO-25%	13.8	3.8	13
BASICO+50%	27.6	7.5	26
BASICO-50%	9.2	2.5	8.7

Fuente: Velásquez, 1988

El tratamiento donde se obtuvo los mayores rendimientos, fue el tratamiento 5 (Solución Básica - 50%), con 270 Kg por parcela y la mayor producción de cabezas se obtuvo con el tratamiento 4 (Básica + 50%) con 117 cabezas por parcela.

## 4 La fertirrigación en especies frutícolas

### 4.1 En mango *Mangifera indica* L.

El mango *Mangifera indica* L. es uno de los cultivos frutícolas más importantes en Colombia y ocupa el segundo lugar en áreas plantadas, con 13.000 hectáreas, principalmente en las variedades Tommy Atkins, Kent, Irwin, Keitt y otros materiales comunes como Hilacha, mango de azúcar y Mariquiteño, entre otros. Los rendimientos promedios del cultivo se ubican en 10 toneladas por hectárea, considerándose muy bajos, comparados con otros países productores. Entre los factores que limitan los rendimientos del cultivo se pueden citar, la floración errática, el desconocimiento sobre el manejo de la floración, el agua y la nutrición y otros problemas fitosanitarios principalmente por mosca de las frutas.

Marín y Polanía en 1990, en la Finca "El Paraíso" localizada en el Municipio de Aipe, departamento del Huila- Colombia, establecieron un ensayo para evaluar el efecto de cinco combinaciones de fuentes nutricionales fertirrigadas sobre la producción de mango *Mangifera indica* L. variedad Tommy Atkins. Los tratamientos se definieron así:

Tratamiento 1: (Nitrato de calcio (Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), (MAP), Nitrato de potasio (KNO<sub>3</sub>);

Tratamiento 2: (urea, MAP, KNO<sub>3</sub>);

Tratamiento 3: (Urea, MAP, Cloruro de potasio KCl);

Tratamiento 4 (urea, DAP, KNO<sub>3</sub>).

Tratamiento 5. Testigo

Las fuentes sulfato de magnesio  $MgSO_4$  y SM-7 se usaron como tratamientos comunes. Como testigo se utilizó un tratamiento de fertilización edáfica, con el fertilizante compuesto, grado 17-6-18-2.

Los aportes de elementos nutricionales fueron 104 Kg de N/ha/año, 12 Kg de P/ha/año, 99 Kg de K/ha/año, y 48 Kg de Mg/ha/año para todos los tratamientos, como fuente de micro elementos, se suministró 11 Kg/ha/año del fertilizante SM-7 para todos los tratamientos.

Las variables evaluadas en el punto de cosecha fueron: el número de racimos por árbol, el número de frutos cosechados por árbol y la relación de frutos por racimo; la variable pérdida de racimos que está ligada a estos componentes del rendimiento se evaluó a través del período de fructificación.

Como resultados se obtuvo que, los más altos niveles para los componentes del rendimiento correspondieron a los tratamientos 1 y 3, los cuales presentaron diferencias significativas con el testigo. También resultaron significativas las diferencias entre los tratamientos manejados por la técnica de fertirrigación y el tratamiento bajo fertilización edáfica. Para las variables número de frutos cosechados y pérdida de racimos, se hicieron evidentes las ventajas de la aplicación de fertilizantes solubles a través del sistema de riego por goteo, sobre la técnica tradicional de la fertilización edáfica. Tabla 30.

Tabla 30. Porcentaje de racimos perdidos por árbol y número de frutos cosechados por árbol

Tratamiento	% de racimos producidos por árbol	% de racimos perdidos por árbol	Número de frutos cosechados por árbol
Ca $(NO_3)_2$ + MAP+KNO <sub>3</sub>	132.6	15.02	196.6 <sup>a</sup>
Urea*MAP+KNO <sub>3</sub>	84.3	22.98	124.3 <sup>b</sup>
Urea+MAP+KCl	104.6	12.40	174.0 <sup>ac</sup>
Urea+DAP+KNO <sub>3</sub>	98.6	18.24	150.0 <sup>bc</sup>
Testigo (17-6-18-2)	83	27.10	125.6 <sup>b</sup>

Valores seguidos por la misma letra no presentaron diferencias significativas según prueba de contrastes ortogonales.

Fuente: Marín y Polanía, 1990.

Las pérdidas de racimos florales por semana guardaron correspondencia con las semanas en que no hubo o fue muy escasa la precipitación. De esto fue posible inferir que el volumen de agua aplicado de 50 L/árbol/día es insuficiente para sostener la totalidad de los racimos formados, especialmente en la etapa de mayor crecimiento del fruto.

La variación del contenido mineral de macro y micronutrientes de la hoja se determinó a través del ciclo de producción; los resultados señalaron que la fase de terminación de la floración es la etapa donde coinciden los niveles más críticos de la mayoría de los elementos.

También se determinó el contenido mineral de la pulpa de fruta calidad primera y fruta con incidencia de “nariz blanda”, en la cual se determinaron los menores contenidos de Nitrógeno, Azufre, Cobre y Sodio y los más altos niveles de Calcio y Hierro; así mismo la relación Ca/B fue más elevada en fruta con alta incidencia de “nariz blanda”.

Una clasificación por calidad de la fruta fue realizada en el punto de cosecha, registrándose casi en todos los tratamientos niveles de fruta calidad prime superiores al 66% considerados aceptables, siendo los mejores resultados los de los tratamientos con base en Nitrato de calcio (Ca  $(NO_3)_2$ , Fosfato mono amónico (MAP), Nitrato de potasio (KNO<sub>3</sub>) y el tratamiento 3 (Urea, MAP, Cloruro de potasio KCl).

Un análisis económico teniendo en cuenta el volumen de producción y calidad de fruta por tratamiento arrojó el mayor ingreso neto para el tratamiento 1. La metodología de presupuestos

parciales, estableció una tasa de retorno marginal de 577%, como la más favorable, cuando se efectúa el cambio del tratamiento 3, por el tratamiento 1. (Marín y Polanía, 1990).

## 4.2 En el cultivo del Banano *Musa sp.* Clon Gran Enano

El banano es el principal cultivo de exportación frutícola de Colombia, donde existen un total de 45.000 hectáreas plantadas, con unos volúmenes de producción promedio anual de 146.000 miles de toneladas.

La planta de banano es una gran hierba con hojas extremadamente grandes y pseudotallo succulento, es bien conocida por sus altos requerimientos hídricos y por su sensibilidad al estrés hídrico. Se puede afirmar que se requieren entre 1200 y 1400 mm/año, en las regiones tropicales donde la relación de riego está en el rango de 1.0 a 1.5. en Colombia se asume que el banano tiene un buen comportamiento en zonas con una humedad relativa superior al 60% y con regímenes de precipitación entre 1200 y 2500 mm por año.(Ruiz, 2000).

Existen diversos sistemas para la aplicación del agua en el cultivo de banano entre estos el riego superficial, riego por aspersión sobre las plantas, aspersión subfoliar, microaspersión y goteo. (Ruiz, 2000).

Guerrero y otros (1992), establecieron un experimento en una plantación de Banano (Clon “gran Enano”) 3° cepa), altamente tecnificada y desarrollada a partir de meristemas, con una población de 1750 pl/ha. El trabajo tuvo como objetivo la evaluación de la eficiencia técnica y económica de dos fuentes de fertilizantes potásicas para el cultivo del banano en un sistema de fertirrigación por goteo. El experimento se realizó en la Finca La despensa, ubicada en el Municipio de Ciénaga (Magdalena-Colombia), al nivel del mar, con una precipitación promedio de 700 mm y una temperatura entre 28-29°C. El suelo es de textura intermedia (arenosa y arcillo-arenosa).

Los tratamientos evaluados fueron:

- 1) Sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ) (600 Kg de  $K_2O$ /ha/año)
- 2) Nitrato de Potasio ( $KNO_3$ ) (600 Kg de  $K_2O$ /ha/año)
- 3) ( $K_2SO_4$ ) (50%)+  $KNO_3$  (50%) (600 Kg de  $K_2O$ /ha/año)

Durante el ciclo de cultivo en que se efectuó el experimento se aplicó también en el sistema de fertirrigación la fertilización nitrogenada a razón de 420 Kg de N /ha/año (2000 Kg de Sulfato de Amonio/ha/año). En el sistema de fertirrigación se agregaron cada dos meses borax a 3,07 Kg/ha y quelatos de Zn 1,22 Kg/ha.. además se aplicó abono orgánico a 3 toneladas/ha/año.

Las variables de respuesta evaluadas fueron peso promedio por racimo (WRAC), número promedio de manos por racimo (MxR) y número promedio de dedos por mano (DMB).

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 31.

Tabla 31. Resultados promedios para las variables de respuesta en el experimento de fertirrigación en banano (Clon “Gran Enano”) Finca La despensa 1991.

Variable de respuesta	( $K_2SO_4$ )	( $KNO_3$ )	( $K_2SO_4$ ) + $KNO_3$
Peso/racimo (kg)	42,43	47,06	44,91
Manos /racimo	10,30	11,05	10,80
Dedos por mano	21,05	23,22	23,06
Calibre dedo central	46,35	46,89	46,65

Fuente: Guerrero, *et al* (1992)

La utilización de  $KNO_3$  en el sistema de fertirrigación permitió obtener racimos con 4,6 y 2,1 Kg adicionales de peso que los cosechados cuando se uso  $K_2SO_4$  y la mezcla respectivamente. En comparación con el  $K_2SO_4$ , en nitrato de potasio resultó en 0,7 manos adicionales por racimo, pero

no superó a la mezcla, lo cual obviamente implica que esta también llevó a mejores resultados que el sulfato de potasio solo. Para la variable número de dedos por mano la diferencia entre  $\text{KNO}_3$  y  $\text{K}_2\text{SO}_4$  fue altamente significativa. El nitrato de potasio resultó, en promedio, en dos dedos adicionales por mano. Con respecto a la longitud del dedo central, el nitrato de potasio superó tanto al sulfato de potasio, como a la mezcla de los dos fertilizantes.

### 4.3 En Melón *Cucumis melo* L.

Paez y Reyes, 2001, evaluaron la influencia de diferentes esquemas de fertirrigación con Nitrógeno y Potasio sobre algunos factores de crecimiento y producción del melón *Cucumis melo* L, (Híbrido Excelsior). El trabajo se realizó en la inspección de Cambao, Municipio de Cundinamarca-Colombia. esta zona está clasificada como bosque seco tropical (Bs-T), ubicada a una altura de 280 msnm, con una temperatura media anual de 28,5 °C y una precipitación media anual de 850 mm, brillo solar promedio de 6,4 horas y una humedad relativa promedio del 69%.

Para el cultivo fueron definidas cuatro etapas de desarrollo así:

Etapas 1, del transplante hasta la floración masculina (0-20 DDT);

Etapas 2, de floración masculina a apertura de flor hermafrodita (21- 33 DDT); Etapas 3, de apertura floral hermafrodita hasta inicio de enmallado del fruto (33 a 44 DDT)

Etapas 4, de inicio de enmallado a inicio de estado de maduración (45-54 DDT).

El aporte de fertilizante se calculó para una densidad de 12500 pl/ha.

Las cantidades de N y K a aplicar se determinaron de acuerdo con la información disponible sobre los requerimientos del cultivo y la disponibilidad en el suelo, determinándose que se requería un aporte de 170 Kg de N/ha y de 130 Kg de K/ha.

Las fuentes empleadas fueron Nitrato de amonio 33% de N, 16% de Nitrógeno Nítrico y 16,5% de Nitrógeno amoniacal con una solubilidad de 80,04g/L. El Nitrato de K, con 11% de N nítrico, 44% de  $\text{K}_2\text{O}$  y solubilidad de 101,1 g/L y el Sulfato de Potasio 18% de S, 50% de  $\text{K}_2\text{O}$  y solubilidad de 105 g/L , diseñándose un total de 6 tratamientos experimentales.

Para la corrección de las deficiencias de elementos menores mediante la aplicación del fertilizante **Sinergipron** (Ácidos húmicos 261,7 g/L, ácidos fúlvicos 35,7 g/L, Boro 0,24 g/L, Cobre 0,595 g/L, Hierro 1,19 g/L, Manganeso 0,595 g/L, Molibdeno 0.03 g/L y Zinc 0.595 g/L., en aplicaciones foliares 15 días calendario.

Las variables evaluadas fueron el número de hojas emitidas, el número de flores masculinas y hermafroditas, el diámetro polar y ecuatorial del fruto y los análisis foliares para el monitoreo del estado nutricional del cultivo.

Los resultados indicaron que no hubo diferencias significativas entre el número de hojas producidas por efecto de los tratamientos, alcanzando el material un número de 65 hojas en promedio, factor que no se vio afectado por las diferentes condiciones nutricionales. Con respecto al número de flores no se presentaron diferencias entre tratamientos, alcanzándose un promedio de 53 flores masculinas por planta a los 41 DDT.

El mayor número de flores hermafroditas se alcanzó a los 41 DDT y fue en promedio de 27 flores. El peso promedio de los frutos en el ensayo fue de 2,1 Kg y se cosecharon un total de 13000 frutos por hectárea, rendimiento considerado bajo, comparados con 35000 frutos por ha, reportados por Arias, 1997. La recomendación final del trabajo fue aplicar el N en forma fraccionada (40 %, 30%, 20% y 10%) de acuerdo con las etapas de desarrollo planteadas. Para el K fraccionar (0%, 20%, 30% y 50% al final del ciclo). (Páez y Reyes, 2001).

---

## 5 Bibliografía

- Paez QJ, Reyes BY. Influencia de diferentes esquemas de fertirrigación con Nitrógeno y potasio sobre aspectos de crecimiento y producción de Melón (*Cucumis melo* L.) híbrido “Excelsior” en la inspección de Cambao, Cundinamarca. Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2001.
- Carrillo CS. Evaluación de diferentes formulaciones de fertilizantes sobre la producción de flores y cormos en el cultivo de Freesia (FREESIA x HÍBRIDA) en las variedades Elegance y Destiny. Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1994.
- Castañó EJ. Efecto de la fertirrigación sobre el rendimiento del Algodonero (*Gossypium hirsutum*) en la zona de Espinal Tolima. Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1992.
- Peñalosa FJ. Efecto de la oxigenación del fertirriego sobre la nutrición y producción del Pompón (*Dendranthema grandiflora* Tzelev-). Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2002.
- Arias VH, Betancourt R. Respuesta del cultivo de la Guanábana (*Annona muricata* L) a la fertilización edáfica y foliar en dos localidades: El Guamo (Tolima) y Pereira (Risaralda). Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1994.
- Pava BH, Rivera PE. Efecto de diferentes volúmenes de agua en Guanábana (*Annona muricata* L) aplicados mediante dos sistemas de riego (goteo y microaspersión). Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1994.
- Marín FJ, Polanía DF. Efecto de la aplicación de varias fuentes de nutrientes fertirrigados en la producción de mango (*Mangifera indica* L..) Variedad Tommy Atkins. Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1990.
- CORPOICA. Manejo competitivo del Algodonero. Primer encuentro Nacional de la cadena algodón-textil-confecciones. Centro de investigación Nartaima. Corpoica. Espinal Tolima. 1999. 134 p.
- CORPOICA. Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao. Compiladores Mejía FL y Arguello CO. 144 p.

# RECIRCULAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA EM ESTUFA PLÁSTICA<sup>©</sup>

R. Marins Peil

Dept. Fitotecnia/ FAEM/ Universidade Federal de Pelotas (Brasil)

[rmarins@ualm.es](mailto:rmarins@ualm.es)

José López Gálvez

Coordinador Red XIX.A CYTED

[jlgalvez@ualm.es](mailto:jlgalvez@ualm.es)

## 1 Introdução

A rápida adoção e difusão de inovações tecnológicas é um fator importante para manter a capacidade de competição de um setor agrícola. A falta de invenções úteis e a difusão deficiente contribuem para a decadência de um sistema de cultivo. A denominação “tecnologia no setor agrícola” refere-se a um acúmulo de técnicas, procedimentos ou meios de organização da atividade econômica neste setor. A mudança tecnológica acontece pela adição de uma nova técnica àquela já existente. A competição no setor hortofrutícola espanhol leva a importantes contribuições em inovações tecnológicas. Os trabalhos de inovação tecnológica, que atualmente está realizando a Empresa Dunia Export S.A., têm como finalidade melhorar a produtividade das culturas em estufas, reduzindo o impacto ambiental sobre o meio. A técnica de NFT, utilizada nas pesquisas conduzidas nesta empresa, melhora a eficiência de dois dos fatores de produção, água e solo, que são mais limitantes no sudeste espanhol, isto é, a técnica “economiza” água e solo.

Os mais altos rendimentos são obtidos pela adição de técnicas de sementeira/viveiro, melhorias das condições ambientais da estufa, técnicas de recirculação da água de irrigação e adequação do manejo cultural à nova tecnologia de produção. Um aspecto a considerar é a ampliação do calendário de cultivo, que se pode conseguir com este novo sistema de produção.

Por um lado, a intensificação dos cultivos em estufas, concentrada em determinados lugares do território vem causando problemas de sobreexploração e contaminação de águas superficiais e subterrâneas. As consequências desta prática cultural são a mineralização ou perda de estrutura dos solos, alta salinidade, contaminação de águas por lixiviação dos produtos aplicados, problemas de pragas e doenças cada vez mais difíceis de solucionar. Esta situação, normalmente, traz consigo uma diminuição progressiva dos rendimentos e não somente compromete o futuro agrícola de muitas regiões (o sudeste da Espanha e o Marrocos são exemplos significativos), como também, ocasiona um impacto sobre as reservas de água potável, que desde antigamente têm saciado a sede de nossos antepassados, e que podem pôr em perigo a manutenção da população na região. Depois de mais de um século de raciocinar com base na “lei dos mínimos” de Justus von Liebig, que

tratava da identificação daqueles elementos cuja deficiência no solo limitava o desenvolvimento das plantas, e de recomendar aos agricultores a conveniência de repor com excesso as extrações das plantas, hoje em dia a maior sensibilidade quanto a deterioração dos solos e das águas, está levando às instituições a melhorar a eficiência dos sistemas de cultivo para definir os limites “máximos” recomendáveis de irrigação e adubação capazes de compatibilizar rendimentos elevados com contaminação reduzida. A diretiva de nitratos da União Europeia é um bom exemplo do anteriormente comentado.

Por outro lado, as técnicas modernas de cultivo em estufa estão empregando, como suporte para a cultura, substratos bastantes inertes (fundamentalmente lã de rocha, perlita, fibra de côco etc). Entretanto, esta prática, está se generalizando com drenagem aberta, o que leva a problemas ambientais, tanto pela lixiviação produzida, como pelo próprio resíduo dos substratos. Observe-se, a título de exemplo, os seguintes dados coletados de Bélgica e Holanda, onde, para 1 ha de cultivo sem solo de tomate, o volume da solução nutritiva lixiviada é de aproximadamente 2.000 m<sup>3</sup>/ha (com 20% de drenagem) e pode se perder 5 t/ha de fertilizantes. Às quantidades citadas, se deve somar o risco meio-ambiental que ocasiona a massa de resíduos de 60 m<sup>3</sup> de tábuas de lã de rocha, 12 m<sup>3</sup> de cubos de lã de rocha e 5 t de plásticos deixados pelo substrato (Benoit y Ceustermans, 1995).

As quantidades tão expressivas de água e nutrientes perdidos com este tipo de cultivo vêm despertando o interesse por técnicas de recirculação de lixiviados e por técnicas que prescindem do substrato, como a de NFT (“Nutrient Film Technic”) ou a técnica da lâmina de nutrientes (Cooper, 1973).

Assim sendo, este trabalho tem como objetivo descrever as inovações tecnológicas realizadas no programa de pesquisa desenvolvido em Dunia Export (El Ejido/ Almería), dando ênfase especial à técnica de NFT, bem como, os primeiros resultados obtidos com as culturas de tomate e de pepino do tipo longo e os problemas que apresenta o sistema.

## **2 Inovações realizadas**

### **2.1 Técnicas de sementeira/ viveiro**

As técnicas atuais de produção de plântulas proporcionam aos agricultores mudas de hortaliças de fruto em bom estado sanitário. Alguns utilizam a técnica de enxertia para diminuir os problemas ocasionados pela contaminação biológica dos solos, mas, em qualquer caso, a planta sai pouco desenvolvida para ser transplantada ao local definitivo.

As técnicas modernas de sementeira pretendem proporcionar uma planta suficientemente desenvolvida com o objetivo de reduzir o período entre o transplante e a entrada em colheita da cultura. Esta nova situação exige mudanças na infraestrutura produtiva e, também, um manejo que possibilite obter plantas que apresentem um desenvolvimento equilibrado entre a parte aérea e o sistema radicular.

Com esta finalidade, foi construída uma estufa industrial (estrutura metálica) dotada de janelas automatizadas, malha de sombreamento de 30% de passagem de luz e calefação de solo radiante. O piso é de concreto, formando, em cada capela da estufa, uma balsa cuja a base apresenta inclinação convergente em direção ao centro da mesma, permitindo o enchimento e o esvaziamento desta. O sistema de irrigação é por inundação (figura 1).

A propagação é através de sementeira direta ou com repicagem, de acordo com o valor da semente e a adoção ou não da técnica de enxertia. A sementeira direta consiste em colocar a semente no buraco existente no centro do cubo de lã de rocha, cobrindo-a, a continuação, com vermiculita. Com



repicagem, a sementeira é feita em bandejas de isopor contendo substrato de turfa. Quando as plântulas atingem o estadio de surgimento da primeira folha definitiva, são repicadas aos cubos de lã de rocha e, também, se preenche o buraco do centro do cubo com vermiculita. No caso de que se utilize a técnica de enxertia, o estadio para executar-la e repicar a plântula ao cubo é, em geral, mais adiantado e depende da espécie em questão.

A densidade de plantas na sementeira/viveiro deve ser adequada, em cada momento, à época do ano e ao grau de desenvolvimento das plantas que esperamos conseguir para o transplante, tratando de corrigir os problemas derivados da competição pela luz e do desenvolvimento das raízes. Plantas de tomate ou de pimentão com mais de 8 folhas definitivas deveriam ter um volúmen de raízes maior ao existente em um cubo de lã de rocha de 10x10x7,5 cm. O tamanho destes cubos deve ser de acordo com o grau de desenvolvimento de planta que se pretende atingir.

A inundação das balsas em todas as épocas e, especialmente, no verão deve se fazer com uma alta frequência, estimulando o desenvolvimento radicular. A diminuição do tempo de enchimento e esvaziamento das balsas está condicionada pelo volume de água a fornecer. Acreditamos que alturas máximas de solução de 2 cm e mínimas de 0,5 cm possibilitam obter plantas sem problemas de anóxia radicular. Estas condições implicam em uma inclinação do piso das balsas em torno a 4 ‰. Se dispõe de um sistema automático conectado a um computador para o controle do enchimento e esvaziamento das balsas, assim como do pH e da condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva.

## **2.2 Melhoras ambientais da estufa**

As melhoras nas condições ambientais para o crescimento das culturas se conseguiram pela substituição da estrutura tipo “parral” por estufas industriais do tipo multi-túnel, com controle automatizado do clima. O acréscimo de calefação e de malha de sombreamento termorefletora garantem um controle ainda mais efetivo do microclima da estufa em relação à pouca ventilação das estruturas “parrais” tradicionais em Almeria, aprentada como único meio de intervir sobre as condições ambientais deste tipo de estufa.

As pesquisas utilizando a técnica de NFT, foram realizadas em duas estufas industriais multi-túneis, de teto de duas águas simétricas, com cinco capelas de 7,5 m de largura e 40 m de comprimento, compreendendo uma área de 1500 m<sup>2</sup> cada uma, e com orientação norte-sul. A altura da calha é de 4,0 m e da cumieira é de 5,8 m. O material de cobertura é o polietileno térmico de 200 µm de espessura.

As estufas apresentam ventilação no teto através de janelas com abertura de dente de serra localizadas no lado leste, e de janelas laterais enroláveis, nos lados sul e norte. Para melhorar o clima, se instalaram malha de sombreamento de 50% de passagem da luz que, também, é termoisolante, e um sistema de calefação com água quente que utiliza, para transportá-la, canos de ferro situados sobre apoios a 10 cm do solo e que servem como trilhos, sobre os quais circulam carrinhos elétricos que facilitam os tratos culturais. O solo está coberto com plástico blanco-negro.

Os equipamentos descritos anteriormente estão conectados a um computador que controla a abertura e o fechamento das janelas, a extensão e o recolhimento das malhas de sombreamento e o funcionamento e parada do sistema de calefação, de acordo com parâmetros pré-estabelecidos para as culturas do tomate e do pepino.

## 2.3 A técnica NFT

### 2.3.1 Revisão bibliográfica

O cultivo de plantas em água contendo nutrientes vem sendo empregado desde o ano de 1699. Woodward (1699) foi o primeiro autor que através dos seus experimentos descobriu que acrescentando uma pequena quantidade de solo à água, aumentaria o crescimento das plantas cultivadas em vasos contendo um meio líquido.

Gericke (1929, 1937) foi a primeira pessoa que desenvolveu cultivos comerciais em solução nutritiva. O sistema, no qual se empregavam canais profundos para o cultivo, posteriormente, foi denominado por Setchell da Universidade da Califórnia, de hidropônicos. A palavra hidropônicos também foi aplicada aos sistemas em que a solução nutritiva é fornecida a um substrato inerte que serve como suporte para as plantas. Entretanto, seria mais correto denominar este último sistema de “cultivo em substrato inerte”. O sistema Gericke foi experimentado em diferentes países, mas não obteve sucesso comercial, provavelmente devido às dificuldades encontradas para aeração de uma solução profunda e aos problemas para apoiar as plantas num volume grande de líquido. No Japão, Suzuki et al. (1984), descobriram que através da recirculação da solução e da aeração forçada, poderia-se melhorar os resultados obtidos no sistema de canais profundos de Gericke.

O cultivo de plantas numa lâmina recirculante de solução nutritiva foi, originalmente, desenvolvido com propósitos de pesquisa. Cooper (1973) transferiu a tecnologia criada em laboratório a propósitos comerciais e desenvolveu o sistema atualmente denominado NFT. Na sua origem, NFT é um retorno ao princípio da verdadeira hidroponia, na qual as plantas são cultivadas estritamente num meio líquido. O princípio deste sistema hidropônico consiste na circulação constante de uma lâmina muito fina de solução nutritiva que passa através das raízes do cultivo, que encontram-se em canais, não havendo perda ou saída ao exterior da solução nutritiva, pelo que se constitui num sistema do tipo fechado.

Os problemas de aeração, que causaram dificuldades no sistema de produção de Gericke, foram superados pelo uso da lâmina muito fina e da recirculação da solução nutritiva. As raízes das plantas formam uma camada fina sobre a base do canal e crescem parcialmente submersas e parcialmente fora da solução. A alta relação superfície/ profundidade da solução, garante uma boa aeração e a lâmina fina diminui o volume de raízes que encontram-se totalmente submersas na solução. A recirculação da solução também aumenta a aeração e garante que as raízes recibam uma quantidade adequada de oxigênio e nutrientes (Cooper, 1973).

Os componentes básicos do sistema são formados por uma série de canais paralelos onde se cultivam as plantas e que têm uma inclinação de 1% a 2%, para que a solução nutritiva flua constantemente no sistema; um tanque coletor que tem como função armazenar a solução; bomba de impulsão da solução nutritiva desde o tanque coletor até a rede de distribuição que está localizada na parte superior dos canais de cultivo; canos coletores que recolhem a solução nutritiva e a conduzem de volta ao tanque (Cooper, 1973; Burrage, 1992; Schwarz, 1995).

A flexibilidade do sistema NFT possibilitou a sua adaptação a uma grande variedade de culturas. Ao longo dos anos, se conseguiram melhoras no sistema que, entretanto, sempre se caracterizou por uma produção de alto rendimento e qualidade. Esta técnica é muito útil para a experimentação sobre as necessidades de água e nutrientes das plantas. Também, a facilidade para controlar o ambiente radicular, através de práticas de aquecimento, variações da condutividade elétrica e programação de fluxos da solução nutritiva, permite um controle eficiente do crescimento da cultura. As mínimas quantidades de água e nutrientes empregadas fizeram que esta técnica seja altamente desejável em

regiões com falta de recursos hídricos. O menor emprego de materiais e o alto nível de automatização obtidos possibilitam um alto rendimento econômico e um rápido retorno do investimento (Cooper, 1979; Burrage, 1992; Schwarz, 1995).

Uma dificuldade do sistema aparece quando plantas pequenas são transplantadas e cujas raízes ainda não alcançam a solução que circula na base do canal. Também, mesmo com a cultura adulta, as raízes garantem pouca sustentação para as plantas, sendo, assim, desejável um método de sustentação adicional. Por estes motivos, na Europa, foi desenvolvida uma adaptação do sistema NFT em que as plântulas são produzidas em cubos de lã de rocha, os quais são colocados nos canais de cultivo (Cooper, 1979; Hanger, 1982). Porém, o emprego do cubo de lã de rocha viola o princípio básico do NFT, ao introduzir no sistema um material sólido de enraizamento. Por esta razão, o cubo deve ser o mais pequeno possível.

Inicialmente, acreditava-se que os principais inconvenientes do sistema seriam causados por possíveis falhas no sistema de impulsão da solução e pela facilidade para a disseminação de doenças. Entretanto, a literatura revisada indica que nenhum destes problemas demonstraram ser especialmente graves. Mais importante foi a necessidade de um considerável conhecimento no manejo do sistema, e em algumas regiões, este pode ser o principal fator para a difusão desta técnica (Burrage, 1992).

### 2.3.2. As soluções nutritivas

As soluções nutritivas ideais empregadas nos diferentes ciclos de cultivos são mostradas no quadro 1. A água utilizada para a solução nutritiva apresentava um condutividade elétrica (CE) de 0,8 dS/m e uma composição, expressa em mmol/l, de: 0,75 de  $\text{Ca}^{+2}$ , 1,35 de  $\text{Mg}^{+2}$  e 2,10 de  $\text{HCO}_3^-$ . O pH programado foi de 5,5 a 6,0 para ambas as culturas.

Quadro 1: Composição e características das soluções nutritivas ideais empregadas nas culturas de tomate e pepino em NFT.

Cultura	Nutriente (mmol/ l)							Relac. N/ K	CE dS·m-1
	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{+2}$	$\text{Mg}^{+2}$	$\text{SO}_4^{-2}$		
Tomate (primavera/ solução inicial <sup>a</sup> )	12,75	0,50	1,50	9,50	5,63	2,06	4,25	1/ 2	2,5
Tomate (primavera/ frutificação <sup>a</sup> )	13,75	0,50	1,50	12,75	6,08	2,23	6,00	1/ 2,5	3,0
Pepino (inverno)	15,50	1,25	1,25	8,00	4,45	1,75	1,38	1/ 1,33	2,0
Pepino (primavera e verão)	13,75	0,50	1,50	8,50	4,25	2,00	1,75	1/ 1,7	2,1

<sup>a</sup>A solução nutritiva inicial foi utilizada nas duas primeiras semanas depois do transplante. A partir da terceira semana utilizou-se a solução nutritiva para frutificação.

### 2.3.3. Descrição e manejo do sistema

O sistema NFT empregado nos experimentos realizados é constituído por canais de cultivo de polietileno flexível branco-negro, de 200 µm de espessura, comprimento de 9,0 m, largura de 0,30 m e inclinação de 2 %. A altura da lâmina de água é de aproximadamente 3 mm, com velocidade de circulação de 3 l/min. A disposição dos canais é em linhas duplas pareadas, com distância interna de 0,55 m e caminho de 1,33 m de largura. O controle da solução, do pH e da CE é através de um sistema automático conectado a um computador.

A programação da solução nutritiva foi feita da seguinte maneira: semanalmente ou duas vezes por semana, dependendo da demanda evaporativa, preparava-se a solução nutritiva que enchia um tanque com capacidade de 60 m<sup>3</sup>, de acordo com as soluções ideais descritas no ítem 2.3.2.

O tanque tinha como objetivo atuar como regulador térmico da solução nutritiva e, além disso, melhorar as condições de oxigenação da solução, devido a queda que se produzia no retorno desta ao tanque (figura 2).

### 3 Resumo dos primeiros resultados do desenvolvimento do programa

No quadro 2, mostra-se um resumo dos principais resultados obtidos até este momento com as culturas do tomate e do pepino em NFT. O rendimento do uso d'água na cultura do pepino, em distintas épocas, demonstra como foram diminuindo as perdas de água do sistema, a medida em que se foi aperfeiçoando a técnica. No ciclo de inverno, a quantidade de água fornecida foi aproximadamente o dobro da quantidade fornecida à cultura nos ciclos de primavera e verão, o que se refletiu num rendimento do uso d'água muito inferior, tal como se vê no quadro 2.

Quadro 2: Principais resultados obtidos com as culturas de tomate e pepino em NFT.

Cultura	Duração do ciclo (dias) <sup>a</sup>	Início da colheita (ddt <sup>b</sup> )	Rendimento comercial (kg/ m <sup>2</sup> )	Rendimento do uso d'água (kg/ m <sup>3</sup> ) <sup>c</sup>
Tomate (primavera)	09/03 al 02/07/98 (115)	54	16,4	30,2
Pepino (inverno)	04/12/97 al 16/03/98 (102)	48	12,9	32,5
Pepino (primavera)	02/04 al 24/06/98 (83)	32	16,8	54,0
Pepino (verão)	13/08 al 21/10/98 (69)	26	8,9	46,1

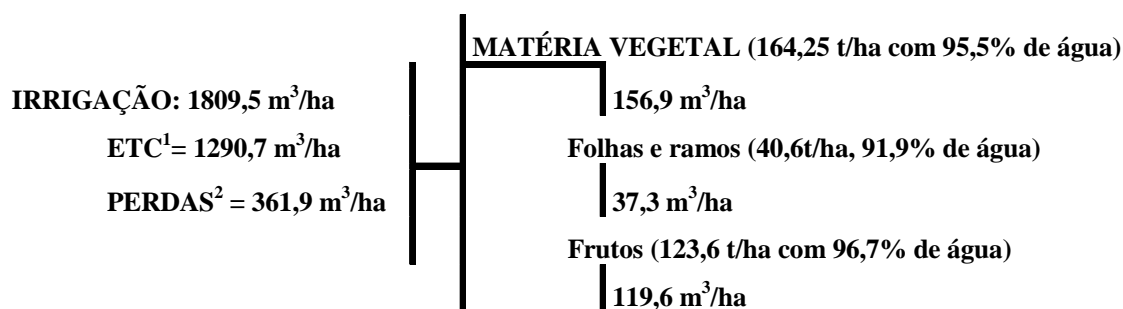
<sup>a</sup>Número de dias desde o transplante até a última colheita.

<sup>b</sup>ddt: dias depois do transplante.

<sup>c</sup>kg de produto comercial produzido por m<sup>3</sup> de água fornecida

Este fato indica que, por um lado, as perdas devidas ao incorreto manejo do sistema foram notavelmente reduzidas e, por outro, otimizou-se o manejo cultural, obtêndo-se rendimentos mais altos no segundo e terceiros ciclos. Porém, estima-se que ainda houve perdas de água próximas ao 20 % nos dois últimos ciclos, impôndo-se a necessidade de melhorar o manejo do sistema para garantir um mais alto rendimento no uso d'água e dos fertilizantes.

### FLUXOS DE ÁGUA DA CULTURA DO PEPINO EM NFT EM CICLO DE PRIMAVERA



<sup>1</sup> ETC: evapotranspiração da cultura.

<sup>2</sup> As perdas do sistema foram estimadas em torno ao 20%.

As plantas necessitam uma considerável quantidade de água para produzir sua biomassa; normalmente, desde várias centenas até 2000 g de água são necessárias para produzir uma grama de matéria seca (Hsiao, 1993). Neste aspecto, também nota-se como no ciclo de primavera a resposta

da cultura do pepino foi notavelmente superior à do ciclo de inverno: 246,5 g de água/ g de matéria seca, contra 568,0 g de água no ciclo de inverno.

A seguir, são descritos os fluxos de água para a cultura do pepino no ensaio realizado na primavera:

A técnica da enxertia não produziu um aumento notável na produção de pepino do tipo longo em NFT. No ensaio do inverno, as médias de rendimento obtidas foram de 13,0 kg/m<sup>2</sup> e 12,7 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente, para as variedades enxertadas e não enxertadas. Acredita-se que a técnica da enxertia apresenta resultados mais prometedores em condições de cultivos em solos ou substratos contaminados por patógenos.

## 4 Problemas a resolver no sistema

### 4.1 Problemas na sementeira/ viveiro

Os problemas na sementeira/ viveiro diferenciam-se em problemas de ordem estrutural e de manejo. Em relação aos primeiros, no momento de projetar e construir as balsas, deve-se considerar que a inclinação do solo deve ser realizada com precisão para manter a uniformidade de distribuição da solução nutritiva, evitando-se a formação de poças ou a falta de água em algumas partes da balsa, e por outro lado, garantindo a altura adequada da lâmina de água. A eficiência da sementeira/ viveiro melhoraria fazendo-se no solo canaizinhos pequenos em forma de espinha de peixe (fig. 3).

Em relação ao manejo, deve-se adequar a frequência de irrigações para evitar que as raízes se sequem, com uma altíssima frequência no verão para, desta maneira, também diminuir as temperaturas que atinge o piso de concreto. O emprego de um sistema eficiente de nebulização, colocado perto do piso, diminuiria este problema das altas temperaturas. Também, deve-se adequar a densidade de plântulas à época do ano (disponibilidade de luz) e ao estágio de desenvolvimento que se espera obter no momento do transplante.

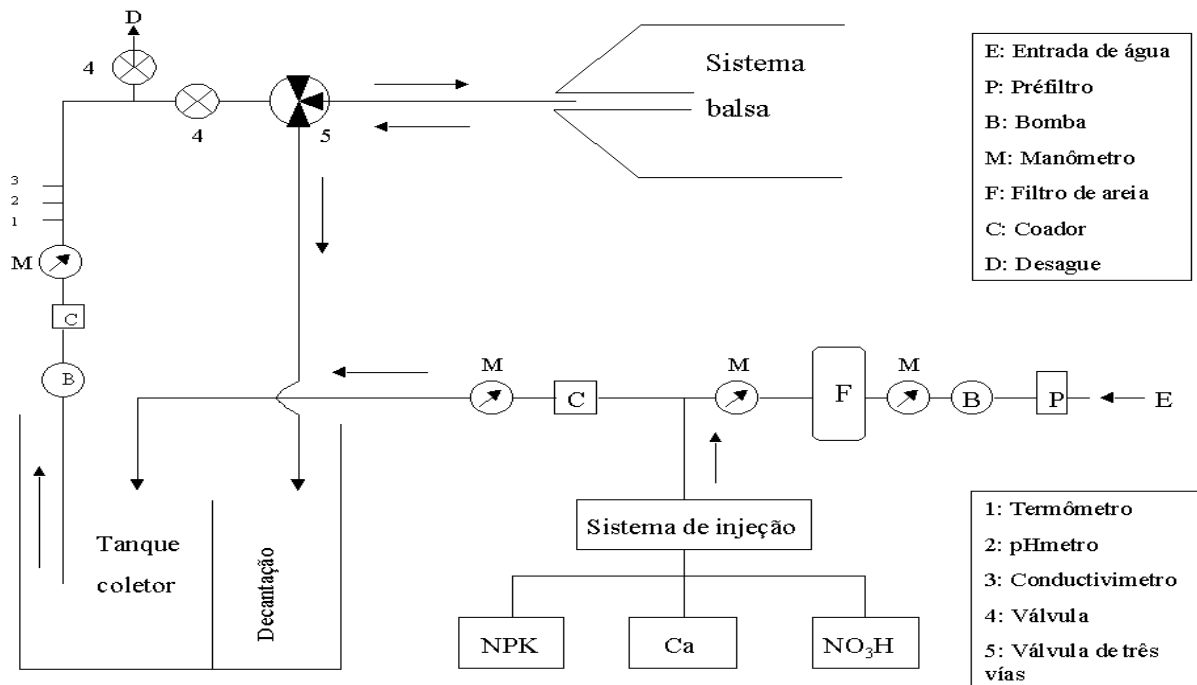


FIGURA 1: Esquema do sistema de fertirrigação para a sementeira/viveiro

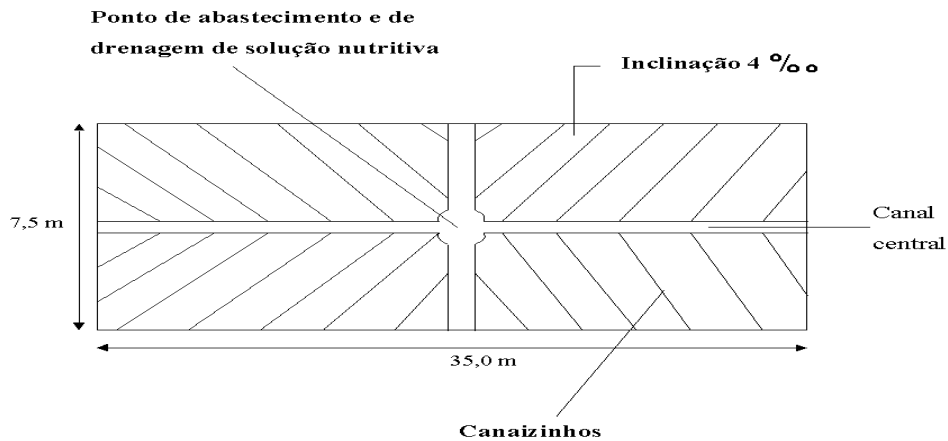


FIGURA 3: Planta de uma das balsas da sementeira/viveiro

## 4.2 Problemas no sistema NFT

Acredita-se que os problemas básicos apresentados no NFT, podem ser resolvidos através de um maior grau de conhecimento sobre o manejo do sistema e o manejo das culturas com esta técnica.

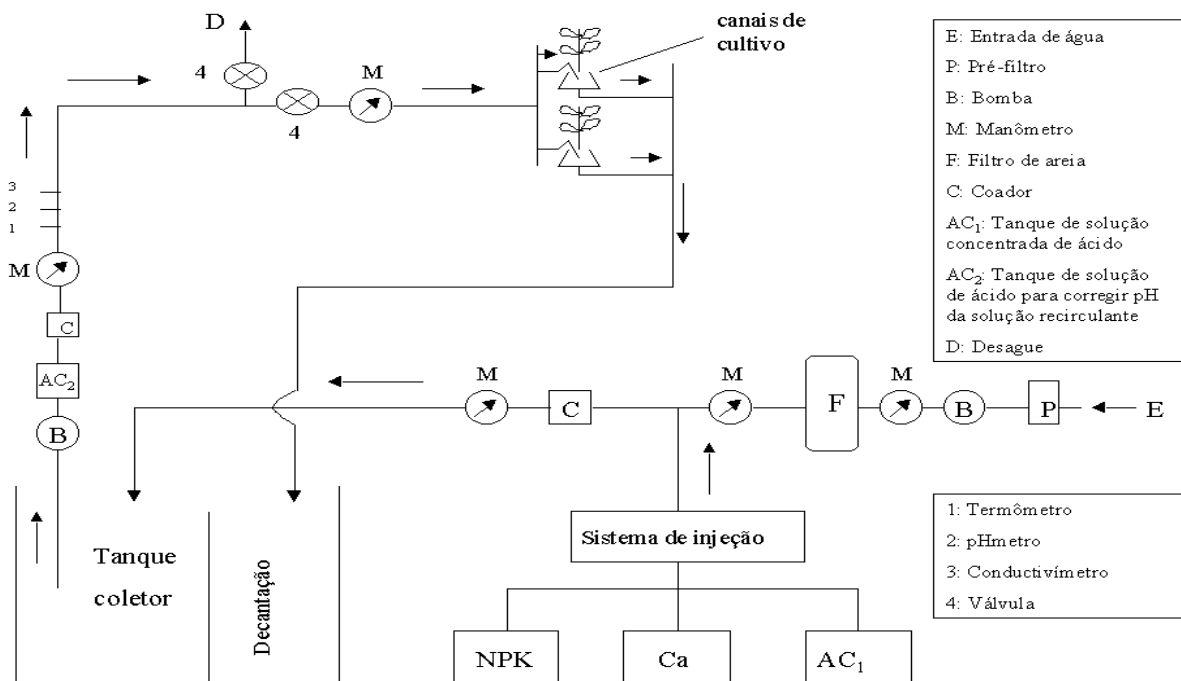


FIGURA 2: Esquema do sistema NFT

No manejo do sistema, deve-se considerar a inclinação correta dos canais, a altura da lâmina de solução e a frequência de funcionamento e parada do sistema para os diferentes estádios fenológicos e condições climáticas da cultura. Além disso, deve-se enfatizar de maneira especial a resolução dos problemas que causam as elevadas temperaturas da solução nutritiva nos meses de verão e a falta de oxigênio que acarreta esta situação. Durante o mês de agosto de 1998, foram medidas temperaturas da solução recirculante superiores a 35 °C.

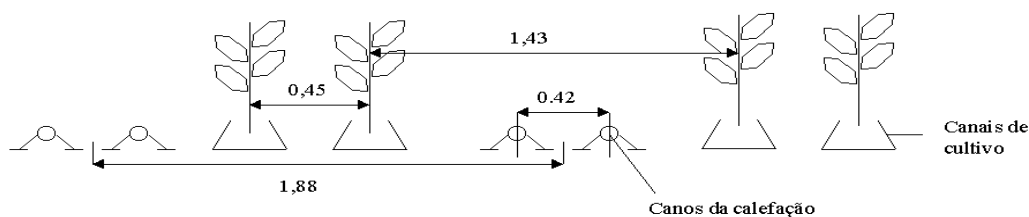


Figura 4a: Tomate

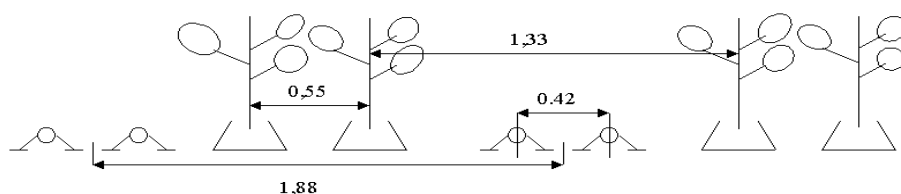


Figura 4b: Pepino

FIGURA 4: Arranjo das culturas do tomate (a) e do pepino tipo longo (b) em NFT (medidas em metros)

Em relação ao manejo cultural (condução e poda), deve-se considerar o arranjo de plantas, que será em função do ciclo de cultivo e do grau de mecanização. Acredita-se que para a cultura do tomate de ciclo longo, deve-se reduzir de 0,55 m a 0,45 m a distância entre os dois canais que formam as linhas duplas pareadas e aumentar a largura do caminho para 1,43 m, facilitando o rebaixamento do caule. A distância atualmente adotada parece ser adequada para a cultura do pepino (figura 4). Adicionalmente, a condução da planta no sistema NFT deve otimizar: a) a radiação interceptada pela cultura (ciclos de outono-inverno-primavera) através da adequação do arranjo de plantas, da densidade inicial e do número de ramos por planta (objetivando maior produção e defesa contra as altas temperaturas); b) a duração do ciclo de cultivo (introduzindo técnicas de rebaixamento e/o enraizamento do caule na cultura do pepino).

### Agradecimentos

Agradecemos à Empresa Dunia Export S.A. a colaboração prestada e o fornecimento da infraestrutura e da mão-de-obra necessárias para realizar este programa de pesquisa.

### 5 Referências bibliográficas

- Benoit C. y Ceustermans N. 1995. Growing cucumber on ecologically sound substrates. *Acta Hort.*, 396: 55-66.
- Burrage S.W. 1992. Nutrient Film Technique in protected cultivation. *Acta Hort.*, 323:23-38.
- Cooper A.J. 1973. Rapid crop turn-round is possible with experimental nutrient film technique. *Grower*, 79: 1048-1052.
- Cooper A. J. 1979. *The ABC of NFT*. Grower Books (Edit.), London. 181 pp.
- Gericke W.F. 1929. Aquaculture: A means of crop-production. *Am. J. Bot.*, 16: 862:868.
- Gericke W.F. 1937. Hydroponics-crop production in liquid culture media. *Science*, 85: 177.
- Hanger B.C. 1982. Rockwool in horticulture – a review. *Austr. Hort.*, 80 (5): 7-16.
- Schwarz M. 1995. *Soilless culture management*. Springer-Verlag, New York Berlin Heidelberg (Ed.). 197pp.
- Suzuki Y., Shinohara Y., Shibuya M., Ikeda H. 1984. Recent development of hydroponics in Japan. *Proceedings 6<sup>th</sup> Int. Congr. Soilless Culture*: 661-672. ISOSC, Wageningen.
- Woodward J. T. 1699. Thoughts and experiments on vegetation. *Phil. Trans. Royal Soc.*, 21: 193-227.





# PROGRAMACIÓN DEL FERTI-RIEGO<sup>©</sup>

José López Gálvez

Coordinador Red XIX.A CYTED

[jlgalvez@ual.es](mailto:jlgalvez@ual.es)

Miguel Guzmán

Dpto. Producción Vegetal Universidad de Almería

[mguzman@ual.es](mailto:mguzman@ual.es)

## 1 Técnicas de fertilización

Los programas para reponer al suelo los elementos nutritivos extraídos, por el cultivo o lixiviados con el agua de riego y/o lluvias, utilizando fertilizantes químicos, empieza a realizarse hace unos 100 años. Con anterioridad, lo usual, era aportar periódicamente materia orgánica, establecer rotaciones de cultivo y prácticas de ocupación del suelo (año y vez, al tercio, etc.), tratando de mantener un buen grado de fertilidad para su posterior siembra. La irrupción de los fertilizantes químicos hace que las técnicas citadas vayan cayendo en desuso, intensificándose la ocupación del suelo y disminuyendo o anulando la aportación de materia orgánica. Esta modalidad de fertilización de los cultivos provoca la alteración de la estructura del suelo, dificultando el aprovechamiento de los fertilizantes minerales, dado que la función de la materia orgánica es, además de suministrar nutrientes, mantener la estructura del suelo. Por esta causa los suelos pierden su potencial productivo y los sustratos de cultivo se convierten en una solución para solventar la problemática creada.

Tabla 1. Contenido de elementos (%) en órganos aéreos de judía (cosecha: 44.700 kg/ha) y tomate (cosecha: 170.000 kg/ha).

ELEMENTOS	JUDÍA STRIKE	TOMATE DANIELA
AGUA	87,6	91,1
MATERIA SECA	12,4	8,9
C, H y O	90,0	90,0
NITRÓGENO	2,96	2,09
FÓSFORO	0,35	0,54
POTASIO	3,55	3,70
CALCIO	1,32	1,30
MAGNESIO	0,60	0,55
MICROELEMENTOS	0,82	1,22

La programación de la fertilización depende, en gran medida, de la técnica de cultivo que se esté utilizando. Las plantas necesitan una serie de elementos esenciales para su desarrollo, de los que seis son requeridos en cantidades relativamente grandes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, y azufre y, se denominan macro-elementos y otros como: hierro, manganeso, cobre, cinc,

boro, molibdeno y cloro, se requieren en cantidades muy pequeñas y se les llama micro-elementos (tabla 1). En los suelos están presentes cantidades suficientes de estos elementos, pero a veces las plantas no pueden disponer de ellos, ya que no se encuentran en formas asimilables. Cuando empleamos sustrato, muy inertes, o técnicas de cultivo en disolución hay que aportar todos los nutrientes que requiere el cultivo.

Un programa de fertilización debe considerar las siguientes variables:

- ✓ Especie y variedad de planta.
- ✓ Estado fenológico.
- ✓ Clima.
- ✓ Medio de cultivo
- ✓ Sistema de riego.
- ✓ Contenido en nutrientes del suelo o sustrato.

La aportación de iones por el agua de riego es otro factor a considerar. Como es sabido, el uso de aguas salinas afecta al potencial hídrico en la planta, al disminuir el potencial osmótico, disminuyendo la transpiración. También las altas concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , presentes en algunas aguas, repercuten en la absorción de potasio y nitrógeno, además del efecto tóxico específico de esos iones.

La incorporación de fertilizantes al agua de riego es un procedimiento generalizado. El ferti-riego se empezó a utilizar con el riego de inundación, por procedimientos manuales, y una forma de hacerlo era añadir el abono en la misma toma del agua de riego. La generalización de la técnica tuvo lugar con la aparición de los sistemas de riego fijos.

### **1.1 Fertilización de fondo.**

Los suelos pueden conseguir un adecuado mantenimiento de la fertilidad con aportaciones periódicas de materia orgánica<sup>1</sup>. La programación de la fertilización mineral se realiza incorporando como abonado de fondo, previo a la siembra o transplante, el fósforo y el potasio, así como parte del nitrógeno.

El nitrógeno, cuando se aporta de fondo, se hace en forma de ión  $\text{NH}_4^+$ , que es retenido por el complejo de cambio. El nitrógeno, cuando se aporta en forma de nitrato, se mantiene en la disolución del suelo y no es retenido por los coloides. Por esta razón, desciende arrastrado por el agua y puede perderse por lixiviación o sufrir el proceso inverso, concentrándose en la superficie por ascenso capilar en periodos secos, quedando, en ambos casos, fuera del alcance de las raíces<sup>2</sup>.

El fósforo y el potasio aportados de fondo no presentan la problemática del nitrógeno. Ambos elementos son poco móviles, ya que los fosfatos son fuertemente adsorbidos por el suelo, o precipitan formando sales de muy baja solubilidad, dificultando su movilidad, mientras que el catión potasio puede ser retenido temporalmente por determinadas arcillas o por el complejo de cambio.

### **1.2 Fertilización de cobertera**

La programación de la fertilización utilizando esta técnica se realiza teniendo presente que los fertilizantes utilizados en ferti-riego, para la misma riqueza, son más caros. A este respecto serán consideraciones de índole técnico-económica las que decidan qué fertilizantes y en qué cantidades se utilizarán de fondo y de

---

<sup>1</sup> Una finca con cultivo de tomate, durante más de 50 años, sobre suelo enarenado ha mantenido un buen grado de fertilidad con la práctica del retranqueo.

<sup>2</sup> En el caso del enarenado la ascensión de sales por capilaridad casi no se produce por el efecto de acolchado de la arena que reduce la evaporación y por la ruptura de la capilaridad debida a la capa de estiércol.

---

cobertera (ver capítulo sobre fertilizantes). Lo ideal sería aportar de fondo todo el fósforo, el potasio y una parte del nitrógeno, aplicando el resto del nitrógeno en ferti-riego.

El mercado dispone de fertilizantes llamados de lenta liberación que, además de aportar nitrógeno, fósforo y potasio, en cantidades variables, aportan otros elementos como calcio y azufre. Suelen venir recubiertos de una resina orgánica, termo o biodegradable y suelen tener una vida de seis meses. El uso de esta técnica de fertilización podría ser muy adecuado, pero exige conocer los elementos asimilables en suelo, con el fin de cubrir las necesidades del cultivo en las primeras fases de desarrollo del cultivo.

La fertilización de los cultivos en sustrato requiere del aporte de todos los elementos, que necesita la planta para su normal desarrollo, en el caso de sustratos inertes, o de buena parte de los nutrientes. Las disoluciones nutritivas preparadas a este fin tienen que adecuarse en su composición a las necesidades de la planta en cada momento. La necesidad de contar con fertilizantes muy solubles es evidente, y todas las disoluciones deben llevar los macro y macro-nutrientes que precisen los cultivos (ver capítulo sobre fertilizantes). Los macro-nutrientes en forma de nitrato cálcico, nitrato potásico, sulfato amónico, nitrato amónico, sulfato potásico, fosfato potásico, sulfato magnésico, y algunos micro-nutrientes, como boro y molibdeno, que se aportan como sales. Los restantes, como hierro, cinc, manganeso y cobre, se aportan en forma de quelatos. Es evidente que no existe una disolución universal que se pueda aplicar a todas las especies, ya que cada una tiene unos requerimientos concretos.

Sabido es que buena parte de las especies tienen su óptimo desarrollo en medio neutro o ligeramente ácido ( $pH$  5 a 7). Por esta razón, otro aspecto a tener presente es el  $pH$  de la disolución que, además, afecta a la solubilidad y forma de los iones, lo que influye en su asimilación. Así, hierro, manganeso, cinc y cobre, a  $pH$  básico, precipitan formando hidróxidos que no están disponibles para la planta. El fósforo, dependiendo de la acidez del medio, se puede encontrar en tres formas diferentes: 1)  $PO_4H_2^-$ , forma predominante cuando el medio es ácido, que es muy asimilable por la planta; 2)  $PO_4H^-$  que predomina en medio básico; y 3)  $PO_4^{3-}$  con  $pH > 9$ . El uso del fósforo es máximo a  $pH$  entre 6,5 y 7. Para disminuir el  $pH$  de la disolución se adiciona un ácido, siendo el más utilizado el ácido nítrico que también aporta nitrógeno.

### 1.3 Programación de ferti-riego

Una de las ventajas del ferti-riego es la posibilidad de aportar los elementos minerales y el agua a la planta en la cantidad, relación y momento en que esta los demanda, lo que depende del estado fenológico, de su intensidad de desarrollo y de la producción esperada. Pero aún no se han desarrollado programas de ferti-riego que permitan satisfacer las demandas del cultivo, controlando los aportes de elementos de manera independiente entre ellos y del volumen de agua aportada. Quizás la causa de lo anterior hay que buscarla en la adaptabilidad de las plantas a diferentes cantidades, equilibrios y concentraciones de elementos nutritivos en su ambiente radical.

Al analizar la absorción mineral y el consumo de agua, se aprecia que ambos procesos aparecen estrechamente vinculados, lo que no quiere decir que no existan diferencias acusadas entre ellos. Bajo condiciones de estrés, la absorción de elementos minerales se muestra claramente desvinculada del consumo hídrico, lo que sugiere que ambos procesos no están influenciados con la misma intensidad por las condiciones ambientales. Para consumos hídricos relativamente bajos ( $< 12 \text{ L} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$ ) existe una relación lineal clara entre el consumo de agua y de macroelementos. Sin embargo, para consumos elevados ( $> 12 \text{ L} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$ ), la absorción de elementos minerales disminuye considerablemente (excepto para fósforo), indicando que el consumo de elementos en estas condiciones está más afectado por otros factores que por el consumo de agua.

La demanda de elementos nutritivos por parte del cultivo varía en los diferentes estadios fenológicos. Actualmente se emplean básicamente dos métodos para establecer las necesidades de abonado en función de las extracciones del cultivo, sobre las que existe una amplia y variada bibliografía, que se basan en una disolución nutritiva “ideal” a la que se ajustan los aportes previo análisis de agua. Este método es el que se emplea en cultivos en sustratos bastante inertes y en hidropónicos. Para poder llevarlo a cabo en suelo natural o artificial, se requiere la colocación de sondas de succión para poder determinar la composición de la disolución del suelo mediante análisis de macro y micronutrientes,  $CE$  y  $pH$ . Por cualquiera de estos métodos pueden calcularse las necesidades de la planta en diferentes tiempos cronológicos o fisiológicos.

La preparación de las disoluciones requiere conocer aspectos que a continuación se comentan. En cuanto a la nutrición, aunque el nitrógeno es fundamental en los procesos de crecimiento vegetativo y el K en los de crecimiento y maduración de los frutos, cabe destacar la importancia de la relación N/K a lo largo de todo el ciclo de cultivo. Se frenan los procesos de crecimiento, cuando esta relación alcanza valores muy bajos en la disolución de la rizosfera. También se produce reducción en el rendimiento de los frutos de tomate por niveles elevados de K y bajos de N, o por una disminución en el consumo de Ca y/o Mg. Los niveles bajos de K están relacionados con problemas en la maduración (decoloración y ahuecado) de frutos. El P juega un papel relevante en las etapas de enrizamiento y floración, ya que es determinante sobre la formación de raíces y sobre el tamaño de las flores. En ocasiones se abusa de él, buscando un acortamiento de entrenudos en las épocas tempranas en las que la planta tiende a ahilarse. Durante el invierno hay que aumentar el aporte de este elemento, así como de magnesio, para evitar fuertes carencias por enfriamiento del suelo. El Ca es otro macro-elemento fundamental en la nutrición de las especies hortícolas de fruto tomate para evitar la necrosis apical (*blossom-end rot*). Es conocido que los factores que afectan al ritmo de transpiración afectan de forma notable a la disponibilidad de Ca en los tejidos distales de la raíz y de los órganos en crecimiento. Entre los micro-elementos de mayor importancia se encuentra el hierro, que juega un papel primordial en la coloración de los frutos y, en menor medida en cuanto a su empleo, se sitúan manganeso, zinc, boro y molibdeno.

Las fluctuaciones diarias en la absorción hídrica y mineral de las especies hortícolas adquiere una importancia capital en los sistemas de ferti-riego con riegos de alta frecuencia, ya que la proporción de agua y nutrientes consumidos en diferentes condiciones ambientales puede afectar de manera significativa a los objetivos del ferti-riego. A efectos prácticos, este comportamiento plantea una serie de interrogantes sobre la aplicación constante y simultánea de agua y elementos minerales, cuando el agua que los transporta es absorbida en distinta proporción a la aportada

La conductividad eléctrica expresa de forma indirecta la concentración total de sales presentes en la disolución en la rizosfera. A mayores concentraciones salinas en esta disolución, la absorción radical debe vencer potenciales osmóticos más elevados para realizarse adecuadamente. Si la planta no es capaz de vencer estos potenciales, es incapaz de absorber agua, con lo que se presentan situaciones de marchitamiento temporal o permanente. Existen ecuaciones para estimar los valores de potencial osmótico de una disolución a partir de su  $CE$  ( $dS\ m^{-1}$ ).

$$PO(kPa) = (-42.CE) - (0,16.CE^2) \quad (i)$$

$$PO(atm) = (-CE + 0,36) \quad (i)$$

La salinidad tiene un gran efecto en las relaciones hídricas de las plantas. Un estrés osmótico reduce tanto el consumo de agua como el de nutrientes, aunque su efecto es más acusado sobre estos últimos, como lo manifiesta el hecho del aumento de  $CE$  de las disoluciones nutritivas en los cultivos sobre sustrato. El efecto negativo de la  $CE$  de la disolución en la rizosfera (tanto en pasta

saturada de suelo como en disolución nutritiva de sustratos), o del propio agua de riego, sobre la producción esperada, es bien conocido. Este efecto ha sido tabulado por diferentes autores, que han calculado el rendimiento esperado para las diferentes especies. Se han descrito efectos negativos de la *CE* sobre el área foliar, la transpiración y el crecimiento de la planta, que provocan notables descensos en el consumo de agua. Un aspecto positivo asociado con el incremento de la salinidad es el aumento de algunos parámetros cualitativos de la producción asociados con la proporción de peso seco y/o con su contenido en azúcares o proteínas.

La programación del ferti-riego se realiza en la actualidad con unas condiciones de *pH* y *CE* fijadas, esta última en función de la demanda evapotranspiratoria del cultivo, de manera que la disolución es menos concentrada a medida que los requerimientos de agua por el cultivo sean mayores. El estado fenológico del cultivo también se tiene en cuenta para preparar la disolución con relaciones adecuadas entre los elementos.

## 2 Disoluciones de ferti-riego

### 2.1 Preparación de las disoluciones

La preparación de la disolución de nutrientes exige conocer la composición del agua de riego y la compatibilidad de los diferentes fertilizantes. El agua de riego lleva sales en disolución, siendo necesario conocer la concentración de las mismas y las posibles interacciones (ver tabla 2). Es frecuente que  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  estén en concentraciones altas, con el consiguiente problema para disolver fosfatos y sulfatos, si no se ha acidificado el medio. Los iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  suelen encontrarse en cantidades suficientes para cubrir las necesidades de los cultivos. Otro aspecto importante para corregir el *pH* es el contenido de carbonatos y bicarbonatos.

Normalmente, las disoluciones que se emplean en ferti-riego, tanto para cultivo en suelo como en sustrato, se preparan concentradas, para diluirlas posteriormente con el agua de riego. Es frecuente que sean dos órdenes de magnitud más concentradas que la aplicada al cultivo. Por tanto, en estas disoluciones no se deben mezclar fosfatos y ciertos sulfatos con fertilizantes que contengan calcio, o en medio alcalino fertilizantes que contengan magnesio.

### 2.2 Disoluciones madres

La disolución ideal es aquella que combina las sales disueltas en la proporción que induce un mejor desarrollo para el cultivo. Las disoluciones madres se preparan empleando, al menos, dos depósitos. En uno de ellos se aporta:

- ✓ Agua.
- ✓ Ácido nítrico, para corregir el *pH*.
- ✓ Nitrato cálcico.
- ✓ Nitrato magnésico.
- ✓ Quelatos de hierro.

Este recipiente puede contener todo o parte del potasio, bajo forma de nitrato potásico. En el otro depósito se aportará:

- ✓ Agua.
- ✓ Ácido nítrico, para corregir *pH* y efecto alcalinizante de los fosfatos.
- ✓ Fosfato.

Este recipiente puede contener todo o parte del nitrógeno, del potasio y del magnesio, pero bajo formas de sulfato, nitrato y fosfato. El calcio no debe nunca aportarse en este recipiente porque precipitaría, formando sulfato cálcico y fosfato cálcico. Aquí se pueden poner los micro-nutrientes,

pero no los quelatos de hierro, que deben aportarse en el otro recipiente. A continuación se presentan (en las tablas 3 y 4) disoluciones nutritivas utilizadas en Almería (España). La disolución se preparó partiendo de soluciones madres de 100 L que se diluían al 1% con el agua de riego. Ésta se dispuso en dos depósitos con el fin de evitar interacciones.

Tabla 3. Disolución para un cultivo de tomate regado con agua de conductividad eléctrica de 0,5 dS/m.

Depósito 1		Depósito 2	
(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca	80,0 kg/m <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> K <sub>2</sub>	25,0 kg/m <sup>3</sup>
NO <sub>3</sub> K	50,0 kg/m <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> Mg.7H <sub>2</sub> O	10,0 kg/m <sup>3</sup>
Micro-elementos	2,5 kg/m <sup>3</sup>	PO <sub>4</sub> H <sub>3</sub> (70%)	15,0 kg/m <sup>3</sup>

Tabla 4. Disolución para un cultivo de tomate regado con agua de conductividad eléctrica de 3,0 dS/m.

Depósito 1		Depósito 2	
(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca	90,0 kg/m <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> K <sub>2</sub>	40,0 kg/m <sup>3</sup>
NO <sub>3</sub> K	2,0 kg/m <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> Mg.7H <sub>2</sub> O	10,0 kg/m <sup>3</sup>
Microelementos	2,5 kg/m <sup>3</sup>	PO <sub>4</sub> H <sub>3</sub> (70%)	15,0 kg/m <sup>3</sup>

### 2.2.1 Disoluciones ideales para algunos cultivos

La tabla 6 aproxima las proporciones de diferentes elementos para constituir una disolución ideal para cultivos de tomate, pepino, pimiento, berenjena y lechuga. El pH se sitúa entre 5,0 y 6,0.

Tabla 5. Disoluciones ideales para diferentes cultivos.

	Tomate	Pepino	Pimiento	Berenjena	Lechuga
CE	2,60	2,00	2,00	2,00	2,30
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	16,00	16,00	15,50	15,50	19,00
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1,50	1,25	1,25	1,25	2,00
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4,40	1,37	1,75	1,50	1,12
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,20	1,25	1,25	1,50	1,20
K <sup>+</sup>	9,50	8,00	6,50	6,75	11,00
Ca <sup>2+</sup>	5,40	4,00	4,75	3,25	4,50
Mg <sup>2+</sup>	2,40	1,37	1,50	2,50	1,00
Fe	15,00	15,00	15,00	15,00	40,00
Mn	10,00	10,00	10,00	10,00	5,00
Zn	5,00	5,00	5,00	5,00	4,00
B	30,00	25,00	30,00	30,00	30,00
Cu	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Mo	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

La CE está en dS/m los macro-elementos en mmol/l y los micro-elementos en µmol/l.

### 3 Cálculo de soluciones de ferti-riego

1. Disponer de una solución idealizada
  - a. Conocer las necesidades hídricas del cultivo
  - b. Conocer las necesidades nutritivas del cultivo
  - c. Programar temporalmente la fertirrigación
2. Disponer de información del sistema de cultivo
  - a. Conocer las propiedades hídricas del medio radical
  - b. Conocer el contenido elemental del medio radical
  - c. Estimar los aportes e interacciones del sistema
3. Calcular el aporte previsto de iones por el medio
  - a. Conocer los iones que aporta el agua (análisis fiable)
  - b. Conocer los iones que aporta el medio (extracto)
4. Calcular los aportes necesarios de fertilizantes
  - a. Conocer composición molar de fertilizantes (disponibles)
5. Ajuste iónico de la solución de fertirriego
  - a. Calcular necesidades de neutralización (pH 5.5)
    - i. Elegir el tipo de ácido (o base) en función de la CE deseada
  - b. Calcular las necesidades de macroelementos primarios
    - i. Ajustar el ion menos necesario ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  o  $\text{NH}_4^+$ )
    - ii. Ajustar el ion menos disponible ( $\text{Ca}^{2+}$ )
  - c. Completar el ajuste de macronutrientes secundarios
  - d. Calcular y distribuir las necesidades de fertilizantes en las soluciones madre
  - e. Calcular la disolución de micronutrientes
6. Preparar la solución de ferti-riego
  - a. Reconstrucción de la solución de ferti-riego
  - b. Cambios en la concentración de la solución de ferti-riego
  - c. Cambios en la composición de la solución de ferti-riego

Fig. 1. Esquema del proceso general de cálculos para preparar soluciones de ferti-riego

#### 3.1 Información previa

La preparación de las soluciones de fertirriego precisa del conocimiento previo de información referente a la solución idealizada que se pretende aplicar y al sistema de cultivo en que se aplica.

Además de disponer de una, o de varias, soluciones idealizadas, es necesario poseer información sobre las variaciones en las necesidades hídricas y nutritivas del cultivo, para efectuar una adecuada programación temporal del fertirriego que adapte las soluciones idealizadas a las necesidades y a las modificaciones en la demanda de estas.

La información referente al medio de cultivo, incluye información sobre las propiedades hídricas y el contenido en elementos nutritivos del medio. Las primeras nos proporcionan información sobre las dosis y frecuencias adecuadas de aplicación, mientras que las segundas son necesarias para conocer los aportes de fertilizantes necesarios para satisfacer las necesidades del cultivo y mantener la fertilidad del medio.

Debemos considerar que la aplicación de agua y fertilizantes a cualquier sistema de cultivo, ejerce sobre este un efecto que se manifiesta en interacciones entre sus partes. Así un aporte adecuado de agua modifica el comportamiento productivo del cultivo y este actúa sobre las propiedades y la fertilidad del medio.

La estimación de estas interacciones antes de la preparación de la solución de ferti-riego puede ser de gran ayuda a la hora de tomar decisiones posteriores sobre el la compartimentación, concentración y manejo de estas, de la misma forma que debemos hacerlo con las mezclas de fertilizantes.

En primer lugar debemos calcular el aporte previsto de iones por el medio, antes de proceder al cálculo de los que aportaremos externamente como fertilizantes.

Además de los fertilizantes, los iones presentes en el medio de cultivo pueden proceder del agua y del propio medio. Si los primeros deben considerarse como un aporte externo, al igual que los procedentes de los fertilizantes, los segundos son intrínsecos del medio, le confieren algunas de sus propiedades mas importantes y deben tenerse en cuenta, no solo como aportes, sino para mantener y conservar sus características iniciales, evitando en la medida de los posible, su degradación.

Los elemento necesarios aportados por los fertilizantes deben efectuarse, conociendo lo mas exactamente que sea posible su composición química. La composición molar de los fertilizante disponibles es imprescindible para conseguir una solución que se adapte a lo que deseamos aportar.

La disponibilidad de los elementos nutritivos en el medio de cultivo está muy directamente relacionada con el pH de este. Aunque no resulte factible, a corto plazo, la modificación del pH del medio, la utilización de estas técnicas, nos permite modificar el pH de la solución, para acercarlo a aquel en el que los elementos nutritivos se encuentran más fácilmente disponibles. La mayoría de la información bibliográfica que puede encontrarse sitúa estos valores entre 5,5 y 6,5.

La modificación del pH de las disoluciones de fertirriego nos obliga a utilizar ácidos o bases, no considerados como fertilizantes convencionales.

Lo más frecuente es la adición de ácidos para bajar el pH del agua de riego.

La adición de un ácido, o una base, al agua de riego, no solo modifica su composición iónica original, sino que también lo hace sobre su CE (en mayor o menor medida en función de la facilidad de disociación del ácido aportado y de los aniones que neutraliza). Recordar que la adición de ácido fosfórico hace descender ligeramente la CE inicial del agua de riego, mientras que el nítrico siempre la incrementa.

Como norma general, es conveniente realizar el ajuste iónico de la solución idealizada a los fertilizantes disponibles, comenzando, en cada paso, por el ión menos necesario. En este punto es necesario tener presente que en la práctica, la única fuente de Ca utilizable en fertirriego es el nitrato cálcico. Pro este motivo, un segundo criterio a tener en cuenta al realizar el ajuste iónico de la solución de fertirriego puede ser el de ajustar antes el ión menos disponible en los fertilizantes utilizados.

Seguidamente debe procederse a ajustar el resto de los iones mayoritarios (comenzando preferentemente por los macronutrientes primarios). En la mayoría de las ocasiones, este ajuste no es posible, bien por no disponer de sales fertilizantes que puedan utilizarse en fertirriego, bien porque el agua de riego no permita un ajuste iónico preciso de la disolución. En estos casos, debe conseguirse el ajuste mejor en los iones que aporten macronutrientes primarios (N, P, K), dejando con un ajuste incompleto los secundarios (S, Ca, Mg). Por último, debemos ajustar los micronutrientes.



### 3.2 Cálculo de los aportes de fertilizante

La información comercial de los fertilizantes se reduce a su riqueza, es decir su contenido en elementos nutritivos (o sus óxidos). No obstante, cuando preparamos una solución de fertirriego, estamos disolviendo las sales (o ácidos fertilizantes) en el agua de riego, por lo que resulta más apropiado conocer su composición química, lo más exactamente posible.

Fertilizante	mol	H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pm	P	pms
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (1.58)	1.0	-1.0		1.0			1.0						98.00	75	130.6
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.0			1.0				1.0					115.04	98.52	116.8
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.0			1.0					1.0				136.09	99.71	136.5
HNO <sub>3</sub> (1.36)	1.0	-1.0	1.0				1.0						63.02	59	106.8
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1.0		1.0					1.0					80.00	95.65	83.6
KNO <sub>3</sub>	1.0		1.0						1.0				101.1	98.84	102.3
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1.0		11.0					1.0		5.0			1080.5	99.61	1084.7
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1.0		2.0								1.0		256.33	99.9	256.6
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	1.0							2.0					60.07	98.61	60.9
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1.84)	1.0	-1.0			1.0		1.0						98.08	98	100.1
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.0				1.0			2.0					114.11	85.52	133.4
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.0				1.0				2.0				174.26	92.5	188.4
MgSO <sub>4</sub>	1.0				1.0						1.0		246.51	97.85	251.9
KCl	1.0					1.0			1.0						
NaCl	1.0					1.0						1.0			

Fig. 2 Composición y peso molar (pms) de algunos fertilizantes usados en ferti-riego

En el cuadro superior, se presenta la *composición molar* de los fertilizantes frecuentemente utilizados en fertirriego. Es interesante resaltar que la composición química del nitrato cálcico fertilizante, no se corresponde con la de esta sal pura, y cada mol de fertilizante presenta 11 moles de nitrato, 5 de calcio y 1 de amonio. La presencia de este mol de amonio es digna de tenerse en cuenta, sobre todo en los sistemas de cultivo que se realizan sobre sustratos que no presentan Capacidad de cambio.

Otro aspecto a considerar es el *peso molar del fertilizante* (pms). Por similitud con el peso molecular de una sal pura, este se aplica a la cantidad de fertilizante que es necesario pesar para obtener un mol de sal pura, esto es, considerando las impurezas y el agua constitucional o higroscópica. Siguiendo con el mismo ejemplo, el peso molecular del nitrato cálcico fertilizantes sería de 1080,5, mientras que su peso molar es de 1084,7.

Esta consideración es especialmente importante para los ácidos fertilizantes, en los que la riqueza suele venir expresada en ácido, no en elemento. También es interesante en estos ácidos conocer su densidad, ya que al preparar la solución de fertirriego será más fácil medir el volumen que pesar la cantidad.

### 3.3 Ajuste iónico de la solución de ferti-riego

Aportes																	
			Ideal	-	12.0	1.6	2.0	-	-	0.7	7.5	3.5	1.2	-	5.5	1467	
			Medio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Agua	-	-	-	-	1.0	-	-	-	-	-	-	1.0	7.5	180
Fertilizante	pms	CE	mg	mmol	12.0	1.6	2.0			0.7	7.5	3.5	1.2				
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (1.58)	130.6	-0.52x <sup>2</sup> +0.58x															
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	116.8	826															
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136.5	712															
HNO <sub>3</sub> (1.34)	106.8	-0.22x <sup>2</sup> +19x															
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	83.6	1436															
KNO <sub>3</sub>	102.3	1282															
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1084.7	1076															
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	256.6	831															
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1.84)	100.1	-1.85x <sup>2</sup> +20x															
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	133.4	1849															
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	188.4	1424															
MgSO <sub>4</sub>	251.9	666															
TOTAL																	
Diferencias																	
SM Deposito A																	
SM Deposito B																	
SM Deposito C																	
SM Deposito D																	

Fig. 2. Plantilla para calcular los aportes de fertilizantes en soluciones de ferti-riego

Comencemos con un ejemplo sencillo, en el que deseamos preparar la solución idealizada que se presenta en la primera fila. No se producen aportes por el medio y el agua de riego solo presenta cloruro sódico en su composición. Los aportes previstos coinciden exactamente con la solución idealizada, salvo para los cloruros de sodio presentes en el agua que no pueden ser eliminados.

En la columna de la derecha de los fertilizantes se presentan el peso molar de la sal. A su lado, la pendiente de incremento de la CE (en gramos por litro de agua destilada). Las dos siguientes columnas las utilizaremos para calcular el peso de fertilizante que nos aporta los milimoles deseados. En las siguientes columnas aparecen coloreados los iones que se encuentran en cada fertilizante. La última nos servirá para estimar el incremento de CE que va a provocar en la solución de fertirriego la cantidad de fertilizante calculada.

La solución de fertirriego va a almacenarse hasta su utilización en 4 depósitos (representados como Deposito A-D en las últimas filas de la plantilla) en forma concentrada o “soluciones madre”. Estas soluciones madre deberán ser adecuadamente inyectadas o diluidas en el agua de riego para obtener la solución idealizada. En la preparación de estas soluciones concentradas, es especialmente necesario conocer las incompatibilidades en las mezclas de fertilizantes y los límites de solubilidad de cada uno de ellos. Hay que tener en cuenta, además, que la adición de una sal a una disolución concentrada de otra, disminuye la solubilidad de ambas.

Al no presentarse bicarbonatos en el agua, esta no tiene capacidad tampón, y el pH va a descender, como consecuencia de la acidez de los fertilizantes empleados, por lo que no será necesaria su acidificación. Este aspecto será considerado al final de este capítulo.

Aportes																
			H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pH	CE	
			Ideal	-	12.0	1.6	2.0	-	-	0.7	7.5	3.5	1.2	-	5.5	1467
			Medio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua								1.0	-	-	-	-	-	1.0	7.5	180
Fertilizante	pms	CE	mg	mmol		12.0	1.6	2.0		-	0.7	7.5	3.5	1.2		
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (1.58)	130.6	-0.52x <sup>2</sup> +0.58x														
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	116.8	826														
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136.5	712														
HNO <sub>3</sub> (1.36)	106.8	-0.22x <sup>2</sup> +19x														
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	83.6	1436														
KNO <sub>3</sub>	102.3	1282														
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1084.7	1076	759.3	0.7		7.7					0.7		3.5		1	817
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	256.6	831														
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1.84)	100.1	-1.85x <sup>2</sup> +20x														
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	133.4	1849														
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	188.4	1424														
MgSO <sub>4</sub>	251.9	666														
<b>TOTAL</b>						<b>7.7</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>			<b>0.7</b>	<b>0.0</b>	<b>3.5</b>	<b>0.0</b>		
<b>Diferencias</b>						<b>-4.3</b>	<b>-1.6</b>	<b>-2.0</b>			<b>0</b>	<b>-7.5</b>	<b>0</b>	<b>-1.2</b>		
	F	g/L			H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pH
SM Deposito A	100	75.93	759.3	0.7		7.7					0.7		3.5		1	817
SM Deposito B	100															
SM Deposito C	100															
SM Deposito D	100															

Fig. 3. Ajuste de macronutrientes primarios (H<sub>4</sub>N<sup>+</sup> por ión menos necesario). Cálculo y distribución de fertilizantes en soluciones madre.

Siguiendo con el procedimiento propuesto en la metodología general, ajustaremos en primer lugar el ión menos necesario, en este caso el ión amonio. Aunque tenemos 4 posibles fuentes de amonio, el siguiente criterio propuesto nos recomienda aportarlo en la forma menos disponible, el nitrato cálcico. De no hacerlo así, al aplicar el Ca como nitrato cálcico, incrementaríamos la cantidad de amonio por encima de la idealizada.

Al aportar 0,7 mmoles de amonio como nitrato cálcico fertilizante, estamos aportando simultáneamente 3,5 (0,7x5) mmoles de Ca y 7,7 (0,7x11) mmoles de nitrato. En otras palabras, 0,7 mmoles del fertilizante nitrato cálcico nos aportan a la solución de fertirriego 0,7 de amonio, 3,5 de calcio y 7,7 de nitrato.

El peso molar de este fertilizante es de 1084,7 por lo que deberemos pesar 759,3 mg de fertilizante para obtener los 0,7 mmoles que necesitamos.

La pendiente de incremento de CE es de 1076  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}/\text{g}$ . El incremento teórico de la CE en la solución de fertirriego será de 817  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

Decidimos preparar soluciones madre 100 veces concentradas (que necesitarán ser diluidas 100 veces antes de su aplicación) y colocar el nitrato cálcico en el primer deposito (A).

Para obtener esta solución madre concentrada de nitrato cálcico debemos pesar 75,93 g por cada litro de capacidad del deposito, o 75,93  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

El incremento de CE estimado al diluir 100 veces el contenido de este deposito será de 0,8  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ .

Aunque el ión menos necesario en este momento sería el Mg, (ver fila “Diferencias” en la figura 3), todavía no hemos ajustado los macronutrientes primarios, y estos tienen preferencia ante los secundarios. Por este motivo abordamos ahora el aporte de los fosfatos (menos necesario entre los primarios).

Aportes																
			H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pH	CE	
			Ideal	-	12.0	1.6	2.0	-	-	0.7	7.5	3.5	1.2	-	5.5	1467
			Medio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua							1.0	-	-	-	-	-	1.0	7.5	180	
Fertilizante	pms	CE	mg	mmol	12.0	1.6	2.0		-	0.7	7.5	3.5	1.2			
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (1.58)	130.6	-0.52x <sup>2</sup> +0.58x														
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	116.8	826														
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136.5	712	218.4	1.6		1.6					1.6			2	156	
HNO <sub>3</sub> (1.34)	106.8	-0.22x <sup>2</sup> +19x														
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	83.6	1436														
KNO <sub>3</sub>	102.3	1282														
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1084.7	1076	759.3	0.7		7.7				0.7		3.5		1	817	
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	256.6	831														
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1.84)	100.1	-1.85x <sup>2</sup> +20x														
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	133.4	1849														
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	188.4	1424														
MgSO <sub>4</sub>	251.9	666														
<b>TOTAL</b>						7.7	1.6	0.0		0.7	1.6	3.5	0.0			
<b>Diferencias</b>						-4.3	0	-2.0		0	-5.9	0	-1.2			
	F	g/L			H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pH
SM Deposito A	100	75.93	759.3	0.7		7.7					0.7		3.5		1	817
SM Deposito B	100	21.84	218.4	1.6			1.6					1.6			2	156
SM Deposito C	100															
SM Deposito D	100															

Fig. 4. Ajuste de macronutrientes primarios (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, por ión menos necesario). Cálculo y distribución de fertilizantes en soluciones madre

Debemos aportar 1,6 mmoles de fosfato y disponemos de tres fuentes. El fosfato amónico no podemos utilizarlo puesto que ya hemos satisfecho las necesidades de amonio con el nitrato cálcico. La aplicación de ácido en este medio y con esta agua, presenta un riesgo elevado de hacer descender el pH por debajo de los límites de disponibilidad para algunos elementos, por lo que su utilización no es recomendable.

Aportaremos, por tanto, los fosfatos necesarios como fosfato monopotásico. Al aportar 1,6 mmoles de fosfatos, aportamos simultáneamente 1,6 mmoles de K, o lo que es lo mismo. 1,6 mmoles de fosfato monopotásico aportan 1,6 de cada uno de sus iones.

El peso molar del fertilizante es 136,5 por lo que necesitamos 218,4 mg para obtener 1,6 mmoles.

La pendiente de incremento de CE es de 712  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}/\text{g}$ . El incremento teórico de la CE en la solución de fertirriego será de 156  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

Para obtener la solución madre concentrada de fosfato monopotásico debemos pesar 21,84 g por cada litro de capacidad del deposito, o lo que es lo mismo 21,84  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , que ponemos en el segundo deposito (B). El motivo fundamental de esta decisión se basa en la tabla de incompatibilidades presentada en el capítulo dedicado a fertilizantes en este libro.

Siguiendo con el mismo criterio utilizado anteriormente deberemos terminar con el ajuste de los macronutrientes primarios (N,P,K). En este caso el menos necesario es el N (4,3 frente a 5,9 de K en la fila “diferencias de la fig. 4).

Los números que aparecen la columna correspondiente a los cloruros, solo se utilizan como referencia para visualizar el orden de intervención en el proceso de cálculos.

Aportes																
			H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pH	CE	
			Ideal	-	12.0	1.6	2.0	-	-	0.7	7.5	3.5	1.2	-	5.5	1467
			Medio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua							1.0	-	-	-	-	-	1.0	7.5	180	
Fertilizante	pms	CE	mg	mmol	12.0	1.6	2.0		-	0.7	7.5	3.5	1.2			
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (1.58)	130.6	-0.52x <sup>2</sup> +0.58x														
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	116.8	826														
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136.5	712	218.4	1.6		1.6					1.6			2	156	
KNO <sub>3</sub> (1.34)	106.8	-0.22x <sup>2</sup> +19x														
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	83.6	1436														
KNO <sub>3</sub>	102.3	1282	439.9	4.3		4.3					4.3			3	564	
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1084.7	1076	759.3	0.7		7.7				0.7		3.5		1	817	
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	256.6	831														
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1.84)	100.1	-1.85x <sup>2</sup> +20x														
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	133.4	1849														
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	188.4	1424	150.7	0.8			0.8				1.6			4	215	
MgSO <sub>4</sub>	251.9	666														
<b>TOTAL</b>						12.0	1.6	2.0		0.7	7.5	3.5	1.2		1953	
<b>Diferencias</b>						0	0	0		0	0	0	0			
	F	g/L			H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pH
SM Deposito A	100	75.93	759.3	0.7		7.7					0.7		3.5		1	817
SM Deposito B	100	21.84	218.4	1.6			1.6					1.6			2	156
SM Deposito C	100	30.23	302.3	1.2				1.2						1.2	3	201
SM Deposito D	100	43.9+15.1	+	+		4.3		0.8				5.9			4+5	779

Fig. 5. Ajuste de macronutrientes primarios (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, por ión menos necesario). Cálculo y distribución de fertilizantes en soluciones madre

El fertilizante más recomendable en este caso es el nitrato potásico, ya que al aportar 4,3 mmoles de nitrato, aportamos 4,3 mmoles de K.

El peso molar del fertilizante es de 102,3 g·mol<sup>-1</sup>, por lo que para aportar estos 4,3 mmoles necesitamos pesar (4,3x102.3) 439.9 mg de nitrato potásico.

El incremento teórico de CE que producen estos 0,4399 g de nitrato potásico es de (0,4399x1282) 564 μS·cm<sup>-1</sup>.

Decidimos adicionar este fertilizante en un depósito diferente (el D), que también contendrá una solución madre 100 veces concentrada, por lo que hemos de pesar 44 gr por litro o 44 kg·m<sup>-3</sup>.

Al diluir 100 veces esta solución madre, el incremento de CE que se producirá en el agua de riego, teóricamente es de 0,56 dS·m<sup>-1</sup>.

Aún nos restan por adicionar 1.6 mmoles de K que ajustaremos antes de completar los macronutrientes secundarios (S y Mg).

Puesto que ya hemos completado las cantidades necesarias de N y P, solo podremos utilizar como fuente para el K restante la forma sulfatada. Recordemos que en la composición molar del sulfato potásico, cada mol de sal aporta 1 de sulfato y 2 de potasio.

Para aportar 1,6 mmoles de K como sulfato, debemos aportar paralelamente 0,8 mmoles de sulfato. Es decir, 0,8 mmoles de sulfato potásico aportan 0,8 de sulfato y 1,6 de K.

Para suministrar esa cantidad debemos pesar (0,8x188,4) 150,7 mg de sulfato potásico fertilizante.

El incremento de CE que provoca la adición de 0,15 g de sulfato potásico fertilizante, en el agua destilada, es de 215 μS·cm<sup>-1</sup>.

Para contar con la mayor cantidad posible de K en un depósito, decidimos aportar el sulfato potásico al mismo depósito en el que pusimos los 44 g l<sup>-1</sup> de nitrato potásico. De esta forma en este depósito tendremos una solución 100 veces concentrada de dos fertilizantes nitrato y sulfato

potásico. Al diluir 100 veces esta solución madre, aportaremos al agua de riego 4,3 mmoles de nitratos, 0,8 de sulfatos y 5,9 de potasio.

Por otro lado, el incremento de conductividad teórico deberá ser la suma de los incrementos de cada uno de ellos por separado (obviando el efecto interactivo de la adición), es decir, de  $564 + 215 = 779 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  o aproximadamente  $0,78 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ .

Aunque no sería necesario, en este ejemplo vamos a utilizar los cuatro depósitos de que dispone la instalación, y reservaremos el depósito C para el fertilizante que nos queda por adicionar para completar los aportes de la solución idealizada.

En este caso nos falta por adicionar 1,2 mmoles de magnesio y 1,2 mmoles de sulfato. La composición molar del sulfato magnésico es 1:1.

Aportes																	pH	CE
			Ideal															
			Medio															
			Agua															
Fertilizante	pms	CE	mg	mmol	H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na			
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (1.58)	130.6	-0.52x <sup>2</sup> +0.58x																
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	116.8	826																
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136.5	712	218.4	1.6								1.6						156
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (1.36)	106.8	-0.22x <sup>2</sup> +19x																
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	83.6	1436																
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	102.3	1282	439.9	4.3								1.6						564
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1084.7	1076	759.3	0.7								0.7		3.5				817
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	256.6	831																
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1.84)	100.1	-1.85x <sup>2</sup> +20x																
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	133.4	1849																
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	188.4	1424	150.7	0.8								1.6						215
Mg SO <sub>4</sub>	251.9	666	302.3	1.2										1.2				201
<b>TOTAL</b>						12.0	1.6	2.0			0.7	7.5	3.5	1.2				1953
<b>Diferencias</b>						0	0	0			0	0	0	0				
	F	g/L			H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pH		
SM Deposito A	100	75.93	759.3	0.7		7.7					0.7		3.5		1			817
SM Deposito B	100	21.84	218.4	1.6			1.6					1.6			2			156
SM Deposito C	100	30.23	302.3	1.2				1.2						1.2	3			201
SM Deposito D	100	43.9+15.1	+	+		4.3		0.8				5.9			4+5			779

Fig. 6. Ajuste de macro nutrientes secundarios. Cálculo y distribución de fertilizantes en soluciones madre

1.2 mmoles de sulfato magnésico nos proporcionan 1,2 mmoles de sulfato y 1,2 mmoles de magnesio, con lo que ajustamos los aportes previstos en la solución idealizada.

Para conseguir estos 1,2 mmoles debemos pesar  $(1,2 \times 251,9) 302,3 \text{ mg}$  del fertilizante.

El incremento de CE teórico que produce esta adición será  $(0,3023 \times 666)$  de  $201 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

La solución madre 100 veces concentrada se prepara en C adicionando  $30,2 \text{ g l}^{-1}$  o  $\text{Kg m}^{-3}$ . Al diluir esta solución madre el incremento teórico de CE será de  $0,2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ .

Si el sistema de fertirriego no dispone de 4 depósitos de solución madre (lo que requiere 4 inyectores diferentes), las soluciones madre pueden prepararse como mínimo con 2 depósitos, para respetar las reglas de incompatibilidad de mezcla de fertilizantes. En este caso el nitrato cálcico no puede mezclarse con sulfatos ni fosfatos para evitar precipitaciones, con la consiguiente pérdida de fertilizantes y problemas de obturación. Una solución acertada puede ser poner el nitrato cálcico en un deposito y el resto de los fertilizantes en el otro. Sin embargo suele resultar más practico dividir el nitrato potásico entre ambos depósitos para conseguir soluciones que produzcan un incremento de CE lo más parecidos posible: El nitrato cálcico más  $12,5 \text{ gl}^{-1}$  de nitrato potásico en un depósito y

31,5 de nitrato potásico con el resto en otro, producen un incremento de CE de  $977 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  en ambos depósitos al diluir 100 veces las soluciones concentradas.

Una vez preparadas las soluciones madre en los 4 depósitos disponibles en nuestro cabezal, (Fig. 6), debemos proceder a inyectarlas en el agua de riego para conseguir la solución idealizada que pretendíamos aportar.

Puesto que cada uno de los depósitos contiene una parte, 100 veces concentrada, de esta disolución, para reconstruirla deberemos diluir al 1 %, cada uno de ellos, es decir deberemos aportar 10 ml por cada litro de agua de riego.

## Inyección y consignas (reconstrucción)

	fc	ml/L	% I	H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pH	CE
Agua								1.0						1.0	7.5	180
Deposito A	1	10	25		7.7					0.7		3.5				817
Deposito B	1	10	25			1.6					1.6					156
Deposito C	1	10	25				1.2						1.2			201
Deposito D	1	10	25		4.3		0.8				5.9					779
TOTAL	100	40	100	0	12.0	1.6	2.0	1.0	0	0.7	7.5	3.5	1.2	1.0	?	2133

$$\text{ml/L A} = 10(\text{meq/L}_{(\text{Ca})}/3.5)$$

$$\text{ml/L A} = 10(\text{meq/L}_{(\text{NH}_4)}/0.7)$$

$$\text{ml/L B} = 10(\text{meq/L}_{(\text{H}_2\text{PO}_4)}/1.6)$$

$$\text{ml/L C} = 10(\text{meq/L}_{(\text{Mg})}/1.2)$$

$$\text{ml/L D} = [10(\text{meq/L}_{(\text{NO}_3)}) - 7.7(\text{ml/L A})]/4.3$$

$$\text{ml/L D} = [10(\text{meq/L}_{(\text{K})}) - 1.6(\text{ml/L B})]/5.9$$

$$\text{ml/L D} = [10(\text{meq/L}_{(\text{SO}_4)}) - 1.2(\text{ml/L C})]/0.8$$

Guzmán, M. 2004 © RNM 151 PAI-UAL

11

Fig. 7. Reconstrucción de la solución de fertirriego a partir de la inyección de soluciones concentradas en agua de riego. Consignas de inyección

Aunque algunos autómatas de fertirriego admiten directamente como valor de consigna estos valores de inyección, lo más frecuente es que controlen la inyección en porcentajes para alcanzar una CE definida también como valor de consigna. En este caso, los porcentajes de inyección serán del 25% en cada depósito y la CE de consigna será la suma de los incrementos que produce cada uno de ellos, más la inicial del agua de riego. En la práctica, este valor teórico se ve modificado por la interacción de la adición conjunta de las diferentes sales con las que ya posee el agua de riego. Por este motivo, es aconsejable realizar una prueba en campo para estimar este factor de interacción, por el que multiplicaremos la CE teórica para obtener la consigna que fijaremos en el autómata.

La reconstrucción de las soluciones a partir de porcentajes (o de volúmenes de inyección) similares para todos los depósitos es una medida de seguridad aconsejable en todos los casos para detectar posibles anomalías en los sistemas de inyección, ya que los depósitos deben agotarse por igual.

## Inyección y consignas (concentración)

Variación en las necesidades hídricas:

Ideal= 1,3 L.m<sup>-2</sup>; Deseado= 1,0 L.m<sup>-2</sup>.

Factor de concentración=  $D/I = 1.0/1.3 = 0.77$

	fc	ml/L	%I	H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pH	CE
Agua								1.0						1.0	7.5	180
Deposito A	.77	7.7	25		5.9					0.6		2.7				629
Deposito B	.77	7.7	25			1.2					1.2					120
Deposito C	.77	7.7	25				0.9						0.9			155
Deposito D	.77	7.7	25		3.3		0.6				4.6					600
TOTAL	100	30.8	100	0	9.2	1.2	1.5	1.0		0.6	5.8	2.7	0.9	1.0		1684

Guzmán, M. 2004 © RNM 151 PAI-UAL

12

Fig. 8. Cambios en la concentración de la solución de fertirriego a partir de la inyección de soluciones concentradas en agua de riego. Consignas de inyección

Es bastante frecuente que, una vez fabricada la solución madre, las necesidades de fertirriego del cultivo se vean alteradas.

Estas modificaciones pueden afectar a la **concentración** (cantidad de agua respecto de la de elementos nutritivos necesarios) o a la **composición** de la solución de fertirriego (diferente relación de elementos o diferente equilibrio entre ellos).

Si, como consecuencia de diferentes condiciones climáticas, solo varían las necesidades hídricas del cultivo (sin que se modifiquen sus necesidades nutritivas) deberemos responder a estas nuevas necesidades modificando la concentración de la solución de fertirriego.

Asumimos que la solución idealizada se calculó para unas necesidades hídricas de 1,0 L.m<sup>-2</sup> y que estas son actualmente de 1,3 L.m<sup>-2</sup>. Esto quiere decir que necesitaremos diluir la solución nutritiva para responder a las mayores demandas evapotranspirativas, sin alterar los aportes nutritivos. Necesitamos modificar el factor de concentración por la razón entre la demanda teórica y la real (0,77).

Esta modificación en la concentración de la solución no modifica los porcentajes de inyección, pero si requiere modificar la consigna de CE en el autómata. Puesto que hemos admitido como lineal el incremento de CE para los intervalos de inyección entre 0 y 2 g.L<sup>-1</sup>, bastará con multiplicar los incrementos de CE de cada depósito por el mismo factor de concentración para estimar la consigna que debemos definir como nuevo objetivo.

Las variaciones en las necesidades nutritivas, se satisfacen frecuentemente con la definición de una nueva solución idealizada de fertirriego que se adapte a estas nuevas necesidades y suele coincidir con la preparación de nuevas soluciones madre.



Sin embargo existen circunstancias en las que es necesario responder a estas nuevas necesidades sin preparar una nueva solución madre. En estos casos es necesario modificar la composición de la solución de fertirriego, modificando los volúmenes o porcentajes de inyección. Esta posibilidad de modificación está íntimamente relacionada con la distribución de fertilizantes en las soluciones madre (nunca podremos modificar la composición de aquellos elementos cuyos fertilizantes se encuentren en el mismo depósito).

## Inyección y consignas (composición) 1

Variación en las necesidades nutritivas:

	fc	ml/L	%I	H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pH	CE
Deseada					1.6	0.8	0.5				0.5	5.0	1.6			156
Agua								1.0						1.0	7.5	180
Deposito A																
Deposito B	0.5	5				0.8					0.8					78
Deposito C																
Deposito D																
TOTAL		5	100	0		0.8		1.0			0.8			1.0		

$$fc B = \text{meq/L}_{(H_2PO_4)} \text{ Deseado} / \text{Ideal} = 0.8 / 1.6 = 0.5$$

$$\triangleright \text{ml/L B} = 10(\text{meq/L}_{(H_2PO_4)} / 1.6); (10 * 0.8) / 1.6 = 5 \text{ ml}$$

$$\text{ml/L B} = fc B * \text{ml reconstrucción Ideal}$$

Fig. 9. Cambios en la composición de la solución de fertirriego a partir de la inyección de soluciones concentradas en agua de riego. Consignas de inyección para fosfatos

Consideremos que las nuevas necesidades de nuestro cultivo son las que aparecen en la primera columna como nueva solución de fertirriego deseada. Las necesidades de fosfatos han pasados de 1,6 mmoles·L<sup>-1</sup> (en la solución idealizada) a 0,8 mmoles·L<sup>-1</sup>. Como los fosfatos se encuentran en el depósito B, el factor de concentración de este pasará de 1,0 a 0,5, es decir deberemos inyectar 5 ml·L<sup>-1</sup>, que nos aportarán además 0,8 mmoles·L<sup>-1</sup> de K.

La adición de estos, originarán un incremento de la CE de 78 μS·cm<sup>-1</sup>, en lugar de los 156 μS·cm<sup>-1</sup> originales.

Como las variaciones en la demanda afectan a más de un elemento, para definir el porcentaje de inyección y la consigna de CE en el autómata debemos esperar a conocer los nuevos aportes totales. Comenzaremos por ajustar estas necesidades antes de tomar otro tipo de decisiones.

## Inyección y consignas (composición)2

Variación en las necesidades nutritivas:

	fc	ml/L	%I	H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pH	CE
Deseado					14	0.8	2.8			1.1	0.5	3.3	1.8			1800
Agua								1.0						1.0	7.5	180
Deposito A																
Deposito B	0.5	5				0.8					0.8					78
Deposito C	1.5	15					1.8						1.8			301
Deposito D																
TOTAL		25	100	0		0.8		1.0			0.8		1.8	1.0		

$$\triangleright \text{ml/L B} = 10(\text{meq/L}_{(\text{H}_2\text{PO}_4)} / 1.6); (10 * 0.8) / 1.6 = 5 \text{ ml}$$

$$\text{fc C} = \text{meq/L}_{(\text{Mg})} \text{ Deseado} / \text{Ideal} = 1.8 / 1.2 = 1.5$$

$$\triangleright \text{ml/L C} = 10(\text{meq/L}_{(\text{Mg})} / 1.2); (10 * 1.8) / 1.2 = 15 \text{ ml}$$

Fig. 10. Cambios en la composición de la solución de fertirriego a partir de la inyección de soluciones concentradas en agua de riego. Consignas de inyección para Magnesio.

Las nuevas necesidades de magnesio son de 1,8 mmol·L<sup>-1</sup> en lugar de los 1,2 iniciales.

El factor de concentración en la inyección de cada depósito es la razón entre la nueva concentración deseada y la de la solución idealizada. Los elementos se encuentran disueltos, por lo que siempre encontraremos en el interior de cada depósito elementos en forma anionica y en forma cationica. Cuando un ión se encuentra presente en mas de un depósito, relegaremos su ajuste hasta los últimos pasos del proceso. También es aconsejable atender al ajuste de los elementos de cada depósito en función de su importancia en los procesos nutritivos y productivos del cultivo sobre el que se aplican.

El magnesio se encuentre en el depósito C, junto con parte de los sulfatos. Atenderemos en primer lugar a las necesidades de Mg, por lo que el factor de concentración para este depósito será de 1,5.

Necesitamos, por tanto, inyectar 15 ml·L<sup>-1</sup> del depósito C, que nos aportan los 1,8 mmol·L<sup>-1</sup> de Mg y simultáneamente 1,8 mmol·L<sup>-1</sup> de sulfatos.

La inyección de estos 15 ml·L<sup>-1</sup> de la solución madre de sulfato magnésico, originará un incremento de la CE del agua de 302 μS·cm<sup>-1</sup>, frente a los 215 de la solución original.

Al igual que el magnesio, el calcio solo se encuentra en el depósito A, con el amonio y con parte de los nitratos. Pero las nuevas necesidades que se presentan en la solución deseada no se ajustan a la composición molar de estos elementos en el depósito A, por lo que deberemos adoptar un decisión sobre que elemento consideramos mas adecuado para calcular el nuevo factor de concentración.

## Inyección y consignas (composición)3

Variación en las necesidades nutritivas:

	fc	ml/L	%I	H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pH	CE
Deseados					14	0.8	2.5			1.1	0.5	3.5	1.8			1850
Agua								1.0						1.0	7.5	180
Deposito A	1.5	15			11.6					1.0		5.3				1226
Deposito B	0.5	5				0.8					0.8					78
Deposito C	1.5	15					1.8						1.8			301
Deposito D																
TOTAL		35	100	0	11.6	0.8		1.0		0.8		1.8	1.0			

$$\triangleright \text{ml/L B} = 10(\text{meq/L}_{(\text{H}_2\text{PO}_4)}/1.6); (10 \cdot 0.8)/1.6 = 5 \text{ ml}$$

$$\triangleright \text{ml/L C} = 10(\text{meq/L}_{(\text{Mg})}/1.2); (10 \cdot 1.8)/1.2 = 15 \text{ ml}$$

$$\text{fc A} = \text{meq/L}_{(\text{Ca})} \text{ Deseado / Ideal} = 5.2/3.5 = 1.51$$

$$\triangleright \text{ml/L A} = 10(\text{meq/L}_{(\text{Ca})}/3.5); (10 \cdot 5.3)/3.5 = 15.1 \text{ ml}$$

$$\triangleright \text{ml/L A} = 10(\text{meq/L}_{(\text{NH}_4)}/0.7); (10 \cdot 1.1)/0.7 = 15.7$$

Guzmán, M. 2004 © RNM 151 PAI-UAL

15

Fig. 11. Cambios en la composición de la solución de fertirriego a partir de la inyección de soluciones concentradas en agua de riego. Consignas de inyección para amonio y Ca.

Puesto que existen nitratos en otro deposito, relegaremos el ajuste de este hasta el final del proceso, sin embargo el amonio y el calcio, solo están en este depósito y los factores de concentración para satisfacer sus demandas son ligeramente diferentes. En este caso necesitamos información del estado del cultivo para adoptar uno de ellos (¿qué es mas conveniente para el momento del cultivo, ajustar Ca o amonio?).

Decidimos ajustar el Ca, por lo que el factor de concentración deberá ser de 1,51, e inyectaremos 15,1 ml·L<sup>-1</sup> del depósito A. Esta inyección nos aporta 5,3 mmoles·L<sup>-1</sup> de Ca, 1,05 mmoles·L<sup>-1</sup> de amonio y 11,6 mmoles·L<sup>-1</sup> de nitratos.

El incremento de CE que provoca esta inyección será de 1226 μS·cm<sup>-1</sup>, en lugar de los 817 que originaba la inyección original de 10 ml·L<sup>-1</sup>.

En este punto hemos modificado las cantidades de inyección de tres de los cuatro depósitos disponible en el sistema. En el último, el D, fabricamos una disolución concentrada que contenía parte de los nitratos, parte de los sulfatos y parte del potasio necesario para reconstruir la solución idealizada. Veamos ahora las necesidades de inyección para este último depósito.

Al igual que con Ca y amonio, en este deposito no podremos modificar las cantidades relativas entre estos iones, por lo que deberemos decidir sobre cual es el mas importante para el momento en que se encuentra nuestro cultivo.

El azufre es un elemento nutritivo secundario, y su presencia en el medio admite márgenes muy amplios sin que se presenten síntomas de deficiencia o exceso, por lo que atenderemos antes a las necesidades de nitratos y de K que a las de sulfatos.

Para calcular los factores de inyección de este depósito, debemos tener en cuenta que ya hay cantidades de nitratos y de K que estamos aportando con los depósitos cuya inyección ya hemos ajustado. Así el factor de concentración será el cociente entre los que deseamos aportar, menos lo que aportamos con los otros depósitos y el contenido del depósito en ese ión.

## Inyección y consignas (composición)4

Variación en las necesidades nutritivas:

	fc	ml/L	%I	H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pH	CE
Deseada					16	0.8	2.6			1.1	6.5	5.3	1.8			1800
Agua								1.0						1.0	7.5	180
Deposito A	1.5	15	33		11.6					1.0		5.3				1226
Deposito B	0.5	5	11			0.8					0.8					78
Deposito C	1.5	15	33				1.8						1.8			301
Deposito D	1.0	10	22		4.3		0.8				5.9					779
TOTAL		45	99	0	15.9	0.8	2.6	1.0		1.0	6.7	5.3	1.8	1.0		2564

$$\triangleright \text{ml/L B} = 10(\text{meq/L}_{(\text{H}_2\text{PO}_4)}/1.6); (10*0.8)/1.6 = 5 \text{ ml}$$

$$\triangleright \text{ml/L C} = 10(\text{meq/L}_{(\text{Mg})}/1.2); (10*1.8)/1.2 = 15 \text{ ml}$$

$$\triangleright \text{ml/L A} = 10(\text{meq/L}_{(\text{Ca})}/3.5); (10*5.3)/3.5 = 15.1 \text{ ml}$$

$$\triangleright \text{ml/L A} = 10(\text{meq/L}_{(\text{NH}_4)}/0.7); (10*1.1)/0.7 = 15.7$$

$$\text{fc D} = \text{meq/L}_{(\text{NO}_3)} (\text{Deseado-Aportado})/\text{Ideal} = (16-11.6)/12 = 1.01$$

$$\text{fc D} = \text{meq/L}_{(\text{K})} (\text{Deseado-Aportado})/\text{Ideal} = (6.5-0.8)/ 7.5 = 0.76$$

Fig. 12. Cambios en la composición de la solución de fertirriego a partir de la inyección de soluciones concentradas en agua de riego. Consigna de CE y porcentajes de inyección

Los factores de concentración calculados para ambos iones no difieren significativamente y son muy cercanos a la unidad, por lo que decidimos no modificar la inyección, con lo que no modificaremos el incremento de CE.

Para generar esta nueva solución de fertirriego necesitamos inyectar en total 45 ml·L<sup>-1</sup>(100%) con porcentajes de inyección de 33, 11, 33 y 22% de uno,de los depósitos respectivos.

Estas inyecciones suponen un incremento de CE de 2384 μS·cm<sup>-1</sup>, que unidos a los 180 del agua de riego, suponen una consigna (sin considerar el factor de interacción salina) de 2564 μS·cm<sup>-1</sup>, o aproximadamente 2,6 dS·m<sup>-1</sup>.

### 3.4 Acidificación de las soluciones

La mayoría de las aguas utilizadas para ferti-riego presentan pH superiores a 7. Los valores de pH considerados como adecuados para la mayoría de los cultivos hortícolas suelen ser ligeramente ácidos. Los elementos nutritivos se encuentran disponibles en su mayoría a pH comprendido entre 5 y 6. Estas tres afirmaciones son de sobra conocidas y nos obligan a hacer el siguiente razonamiento: Puesto que al utilizar técnicas de ferti-riego podemos modificar el pH del agua de riego, ¿porque no acercarnos a aquellos que son ideales para nuestro cultivo y ponen a su disposición la mayoría de los elementos nutritivos?. De acuerdo con esta idea, las soluciones de ferti-riego deberían aplicarse (salvo situaciones excepcionales) a aquellos valores de pH que representen un menor costo energético para la absorción de elementos nutritivos por el cultivo.

**pH>7: Problemas con la solubilidad de algunos fertilizantes. Es posible que precipiten algunos minerales. Dificultad para la absorción de Fe, P, Mn, B y Zn.**

**Medidas correctoras:**

**Bajar el pH en la solución de ferti-riego 5,5.**

**Incrementar las concentraciones de  $\text{NH}_4^+$**

**Incrementar la concentración de Fe**

**pH< 5: Con valores de 4,5, daño en el sistema radical. Problemas con la absorción de Mg y Mo. Alta solubilidad del Mn que puede causar toxicidad.**

**Medidas correctoras:**

**Subir el pH en gotero hasta 6,0.**

**Disminuir  $\text{NH}_4^+$**

Fig. 13. Problemas asociados con el pH del agua de riego y medidas correctoras aplicables en ferti-riego

La figura 13 presenta los problemas mas frecuentes relacionados con el pH del agua de riego y las medidas correctoras aplicables cuando se utilizan técnicas de ferti-riego. Las situaciones más frecuentes requieren un descenso del pH como consecuencia de la presencia en el agua de riego de sales de reacción básica que incrementan su pH. Entre estas sales, los bicarbonatos merecen un estudio especial debido a que confieren a las soluciones en que se encuentran una capacidad de tamponar el pH que debe ser aprovechada en ferti-riego.

#### 3.4.1 Ventajas de la acidificación de las soluciones nutritivas

El ajuste del pH de la solución de fertirrigación proporciona dos ventajas importantes:

1. Proporciona el pH idóneo para maximizar la disponibilidad de los elementos nutritivos. En términos generales, el pH de la solución de fertirrigación debe ajustarse en torno a 5.5; este pH sufre posteriormente cambios debidos a reajustes de equilibrio con el  $\text{CO}_2$  generado que lo sitúan entre 6.0 y 6.5 a la salida de los emisores. Sin embargo, este valor de pH debe de modificarse para conseguir el definido como óptimo para la especie que deseamos cultivar.

2. Previene o elimina las obturaciones y depósitos en redes de riego y de los emisores. Estas se producen fundamentalmente por tres causas diferentes:

- ✓ Físicas (sólidos en suspensión)
- ✓ Químicas (formación de precipitados) Aguas de origen subterráneo
- ✓ Biológicas (presencia en la solución de algas y bacterias) Aguas de origen o con una permanencia superficial prolongada.

La mayoría de las aguas utilizadas en la cuenca SUR y en el sudeste español, son de origen subterráneo, y la mayor parte de ellas presentan un elevado contenido es sales solubles. La solubilidad de cualquier sustancia en agua depende de las condiciones de temperatura, presión, pH. Potencial REDOX y de las concentraciones relativas de las otras sustancias que se encuentren en solución.

El  $\text{CO}_2$  tiene una importancia fundamental en la disolución y precipitación de las sales disueltas en el agua. Bajo presión (como sucede en las aguas subterráneas) la concentración de  $\text{CO}_2$  aumenta hasta formas ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Este ácido débil puede disolver fácilmente compuestos minerales como calizas y dolomias formando bicarbonatos de Ca y Mg que son solubles en agua. Las obturaciones químicas resultan normalmente de la precipitación de estos carbonatos en combinación con los siguiente cationes: calcio, magnesio, hierro y manganeso. Estos son frecuentes en nuestras aguas, y a  $\text{pH} > 7$  presentan un alto riesgo de provocar precipitaciones. Particularmente comunes son las precipitaciones de carbonato cálcico en forma de calcita, que son mayores a medida que aumentan la temperatura y del pH.

El riesgo de formación de precipitaciones químicos en los elementos del sistema de fertirrigación es elevado cuando:

- ✓ El pH del agua es superior a 7,5
- ✓ Su dureza es mayor de 300
- ✓ Los niveles de hierro y manganeso superan 1,5 ppm.

La inyección de ácidos minerales en le agua puede evitar o redisolver estos precipitados químicos y generar un ambiente hostil para la proliferación microbiana.

Por otro lado algunas de las sales minerales que se aportan como elementos nutritivos para el crecimiento de los cultivos pueden presentar también inconveniente desde el punto de vista químico al encontrarse en disolución. Las sales que presentan mayores problemas de precipitación son los fosfatos debido a la posibilidad de formación de fosfatos tricalcicos en forma de apatito, altamente insolubles y dependiente del pH de la disolución:

A  $\text{pH} > 7$ , la mayor parte de los fosfatos se encuentran como ion monohidrógenofosfato ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ), que reacciona con el calcio formando  $\text{CaHPO}_4$ , que es muy poco soluble en agua.

A pH 6, las mayor parte del fósforo se encuentra como ion dihidrógenofosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), que también se une al calcio formando  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , que es un compuesto con una solubilidad mucho mayor que el anterior

### 3.4.2 Aguas sin bicarbonatos.

La adición de ácidos para disminuir el pH en ausencia de sustancias que tengan capacidad tampón, supone un riesgo elevado si no se controlan todos los parámetros que intervienen en el sistema de cultivo. La adición de cantidades menores a las necesarias, pueden no solucionar el problema

presente, mientras que adiciones mayores pueden invertir el signo del problema actual y presentar problemas futuros de igual o mayor orden de magnitud que el que teníamos.

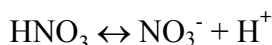
En algunos casos es necesario ajustar el pH de un agua o una solución sin capacidad de tamponamiento. Es aconsejable realizar un seguimiento continuo del pH de la solución de ferti-riego en los puntos de emisión, para modificar los aportes de ácido si este alcanza valores no deseados. La solución más segura suele ser adicionar al agua sustancias que presenten esta capacidad de tamponamiento, antes de adicionar el ácido y realizar los cálculos de acidificación con posterioridad.

En estos casos, la acidificación de las soluciones se reduce a un simple problema químico. Veamos un ejemplo en el que pretendemos reducir el pH de una solución de fertirriego de 6 a 5:

$$pH = -\log[H^+]$$

$$pH = 6 \Rightarrow [H^+] = \frac{1}{10^6} \quad ; \quad pH = 5 \Rightarrow [H^+] = \frac{1}{10^5}$$

Para reducir el pH de 6 a 5 con ácido nítrico del 38% de pureza;  $\rho = 1.24$



$$\frac{1}{10^6} + x = \frac{1}{10^5} : \quad x = \frac{9}{10^6} ; \quad \frac{1}{10^6} + \frac{9}{10^6} = \frac{10}{10^6} = \frac{1}{10^5} ; \text{deberán aportarse 9 eq de } H^+/10^6$$

9 equivalentes  $H^+$  se encuentran en 1492.6 g de ácido comercial:

$$g = n(eq) \cdot \frac{pm}{riqueza} = 9 \cdot \frac{63.02}{38\%} = 1492.6g$$

La densidad del ácido comercial es 1.24, y es más fácil medir volumen que pesar líquidos: aportaremos 1203,3 cc  $\approx$  1,2 L de ácido comercial/ $m^3$  de agua

Por analogía con el peso molar de los fertilizantes, podemos utilizar el volumen molar de los líquidos

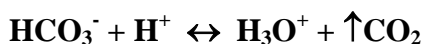
$$vmol = \frac{pm}{riqueza} = \frac{100 \cdot pm}{riqueza \cdot \rho} = 133.74$$

$$9 \cdot 133,74 = 1203,6cc; \approx 1,2 L \cdot m^{-3}$$

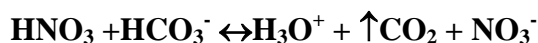
Cuando se riega con aguas de buena calidad o con escasa presencia de bicarbonatos, la neutralización de la totalidad de estos agota la capacidad tampón de la solución, que se encuentra en un pH cercano a 4. La adición de pequeñas cantidades de ácido en estas condiciones puede hacer descender el pH hasta valores extremadamente peligrosos para el sistema radical del cultivo (especialmente cuando el sistema de cultivo se realiza en substratos diferentes del suelo. Si la concentración de bicarbonatos en la solución de riego es menor de 1,5 – 2,0 meq/l, las necesidades de las plantas no pueden cubrirse en su totalidad utilizando ácido fosfórico, por lo que debe recurrirse a otros fertilizantes utilizables en fertirrigación (fosfato monoamónico o fosfato mono potásico).

### 3.4.3 Aguas con bicarbonatos

El poder amortiguador de las aguas de riego frente a la adición de ácidos depende casi exclusivamente de la presencia de ion bicarbonato ( $HCO_3^-$ ), que es la especie predominante del equilibrio del ácido carbónico en disolución para pHs comprendidos entre 4 y 8, y es un factor determinante del valor de pH de la disolución. La reacción de neutralización que se produce en un agua con bicarbonatos al adicionar un ácidos es la siguiente:



Los ácidos se inyectan en el sistema de fertirrigación de la misma forma que un fertilizante, sin embargo, hay que tener especial cuidado en los parámetros que controlan esta inyección y en la capacidad del agua para amortiguar el efecto de la adición de estos. Un miliequivalente (meq) de ácido neutraliza un meq de base presente en el agua (generalmente bicarbonatos).



Se sabe por experiencia que neutralizando totalmente los bicarbonatos presentes en el agua, disminuye drásticamente la capacidad tampón de la misma y el pH desciende muy rápidamente por debajo de los límites deseados con adiciones posteriores muy pequeñas. Debido a esto, es conveniente neutralizar hasta dejar una concentración de 0,3 a 0,5 meq, con lo que el pH de la solución nutritiva se situará entre 5,3 y 5,5. Este valor se considera idóneo para la solución de fertirriego ya que proporciona la máxima disponibilidad de nutrientes en la rizosfera y previene la formación de precipitados.

Aportes					HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl	H <sub>2</sub> O	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K	Ca	Mg	Na	pH	CE	
			Ideal		-	12.0	1.6	2.0	-	-	0.7	7.5	3.5	1.2	-	5.5	1467	
			Medio		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Agua		2.0	-	-	0.5	1.0	-	-	-	-	0.5	0.8	1.4	7.5	480
Fertilizante	pms	CE	mg	mmol		12.0	1.6	1.5		-	0.7	7.5	3.0	0.4				
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (1.58)	130.6	-0.52x <sup>2</sup> +0.58x	195.9	1.5	-1.5		1.5			1.5					1	123	-0.3	
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	116.8	826																
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136.5	712																
HNO <sub>3</sub> (1.36)	106.8	-0.22x <sup>2</sup> +19x																
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	83.6	1436																
KNO <sub>3</sub>	102.3	1282																
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1084.7	1076																
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	256.6	831																
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1.84)	100.1	-1.85x <sup>2</sup> +20x																
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	133.4	1849																
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	188.4	1424																
MgSO <sub>4</sub>	251.9	666																
<b>TOTAL</b>					<b>0.5</b>	<b>0.0</b>	<b>1.5</b>	<b>0.0</b>	<b>1.0</b>		<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>1.4</b>		<b>-0.3</b>	
<b>Diferencias</b>					<b>0.0</b>	<b>12.0</b>	<b>0.1</b>	<b>1.5</b>			<b>0.7</b>	<b>7.5</b>	<b>3.0</b>	<b>0.4</b>				
	F	g/L			H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>2</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pH		
SM Deposito A	100																	
SM Deposito B	100	12.3ml	195.9	1.5	-1.5		1.5			1.5					1	123	-0.3	
SM Deposito C	100																	
SM Deposito D	100																	

Fig. 14 Ajuste iónico de una solución de ferti-riego con agua que aporta bicarbonatos

En este ejemplo, seguiremos el proceso descrito en la figura 1. Puesto que el agua aporta una cantidad de bicarbonatos mayor de 0,5 mmoles, procederemos, en primer lugar a neutralizar una cantidad de estos que garantice la capacidad tamponante de la solución y nos garantice un pH entre 5,3 y 5,6. Esto se consigue neutralizando 1,5 de los 2,0 meq/l presentes en el agua de riego. Para esto utilizaremos ácido fosfórico por su efecto sobre la CE de la solución de ferti-riego.



Aportes																	
			Ideal	-	12.0	1.6	2.0	-	-	0.7	7.5	3.5	1.2	-	5.5	1467	
			Medio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Agua	2.0	-	-	0.5	1.0	-	-	-	0.5	0.8	1.4	7.5	480	
Fertilizante	pms	CE	mg	mmol	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pH	CE
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (1.58)	130.6	-0.52x <sup>2</sup> +0.58x	195.9	1.5	-1.5		1.5			1.5					1	123	-0.3
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	116.8	826	11.7	0.1			0.1				0.1				2		9
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136.5	712															
KNO <sub>3</sub> (1.38)	106.8	-0.22x <sup>2</sup> +19x															
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	83.6	1436															
KNO <sub>3</sub>	102.3	1282	552.4	5.4		5.4						5.4			4		708
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1084.7	1076	650.8	0.6		6.6					0.6		3.0		3		700
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	256.6	831															
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1.84)	100.1	-1.85x <sup>2</sup> +20x															
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	133.4	1849															
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	188.4	1424	207.2	1.1			1.1					2.1			5		295
MgSO <sub>4</sub>	251.9	666	100.8	0.4			0.4							0.4	6		67
<b>TOTAL</b>					0.5	12.0	1.6	1.5	1.0		0.7	7.5	3.0	0.4	1.4	5.5	1779
<b>Diferencias</b>					0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0	0.0	0.0			
	F	g/L			H <sub>2</sub> CO	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>3</sub> O	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	pH	
SM Deposito A	100	65.1	650.8	0.6		6.6					0.6		3.0		3		700
SM Deposito B	100	19.6+1.2	+	+			1.6			1.5	0.1				1+2		8
SM Deposito C	100	10.1	100.8	0.4				0.4						0.4	6		67
SM Deposito D	100	55.2+20.7	+	+		5.4		1.1				7.5			4+5		1003

Figura 15. Ajuste iónico y distribución de fertilizantes en soluciones madre para el ejemplo de la figura 14.

Siguiendo el mismo procedimiento descrito en el apartado anterior, ajustaremos la solución de ferti-riego, para preparar soluciones madre, n veces concentrada que reconstituiremos al inyectar 1/n en el agua de riego. Los mismos razonamientos deben efectuarse en el caso de necesitar modificar la composición o la concentración de aporte de elementos al cultivo, sin eliminar la solución madre existente.



# ANEXOS

---



## ANEXO 1: Características de algunos fertilizantes

fertilizante	Riqueza	%	g/Kg	mol/Kg	eq/Kg	EC	Sol g/L
<b>Ácido Nítrico puro</b>	<b>N</b>	<b>22.24</b>				--	--
HNO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	98.4	984	15.87	15.87		
Pm = 63.02	H <sup>+</sup>	1.6	16	15.87	15.87		
Pureza 100%	<b>Total</b>	100	1000	15.87			
<b>Ácido Nítrico 59%</b>	<b>N</b>	<b>13.12</b>				<b>4486</b>	--
HNO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	58.1	581	9.36	9.36		--
Pm = 63.02	H <sup>+</sup>	0.9	9.4	9.36	9.36		
Pureza 59% dens =1.36 pmol=106.8; vmol=78.6	<b>total</b>	100	1000	9.36			
<b>Ácido Nítrico 38%</b>	<b>N</b>	<b>8.45</b>					--
HNO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	37.39	373.9	6.03	6.03		--
Pm = 63.02	H <sup>+</sup>	0.6	6.1	6.03	6.03		
Pureza 38% dens =1.24 pmol=165.8; vmol=133.7	<b>total</b>	100	1000	6.03			
<b>Aqua amonia</b>	<b>N</b>	<b>20</b>					
NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O / NH <sub>4</sub> OH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	51.48	514.8	28.52	28.52		
Pm = 70.1	OH <sup>-</sup>	24.25	242.5	14.26	14.26		
Pureza = 50.05% densidad	<b>Total</b>	100	1000	14.26			

fertilizante	Riqueza	%	g/Kg	mol/Kg	eq/Kg	EC	Sol g/L
<b>Nitrato Amónico 17.5 + 17.5</b>	<b>N</b>	<b>35.0</b>				<b>1594</b>	<b>1900</b>
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	77.5	775.0	12.5	12.5		
Pm = 80.06	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	22.5	225.0	12.5	12.5		
Pureza 99.93%	<b>Total</b>	100	1000	12.5			
<b>Nitrato Amónico 16.75 + 16.75</b>	<b>N</b>	<b>33,5</b>				<b>1345</b>	<b>1700</b>
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	74.13	741.3	11.96	11.96		
Pm = 80.06	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	21.52	215.2	11.96	11.96		
Pureza 95.65%	<b>Total</b>	95.64	1000	11.96			
<b>Urea cristalina</b>	<b>N</b>	<b>46</b>				<b>2</b>	<b>1000</b>
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	NH <sub>2</sub> <sup>-</sup>	52.63	526.3	32.83	32.83		
Pm = 58.05	CO <sub>2</sub>						
Pureza = 95.3%	<b>Total</b>	100	1000	16.64			

fertilizante	Riqueza	%	g/Kg	mol/Kg	eq/Kg	EC	Sol
<b><u>Nitrato Cálxico</u></b> <b>14.3 + 1.3</b>	<b>N</b>	<b>15.5</b>				<b>1118</b>	<b>2100</b>
	<b>CaO</b>	<b>26.6</b>					
5[Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ]·NO <sub>3</sub> NH <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	63.15	631.5	10.19	10.19		
5[2(62)+40]+(62+18)+10(18)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.66	16.6	0.92	0.92		
Pm =1080,5	Ca <sup>2+</sup>	18.62	186.2	4.66	9.31		
Pureza =99.61%	H <sub>2</sub> O	16.57	165.7	9.21			
	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>0.926</b>			
<b><u>Nitrato potásico</u></b>	<b>N</b>	<b>13.0</b>				<b>1340</b>	<b>150</b>
	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>46.5</b>					
KNO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	61.33	613.3	9.89	9.89		
Pm = 101.1	K <sup>+</sup>	38.67	386.7	9.89	9.89		
Pureza =98.84%		100	1000	9.89	9.89		
<b><u>Nitrato Magnésico</u></b>	<b>N</b>	<b>11.0</b>				<b>843</b>	<b>600</b>
	<b>MgO</b>	<b>9.5</b>					
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	48.38	483.8	7.80	7.80		
Pm =256.33	Mg <sup>2+</sup>	9.48	94.8	3.90	7.80		
Pureza = 99.99%		100	1000	3.90			
<b><u>Nitrato Magnésico L</u></b>	<b>N</b>	<b>7.0</b>					<b>--</b>
	<b>MgO</b>	<b>6.1</b>					
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>						
Pm =256.33	Mg <sup>2+</sup>						
Pureza %							

fertilizante	Riqueza	%	g/Kg	mol/Kg	eq/Kg	EC	Sol g/l
<b>Ácido Fosfórico puro</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>72.37</b>					
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	98.96	989.6	10.20	10.2	?	--
Pm = 98	H <sup>+</sup>	1.03	10.3	10.20	10.2		
Pureza 100%	<b>Total</b>	100	1000	10.20			
<b>Ácido Fosfórico 75% (blanco)</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>54.28</b>				<b>2202</b>	
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	74.22	742.2	7.65	7.65		
Pm = 98	H <sup>+</sup>	0.77	7.7	7.65	7.65		
Pureza 75% densidad =1.58 pmol=130.7; vmol=82.7	<b>Total</b>	100	1000	7.65			
<b>Ácido Fosfórico 55% (verde)</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>39.80</b>					
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	40.35	544.3	5.61	5.61		
Pm = 98	H <sup>+</sup>	0.57	5.7	5.61	5.61		
Pureza 55% densidad =1.38 pmol=178.2; vmol=129.1	<b>Total</b>	100	1000	5.61			
<b>fertilizante</b>	<b>Riqueza</b>	<b>%</b>	<b>g/Kg</b>	<b>mol/Kg</b>	<b>eq/Kg</b>	<b>EC</b>	<b>Sol g/L</b>
<b>Fosfato Monoamónico.</b>	<b>N</b>	<b>12</b>				<b>868</b>	<b>200</b>
	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>61</b>					
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (NH <sub>4</sub> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	15.69	156.9	8.69	8.69		
Pm =115.04	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	84.31	843.1	8.69	8.69		
Pureza = 98.52%	<b>Total</b>	100	1000	8.69	8.69		
<b>Fosfato Monopotásico</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>52</b>				<b>375</b>	<b>200</b>
	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>23</b>					
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	71.27	712.7	7.35	7.35		
Pm =136.09	K <sup>+</sup>	28.73	287.3	7.35	7.35		
Pureza = 99.71%	<b>Total</b>	100	1000	7.35			

fertilizante	Riqueza	%	g/Kg	mol/Kg	eq/Kg	EC	Sol g/L
<b>Ácido Sulfúrico puro</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>81.63</b>				--	--
HSO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	97.94	979.4	10.2	20.4		
Pm = 98.08	H <sup>+</sup>	2.06	20.6	20.4	20.4		
Pureza 100%	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>10.2</b>			
<b>Ácido Sulfúrico 98%</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>80</b>				<b>10453</b>	<b>--</b>
						<i>¿?</i>	
HSO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	95.98	959.8	9.99	19.98		
Pm = 98.08	H <sup>+</sup>	2.02	20.2	19.98	19.98		
Pureza 98% densid = 1.84	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>9.99</b>	<b>19.98</b>		

fertilizante	Riqueza	%	g/Kg	mol/Kg	eq/Kg	EC	Sol g/L
<b>Sulfato Amónico</b>	<b>N</b>	<b>21</b>				<b>1885</b>	<b>600</b>
	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>22</b>					
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	27.05	270.5	14.97	14.97		
Pm = 114.11	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	71.99	719.9	7.49	14.97		
Pureza = 85.52%	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>7.49</b>			
<b>Sulfato potásico</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>50</b>				<b>1827</b>	<b>110</b>
	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>18</b>					
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K <sup>+</sup>	41.51	415.1	10.62	10.62		
Pm = 174.26	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	50.99	509.9	5.31	10.62		
Pureza = 92.5%	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>5.31</b>			
<b>Sulfato magnésico</b>	<b>MgO</b>	<b>16</b>				<b>730</b>	<b>700</b>
	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>13</b>					
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	Mg <sup>2+</sup>	9.65	96.5	3.97	7.94		
Pm = 246.51	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	38.13	381.3	3.97	9.94		
Pureza = 97.85%	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>3.97</b>			



fertilizante	Riqueza	%	g/Kg	mol/Kg	eq/Kg	EC	Sol g/L
<b>Sulfato de hierro</b>	<b>Fe</b>	<b>20</b>					
	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>29</b>					
FeSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	Fe <sup>2+</sup>	20.09	200.9	3.60	7.19		
Pm = 278.05	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	34.55	345.5	3.60	7.19		
Pureza = 99,57%	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>3.60</b>			
<b>Sulfato de manganeso</b>	<b>Mn</b>	<b>24</b>					
	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>36</b>					
MnSO <sub>4</sub> 4H <sub>2</sub> O	Mn <sup>2+</sup>	24.63	246.3	4.48	8.96		
Pm = 223.08	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	43.06	430.6	4.48	8.96		
Pureza = 97.45%	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>4.48</b>			
<b>Sulfato de zinc</b>	<b>Zn</b>	<b>22</b>					
	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>27</b>					
ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	Zn <sup>2+</sup>	22.73	227.3	3.48	6.95		
Pm = 287.57	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	33.40	334.0	3.48	6.95		
Pureza = 96.78 %	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>3.48</b>			
<b>Sulfato de cobre</b>	<b>Cu</b>	<b>25</b>					<b>316</b>
	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>32</b>					
CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O	Cu <sup>2+</sup>	25.45	254.5	4.01	8.01		
Pm = 249.71	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	38.47	384.7	4.01	8.01		
Pureza = 98.23%	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>4.01</b>			

fertilizante	Riqueza	%	g/Kg	mol/Kg	eq/Kg	EC	Sol g/L
<b>Ácido bórico</b>	<b>B</b>	<b>17,5</b>					<b>64</b>
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	98.36	983.6	16.17	16.17		
Pm = 61.84	H <sup>+</sup>	1.63	16.3	16.17	16.17		
Pureza = 99.99%	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>16.17</b>			
<b>Borax</b>	<b>B</b>	<b>11</b>					<b>21</b>
	<b>Na</b>	<b>12</b>					
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·5H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	83.52	835.2	13.73	13.72		
Pm = 291.32	Na <sup>+</sup>	15.78	157.8	6.86	13.72		
Pureza = 74.11%	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>3.43</b>			
<b>Molibdato amónico</b>	<b>Mo</b>	<b>48</b>					
	<b>N</b>	<b>7</b>					
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	MoO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	81.59	815.9	5.10	10.20		
Pm = 196.04	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	18.42	184.2	10.20	10.20		
Pureza = 98.08%	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>5.10</b>			
<b>Molibdato sódico</b>	<b>Mo</b>	<b>46</b>					
	<b>Na</b>	<b>22</b>					
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	MoO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	77.67	776.7	4.86	9.71		
Pm = 205.92	Na <sup>+</sup>	22.33	223.3	9.71	9.71		
Pureza = 98.73%	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>4.86</b>			



## ANEXO 2. Necesidade hídricas de algunos cultivos en invernadero

### 1 Consumos medios de diferentes cultivos hortícolas

Datos recopilados de la finca experimental “Las palmerillas” de Cajamar en El ejido, Almería

#### 1.1 Cultivo de berenjena en invernadero

Ciclo A.- Para trasplante durante la 1ª quincena de agosto , necesidades en lts/m2.día

Meses	Quincenas	lts/m2.día
Agosto	1 al 15	1,08
	16 al 31	1,97
Septiembre	1 al 15	2,29
	16 al 30	2,66
Octubre	1 al 15	3,16
	16 al 31	2,82
Noviembre	1 al 15	2
	16 al 30	1,87
Diciembre	1 al 15	1,61
	16 al 31	1,16
Enero	1 al 15	1,13
	16 al 31	1,17
Febrero	1 al 15	1,19
	16 al 31	1,41
Marzo	1 al 15	2,27
	16 al 31	2,88
Abril	1 al 15	3,39
	16 al 30	3,39
Mayo	1 al 15	3,23
	16 al 31	3,02

Ciclo B.- Para trasplante durante la 2ª quincena de agosto, necesidades en lts/m2.día

Meses	Quincenas	lts/m2.día
Agosto	16 al 31	0,98
Septiembre	1 al 15	1,83
	16 al 30	1,9
Octubre	1 al 15	2,46
	16 al 31	2,54
Noviembre	1 al 15	2
	16 al 30	1,7
Diciembre	1 al 15	1,61
	16 al 31	1,16
Enero	1 al 15	1,13
	16 al 31	1,17
Febrero	1 al 15	1,19
	16 al 31	1,41
Marzo	1 al 15	2,27
	16 al 31	2,88
Abril	1 al 15	3,39
	16 al 30	3,39
Mayo	1 al 15	3,23
	16 al 31	3,02

#### Recomendaciones

Se dará un riego previo a la plantación para saturar el perfil del suelo.

El riego se aplicará a diario en épocas de calor y a intervalos de hasta 6 días en invierno.

Las cifras que se dan en la tabla son medias y pueden variar de año en año. No obstante, son una buena aproximación. Si dispone de tensiómetros, puede comprobar si las cantidades aplicadas son insuficientes (lectura del tensiómetro mayor de 25 centibares, colocados a 10 cm. de profundidad).

Un exceso de agua de riego supone un lavado de fertilizantes y, en consecuencia, pérdidas económicas para la explotación.

Es imprescindible disponer de contadores de agua o equipo fiables de dosificación para un buen manejo del riego por goteo

#### Ejemplo de cálculo

Deseamos saber la cantidad de agua de riego a aplicar el día 12 de enero (1ª quincena de enero), en un invernadero de 2.900 m2, con cultivo de berenjena trasplantado en la 2ª quincena de agosto (16 al 31 de agosto).

Miramos el cuadro del ciclo B.- ( trasplante 16-31 de agosto), buscamos la quincena 1 al 15 de Enero y encontramos el consumo diario que es: 1.13 lts/m2. día.

La cantidad de agua a aportar al invernadero es :

$$1.13 \text{ lts/m2. día} \times 2.900 \text{ m2} = 3.277 \text{ lts/día equivalentes a } 3,277 \text{ m3.}$$

Los datos pueden consultarse en <http://www.cajamar.es>

## 1.2 Cultivo de calabacín en invernadero

### 1.2.1 Otoño

Ciclo A.- Siembra o trasplante 1ª quincena de agosto (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
Agosto	1 al 15	2,17
	16 al 31	3,44
Septiembre	1 al 15	3,67
	16 al 30	3,42
Octubre	1 al 15	3,16
	16 al 31	2,82
Noviembre	1 al 15	2
	16 al 30	1,53
Diciembre	1 al 15	1,45
	16 al 31	1,03
Enero	1 al 15	1,06
	16 al 31	0,87
Febrero	1 al 15	0,85
	16 al 31	0,56

Ciclo B.- Siembra o trasplante 2ª quincena de agosto

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
Agosto	16 al 31	1,97
Septiembre	1 al 15	3,21
	16 al 30	3,04
Octubre	1 al 15	3,16
	16 al 31	2,54
Noviembre	1 al 15	2
	16 al 30	1,53
Diciembre	1 al 15	1,45
	16 al 31	1,03
Enero	1 al 15	1,06
	16 al 31	0,87
Febrero	1 al 15	0,85
	16 al 31	0,56

Ciclo C.- Siembra o trasplante 1ª quincena de septiembre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
Septiembre	1 al 15	1,6
	16 al 30	1,9
Octubre	1 al 15	2,81
	16 al 31	2,54
Noviembre	1 al 15	1,8
	16 al 30	1,53
Diciembre	1 al 15	1,45
	16 al 31	1,03
Enero	1 al 15	1,06
	16 al 31	0,87
Febrero	1 al 15	0,85
	16 al 31	0,56

Ciclo D.- Siembra o trasplante 2ª quincena de septiembre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
Septiembre	1 al 15	1,6
	16 al 30	1,9
Octubre	1 al 15	2,81
	16 al 31	2,54
Noviembre	1 al 15	1,8
	16 al 30	1,53
Diciembre	1 al 15	1,45
	16 al 31	1,03
Enero	1 al 15	1,06
	16 al 31	0,87
Febrero	1 al 15	0,85
	16 al 31	0,56

Ciclo E.- Siembra o trasplante 1ª quincena de octubre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
Octubre	1 al 15	1,05
	16 al 31	1,41
Noviembre	1 al 15	1,6
	16 al 30	1,53
Diciembre	1 al 15	1,37
	16 al 31	1,03
Enero	1 al 15	1,06
	16 al 31	1,09
Febrero	1 al 15	1,1
	16 al 31	0,84

Ciclo F.- Siembra o trasplante 2ª quincena de octubre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
Octubre	16 al 31	0,84
Noviembre	1 al 15	1
	16 al 30	1,19
Diciembre	1 al 15	1,45
	16 al 31	1,03
Enero	1 al 15	1,06
	16 al 31	1,17
Febrero	1 al 15	1,36
	16 al 31	1,31

### 1.2.2 Primavera

Ciclo G.- Siembra o trasplante 2ª quincena de diciembre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
Diciembre	16 al 31	0,25
Enero	1 al 15	0,66
	16 al 31	0,87
Febrero	1 al 14	1,1
	15 al 28	1,4
Marzo	1 al 15	2,27
	16 al 30	2,72
Abril	1 al 15	3,19
	16 al 30	3,42
Mayo	1 al 15	3,86
	16 al 31	4,11
Junio	1 al 15	4,53

Ciclo H.- Siembra o trasplante 1ª quincena de enero (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
Enero	1 al 15	0,39
	16 al 31	0,87
Febrero	1 al 14	1,1
	15 al 28	1,4
Marzo	1 al 15	2,27
	16 al 30	2,72
Abril	1 al 15	3,19
	16 al 30	3,42
Mayo	1 al 15	3,86
	16 al 31	4,11
Junio	1 al 15	4,53
	16 al 30	5,09

## 1.3 Cultivo de judía de enrame en invernadero

### 1.3.1 Primavera

Ciclo A.- Siembra 1ª quincena de diciembre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Diciembre</u>	16 al 31	0,26
<u>Enero</u>	1 al 15	0,66
	16 al 31	1,03
<u>Febrero</u>	1 al 14	1,53
	15 al 28	2,06
<u>Marzo</u>	1 al 15	3,13
	16 al 30	3,53
<u>Abril</u>	1 al 15	3,99
	16 al 30	3,81
<u>Mayo</u>	1 al 15	4,15
	16 al 31	4,54

Ciclo B.- Siembra 1ª quincena de enero (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Enero</u>	1 al 15	0,26
	16 al 31	0,74
<u>Febrero</u>	1 al 14	1,19
	15 al 28	1,79
<u>Marzo</u>	1 al 15	3,13
	16 al 30	3,53
<u>Abril</u>	1 al 15	4,39
	16 al 30	4,24
<u>Mayo</u>	1 al 15	4,15
	16 al 31	4,54

Ciclo C.- Siembra 2ª quincena de enero (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Enero</u>	16 al 31	0,29
<u>Febrero</u>	1 al 14	0,85
	15 al 28	1,31
<u>Marzo</u>	1 al 15	2,55
	16 al 30	3,53
<u>Abril</u>	1 al 15	4,39
	16 al 30	4,66
<u>Mayo</u>	1 al 15	4,61
	16 al 31	4,54

Ciclo D.- Siembra 2ª quincena de febrero (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Febrero</u>	1 al 14	0,43
	15 al 28	1,31
<u>Marzo</u>	1 al 15	2,55
	16 al 30	3,53
<u>Abril</u>	1 al 15	4,39
	16 al 30	4,66
<u>Mayo</u>	1 al 15	4,61
	16 al 31	4,54

Ciclo E.- Siembra 2ª quincena de febrero (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Febrero</u>	15 al 28	0,48
<u>Marzo</u>	1 al 15	1,99
	16 al 30	3,2
<u>Abril</u>	1 al 15	4,39
	16 al 30	4,66
<u>Mayo</u>	1 al 15	5,08
	16 al 31	5,04

### 1.3.2 Otoño

Ciclo F.- Siembra 1ª quincena de septiembre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Septiembre</u>	1 al 15	1,15
	16 al 30	2,66
<u>Octubre</u>	1 al 15	3,51
	16 al 31	3,11
<u>Noviembre</u>	1 al 15	2,2
	16 al 30	1,7
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,61
	16 al 31	1,16
<u>Enero</u>	1 al 15	1,19

Ciclo G.- Siembra 2ª quincena de septiembre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Septiembre</u>	16 al 30	0,95
<u>Octubre</u>	1 al 15	2,46
	16 al 31	2,83
<u>Noviembre</u>	1 al 15	2,2
	16 al 30	1,88
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,61
	16 al 31	1,29
<u>Enero</u>	1 al 15	1,19

Ciclo H.- Siembra 1ª quincena de octubre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Octubre</u>	1 al 15	0,88
	16 al 31	1,7
<u>Noviembre</u>	1 al 15	1,8
	16 al 30	1,88
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,78
	16 al 31	1,29
<u>Enero</u>	1 al 15	1,33
	16 al 31	1,31

## 1.4 Cultivo judía de mata baja en invernadero

### 1.4.1 Primavera

Ciclo A.- Siembra 1ª quincena de diciembre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Diciembre</u>	1 al 15	0,33
	16 al 31	0,51
<u>Enero</u>	1 al 15	0,93
	16 al 31	1,31
<u>Febrero</u>	1 al 14	1,7
	15 al 28	1,88
<u>Marzo</u>	1 al 15	2,55

Ciclo B.- Siembra 2ª quincena de diciembre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Diciembre</u>	16 al 31	0,26
<u>Enero</u>	1 al 15	0,66
	16 al 31	1,03
<u>Febrero</u>	1 al 14	1,53
	15 al 28	1,88
<u>Marzo</u>	1 al 15	2,84
	16 al 30	2,88

Ciclo C.- Siembra 1ª quincena de enero (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Enero</u>	1 al 15	0,26
	16 al 31	0,74
<u>Febrero</u>	1 al 14	1,19
	15 al 28	1,69
<u>Marzo</u>	1 al 15	2,84
	16 al 30	3,2
<u>Abril</u>	1 al 15	3,59

Ciclo D.- Siembra 2ª quincena de enero (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Enero</u>	16 al 31	0,29
<u>Febrero</u>	1 al 14	0,85
	15 al 28	1,31
<u>Marzo</u>	1 al 15	2,55
	16 al 30	3,2
<u>Abril</u>	1 al 15	3,99
	16 al 30	3,81

### 1.4.2 Otoño

Ciclo E.- Siembra 2ª quincena de septiembre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Septiembre</u>	16 al 30	0,76
<u>Octubre</u>	1 al 15	2,11
	16 al 31	2,26
<u>Noviembre</u>	1 al 15	2
	16 al 30	1,7
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,61
	16 al 31	1,16
<u>Enero</u>	1 al 15	1,59
	16 al 31	1,46

Ciclo F.- Siembra 1ª quincena de octubre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Octubre</u>	1 al 15	0,7
	16 al 31	1,7
<u>Noviembre</u>	1 al 15	1,6
	16 al 30	1,7
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,61
	16 al 31	1,29
<u>Enero</u>	1 al 15	1,19

Ciclo G.- Siembra 2ª quincena de octubre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Octubre</u>	16 al 31	0,56
<u>Noviembre</u>	1 al 15	1,2
	16 al 30	1,36
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,61
	16 al 31	1,29
<u>Enero</u>	1 al 15	1,33
	16 al 31	1,31

## 1.5 Cultivo de la sandía en invernadero

Ciclo A.- Siembra o trasplante 1ª quincena de enero (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Enero</u>	1 al 15	0,26
	16 al 31	0,44
<u>Febrero</u>	1 al 14	0,68
	15 al 28	1,13
<u>Marzo</u>	1 al 15	2,28
	16 al 31	3,2
<u>Abril</u>	1 al 15	3,99
	16 al 30	4,24
<u>Mayo</u>	1 al 15	4,15
	16 al 31	4,03
<u>Junio</u>	1 al 15	4,88
	16 al 31	5,09

Ciclo B.- Siembra o trasplante 2ª quincena de enero (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Enero</u>	16 al 31	0,29
<u>Febrero</u>	1 al 14	0,51
	15 al 28	0,75
<u>Marzo</u>	1 al 15	1,7
	16 al 31	2,56
<u>Abril</u>	1 al 15	3,99
	16 al 30	4,24
<u>Mayo</u>	1 al 15	4,61
	16 al 31	4,54
<u>Junio</u>	1 al 15	4,88
	16 al 31	5,09

Ciclo C.- Siembra o trasplante 1ª quincena de febrero (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Febrero</u>	1 al 14	0,34
	15 al 28	0,75
<u>Marzo</u>	1 al 15	1,7
	16 al 31	2,56
<u>Abril</u>	1 al 15	3,99
	16 al 30	4,24
<u>Mayo</u>	1 al 15	4,61
	16 al 31	4,54
<u>Junio</u>	1 al 15	4,88
	16 al 31	5,09

Ciclo D.- Siembra o trasplante 2ª quincena de febrero (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Febrero</u>	15 al 28	0,38
<u>Marzo</u>	1 al 15	1,14
	16 al 31	1,93
<u>Abril</u>	1 al 15	3,19
	16 al 30	4,24
<u>Mayo</u>	1 al 15	4,61
	16 al 31	5,04
<u>Junio</u>	1 al 15	5,48
	16 al 31	5,09

Ciclo E.- Siembra o trasplante 1ª quincena de marzo (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Marzo</u>	1 al 15	0,56
	16 al 31	1,28
<u>Abril</u>	1 al 15	2,39
	16 al 30	3,39
<u>Mayo</u>	1 al 15	4,61
	16 al 31	5,04
<u>Junio</u>	1 al 15	6,09
	16 al 31	5,78
<u>Julio</u>	1 al 15	4,86

## 1.6 Cultivo de melón en invernadero

Ciclo A.- Siembra o trasplante 1ª quincena de enero (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Enero</u>	1 al 15	0,26
	16 al 31	0,44
<u>Febrero</u>	1 al 14	0,85
	15 al 28	1,31
<u>Marzo</u>	1 al 15	2,55
	16 al 31	3,53
<u>Abril</u>	1 al 15	4,39
	16 al 30	4,66
<u>Mayo</u>	1 al 15	4,61
	16 al 31	4,54
<u>Junio</u>	1 al 15	4,88
	16 al 31	5,09

Ciclo B.- Siembra o trasplante 2ª quincena de enero (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Enero</u>	16 al 31	0,29
<u>Febrero</u>	1 al 14	0,51
	15 al 28	0,94
<u>Marzo</u>	1 al 15	1,99
	16 al 31	2,88
<u>Abril</u>	1 al 15	4,39
	16 al 30	4,66
<u>Mayo</u>	1 al 15	5,08
	16 al 31	5,04
<u>Junio</u>	1 al 15	5,48
	16 al 31	5,09

Ciclo C.- Siembra o trasplante 1ª quincena de febrero (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Febrero</u>	1 al 14	0,34
	15 al 28	0,75
<u>Marzo</u>	1 al 15	1,7
	16 al 31	2,56
<u>Abril</u>	1 al 15	3,39
	16 al 30	4,66
<u>Mayo</u>	1 al 15	5,08
	16 al 31	5,54
<u>Junio</u>	1 al 15	5,48
	16 al 31	5,09

Ciclo D.- Siembra o trasplante 2ª quincena de febrero (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Febrero</u>	15 al 28	0,56
<u>Marzo</u>	1 al 15	1,43
	16 al 31	2,24
<u>Abril</u>	1 al 15	3,59
	16 al 30	4,66
<u>Mayo</u>	1 al 15	5,08
	16 al 31	5,04
<u>Junio</u>	1 al 15	5,48
	16 al 31	5,09

Ciclo E.- Siembra o trasplante 1ª quincena de marzo (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Marzo</u>	1 al 15	0,85
	16 al 31	1,6
<u>Abril</u>	1 al 15	2,79
	16 al 30	3,81
<u>Mayo</u>	1 al 15	5,08
	16 al 31	5,54
<u>Junio</u>	1 al 15	6,09
	16 al 31	5,73
<u>Julio</u>	1 al 15	4,86



## 1.7 Cultivo de pepino holandés en invernadero

Ciclo A.- Siembra o trasplante 1ª quincena de agosto (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Agosto</u>	1 al 15	1,63
	16 al 31	2,95
<u>Septiembre</u>	1 al 15	3,68
	16 al 30	3,8
<u>Octubre</u>	1 al 15	4,21
	16 al 31	3,39
<u>Noviembre</u>	1 al 15	2,4
	16 al 30	2,04
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,78
	16 al 31	1,41
<u>Enero</u>	1 al 15	1,19
	16 al 31	1,31
<u>Febrero</u>	1 al 14	1,53
	15 al 28	1,69

Ciclo B.- Siembra o trasplante 2ª quincena de agosto (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Agosto</u>	16 al 31	1,48
	1 al 15	2,75
<u>Septiembre</u>	16 al 30	3,04
	1 al 15	3,51
<u>Octubre</u>	16 al 31	3,39
	1 al 15	2,4
<u>Noviembre</u>	16 al 30	2,04
	1 al 15	1,94
<u>Diciembre</u>	16 al 31	1,41
	1 al 15	1,19
<u>Enero</u>	16 al 31	1,31
	1 al 14	1,53
<u>Febrero</u>	15 al 28	1,69

Ciclo C.- Siembra o trasplante 1ª quincena de septiembre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Septiembre</u>	1 al 15	1,38
	16 al 30	2,28
<u>Octubre</u>	1 al 15	2,81
	16 al 31	2,83
<u>Noviembre</u>	1 al 15	2,4
	16 al 30	2,04
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,94
	16 al 31	1,41
<u>Enero</u>	1 al 15	1,46
	16 al 31	1,31
<u>Febrero</u>	1 al 14	1,53
	15 al 28	1,69

Ciclo D.- Siembra o trasplante 2ª quincena de septiembre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Septiembre</u>	16 al 30	1,14
	1 al 15	2,11
<u>Octubre</u>	16 al 31	2,26
	1 al 15	2
<u>Noviembre</u>	16 al 30	2,04
	1 al 15	1,94
<u>Diciembre</u>	16 al 31	1,41
	1 al 15	1,46
<u>Enero</u>	16 al 31	1,31
	1 al 14	1,53
<u>Febrero</u>	15 al 28	1,69

Ciclo E.- Siembra o trasplante 1ª quincena de octubre (en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Octubre</u>	1 al 15	1,05
	16 al 31	1,7
<u>Noviembre</u>	1 al 15	1,6
	16 al 30	1,7
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,94
	16 al 31	1,55
<u>Enero</u>	1 al 15	1,46
	16 al 31	1,61
<u>Febrero</u>	1 al 14	1,53
	15 al 28	1,69

## 1.8 Cultivo de pimiento tipo “California” en invernadero

Ciclo A.- Trasplante 2ª quincena de junio (necesidades en lts/m2.día)

Meses	Quincenas	lts/m2.día
<u>Junio</u>	16 al 30	1,91
<u>Julio</u>	1 al 15	3,04
	16 al 31	4,21
<u>Agosto</u>	1 al 15	4,34
	16 al 31	4,44
<u>Septiembre</u>	1 al 15	4,05
	16 al 30	4,18
<u>Octubre</u>	1 al 15	3,86
	16 al 31	3,11
<u>Noviembre</u>	1 al 15	2,2
	16 al 30	1,88
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,78
	16 al 31	1,29
<u>Enero</u>	1 al 15	1,19
	16 al 31	1,31
<u>Febrero</u>	1 al 14	1,36
	15 al 28	1,5

Ciclo C.- Trasplante 2ª quincena de julio (necesidades en lts/m2.día)

Meses	Quincenas	lts/m2.día
<u>Julio</u>	16 al 31	1,8
<u>Agosto</u>	1 al 15	2,18
	16 al 31	2,46
<u>Septiembre</u>	1 al 15	3,21
	16 al 30	3,04
<u>Octubre</u>	1 al 15	3,16
	16 al 31	3,11
<u>Noviembre</u>	1 al 15	2,2
	16 al 30	1,88
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,78
	16 al 31	1,29
<u>Enero</u>	1 al 15	1,19
	16 al 31	1,31
<u>Febrero</u>	1 al 14	1,36
	15 al 28	1,5

Ciclo B.- Trasplante 1ª quincena de julio (necesidades en lts/m2.día)

Meses	Quincenas	lts/m2.día
<u>Julio</u>	1 al 15	1,83
	16 al 31	3,01
<u>Agosto</u>	1 al 15	3,8
	16 al 31	3,94
<u>Septiembre</u>	1 al 15	4,13
	16 al 30	4,18
<u>Octubre</u>	1 al 15	3,86
	16 al 31	3,11
<u>Noviembre</u>	1 al 15	2,2
	16 al 30	1,88
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,78
	16 al 31	1,29
<u>Enero</u>	1 al 15	1,19
	16 al 31	1,31
<u>Febrero</u>	1 al 14	1,36
	15 al 28	1,5

## 1.9 Cultivo de pimiento tipo “lamullo” en invernadero

Ciclo A.- Trasplante 2ª quincena de julio (necesidades en lts/m2.día)

Meses	Quincenas	lts/m2.día
<u>Julio</u>	16 al 31	1,8
<u>Agosto</u>	1 al 15	2,18
	16 al 31	2,46
<u>Septiembre</u>	1 al 15	3,21
	16 al 30	3,04
<u>Octubre</u>	1 al 15	3,16
	16 al 31	3,11
<u>Noviembre</u>	1 al 15	2,2
	16 al 30	1,88
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,78
	16 al 31	1,41
<u>Enero</u>	1 al 15	1,33
	16 al 31	1,31
<u>Febrero</u>	1 al 15	1,19
	16 al 31	1,31
<u>Marzo</u>	1 al 15	1,7
	16 al 31	1,93
<u>Abril</u>	1 al 15	2,79
	16 al 30	3,39
<u>Mayo</u>	1 al 15	4,15
	16 al 31	4,54

Ciclo B.- Trasplante 1ª quincena de agosto (necesidades en lts/m2.día)

Meses	Quincenas	lts/m2.día
<u>Agosto</u>	1 al 15	1,63
	16 al 31	1,98
<u>Septiembre</u>	1 al 15	2,3
	16 al 30	2,66
<u>Octubre</u>	1 al 15	2,81
	16 al 31	2,54
<u>Noviembre</u>	1 al 15	2,2
	16 al 30	1,88
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,78
	16 al 31	1,41
<u>Enero</u>	1 al 15	1,33
	16 al 31	1,31
<u>Febrero</u>	1 al 15	1,19
	16 al 31	1,31
<u>Marzo</u>	1 al 15	1,7
	16 al 31	1,93
<u>Abril</u>	1 al 15	2,79
	16 al 30	3,39
<u>Mayo</u>	1 al 15	4,15
	16 al 31	4,54

Ciclo C.- Trasplante 2ª quincena de agosto (necesidades en lts/m2.día)

Meses	Quincenas	lts/m2.día
<u>Agosto</u>	16 al 31	1,48
<u>Septiembre</u>	1 al 15	1,84
	16 al 30	1,9
<u>Octubre</u>	1 al 15	2,46
	16 al 31	2,26
<u>Noviembre</u>	1 al 15	1,8
	16 al 30	1,88
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,78
	16 al 31	1,41
<u>Enero</u>	1 al 15	1,33
	16 al 31	1,31
<u>Febrero</u>	1 al 15	1,19
	16 al 31	1,31
<u>Marzo</u>	1 al 15	1,7
	16 al 31	1,93
<u>Abril</u>	1 al 15	2,79
	16 al 30	3,39
<u>Mayo</u>	1 al 15	4,15
	16 al 31	4,54

Ciclo D.- Trasplante 1ª quincena de septiembre (necesidades en lts/m2.día)

Meses	Quincenas	lts/m2.día
<u>Septiembre</u>	1 al 15	1,38
	16 al 30	1,53
<u>Octubre</u>	1 al 15	1,76
	16 al 31	1,98
<u>Noviembre</u>	1 al 15	1,6
	16 al 30	1,53
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,78
	16 al 31	1,41
<u>Enero</u>	1 al 15	1,33
	16 al 31	1,31
<u>Febrero</u>	1 al 15	1,36
	16 al 31	1,31
<u>Marzo</u>	1 al 15	1,7
	16 al 31	1,93
<u>Abril</u>	1 al 15	2,79
	16 al 30	3,39
<u>Mayo</u>	1 al 15	4,15
	16 al 31	4,54

## 1.10 Cultivo de tomate de en invernadero

### 1.10.1 otoño

Ciclo A.- Trasplante 1ª quincena de agosto (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Agosto</u>	1 al 15	1,63
	16 al 31	2,95
<u>Septiembre</u>	1 al 15	3,68
	16 al 30	3,8
<u>Octubre</u>	1 al 15	4,21
	16 al 31	3,39
<u>Noviembre</u>	1 al 15	2,4
	16 al 30	2,04
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,94
	16 al 31	1,55
<u>Enero</u>	1 al 15	1,59
	16 al 31	1,46
<u>Febrero</u>	1 al 15	1,7
	16 al 31	1,88
<u>Marzo</u>	1 al 15	2,84
	16 al 31	2,88
<u>Abril</u>	1 al 15	3,19
	16 al 30	3,39
<u>Mayo</u>	1 al 15	3,69
	16 al 31	4,03

Ciclo B.- Trasplante 2ª quincena de agosto (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Agosto</u>	16 al 31	1,48
<u>Septiembre</u>	1 al 15	2,75
	16 al 30	3,04
<u>Octubre</u>	1 al 15	3,51
	16 al 31	3,39
<u>Noviembre</u>	1 al 15	2,4
	16 al 30	2,04
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,94
	16 al 31	1,55
<u>Enero</u>	1 al 15	1,59
	16 al 31	1,46
<u>Febrero</u>	1 al 15	1,7
	16 al 31	1,88
<u>Marzo</u>	1 al 15	2,84
	16 al 31	2,88
<u>Abril</u>	1 al 15	3,19
	16 al 30	3,39
<u>Mayo</u>	1 al 15	3,69
	16 al 31	4,03

Ciclo C.- Trasplante 1ª quincena de septiembre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Septiembre</u>	1 al 15	1,38
	16 al 30	2,28
<u>Octubre</u>	1 al 15	2,81
	16 al 31	2,83
<u>Noviembre</u>	1 al 15	2,4
	16 al 30	2,04
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,94

<u>Enero</u>	16 al 31	1,55
	1 al 15	1,59
<u>Febrero</u>	16 al 31	1,46
	1 al 15	1,7
<u>Marzo</u>	16 al 31	1,88
	1 al 15	2,84
<u>Abril</u>	16 al 31	2,88
	1 al 15	3,19
<u>Mayo</u>	16 al 30	3,39
	1 al 15	3,69
	16 al 31	4,03

Ciclo D.- Trasplante 2ª quincena de septiembre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Septiembre</u>	16 al 30	1,14
<u>Octubre</u>	1 al 15	2,81
	16 al 31	2,11
<u>Noviembre</u>	1 al 15	2,26
	16 al 30	2
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,94
	16 al 31	1,55
<u>Enero</u>	1 al 15	1,59
	16 al 31	1,75
<u>Febrero</u>	1 al 15	1,7
	16 al 31	1,88
<u>Marzo</u>	1 al 15	2,84
	16 al 31	2,88
<u>Abril</u>	1 al 15	3,19
	16 al 30	3,39
<u>Mayo</u>	1 al 15	3,69
	16 al 31	4,03

Ciclo E.- Trasplante 1ª quincena de octubre (necesidades en lts/m<sup>2</sup>.día)

Meses	Quincenas	lts/m <sup>2</sup> .día
<u>Octubre</u>	1 al 15	1,05
	16 al 31	1,7
<u>Noviembre</u>	1 al 15	1,6
	16 al 30	1,7
<u>Diciembre</u>	1 al 15	1,94
	16 al 31	1,55
<u>Enero</u>	1 al 15	1,59
	16 al 31	1,75
<u>Febrero</u>	1 al 15	1,7
	16 al 31	1,88
<u>Marzo</u>	1 al 15	2,84
	16 al 31	3,2
<u>Abril</u>	1 al 15	3,59
	16 al 30	3,39
<u>Mayo</u>	1 al 15	3,69
	16 al 31	4,03

### 1.10.2 primavera

Ciclo A.- Trasplante 1ª quincena de diciembre (necesidades en lts/m2.día)

Meses	Quincenas	lts/m2.día
<u>Diciembre</u>	1 al 15	0,4
	16 al 31	0,65
<u>Enero</u>	1 al 15	0,93
	16 al 31	1,31
<u>Febrero</u>	1 al 14	1,88
	15 al 28	2,25
<u>Marzo</u>	1 al 15	3,4
	16 al 30	3,84
<u>Abril</u>	1 al 15	4,39
	16 al 30	4,24
<u>Mayo</u>	1 al 15	4,15
	16 al 31	4,03
<u>Junio</u>	1 al 15	4,88
	16 al 30	5,09

Ciclo B.- Trasplante 2ª quincena de diciembre (necesidades en lts/m2.día)

Meses	Quincenas	lts/m2.día
<u>Diciembre</u>	16 al 31	0,33
<u>Enero</u>	1 al 15	0,66
	16 al 31	1,03
<u>Febrero</u>	1 al 14	1,53
	15 al 28	2,06
<u>Marzo</u>	1 al 15	3,4
	16 al 30	3,84
<u>Abril</u>	1 al 15	4,79
	16 al 30	4,66
<u>Mayo</u>	1 al 15	4,61
	16 al 31	4,54
<u>Junio</u>	1 al 15	4,88
	16 al 30	5,09

Ciclo C.- Trasplante 1ª quincena de enero (necesidades en lts/m2.día)

Meses	Quincenas	lts/m2.día
<u>Enero</u>	1 al 15	0,34
	16 al 31	0,74
<u>Febrero</u>	1 al 14	1,19
	15 al 28	1,69
<u>Marzo</u>	1 al 15	3,13
	16 al 30	3,84
<u>Abril</u>	1 al 15	4,79
	16 al 30	5,09
<u>Mayo</u>	1 al 15	5,08
	16 al 31	5,04
<u>Junio</u>	1 al 15	5,48
	16 al 30	5,09

Ciclo D.- Trasplante 2ª quincena de enero (necesidades en lts/m2.día)

Meses	Quincenas	lts/m2.día
<u>Enero</u>	16 al 31	0,44
<u>Febrero</u>	1 al 14	1,03
	15 al 28	1,5
<u>Marzo</u>	1 al 15	2,84
	16 al 30	3,84
<u>Abril</u>	1 al 15	4,79
	16 al 30	5,09
<u>Mayo</u>	1 al 15	5,08
	16 al 31	5,04
<u>Junio</u>	1 al 15	5,48
	16 al 30	5,09

---

## ANEXO 3. Extracciones periódicas de nutrientes de los principales cultivos hortícolas.

Estos datos están referidos al Campo de Cartagena (Murcia), Finca Torreblanca. El tipo de suelo es franco arcilloso, con agua procedente del Postravase Tajo-Segura (CE:  $1 \pm 0.5$  dS/m), 30 – 40 mm de riego de plantación y 20 - 25 mm de riego de agarre. Los datos se han recopilado de las referencias mencionadas.

### 1 Extracciones

#### 1.1 Extracciones periódicas de nutrientes del tomate en invernadero.

Ciclo de cultivo: 1/3-31/7. Producción: 15-17 kg/m<sup>2</sup> Densidad: 2,5 plantas/m<sup>2</sup>

Días	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		Ca		Mg	
	kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día
0 – 21	7,5	0,4	3	0,15	11	0,5	7,5	0,4	4	0,2
21 – 42	57	2,7	17,5	0,8	78	3,7	52	2,5	250	1
42 – 63	100	4,8	27,5	1,3	169	8	80	3,8	34	1,6
63 – 84	108	5,1	30	1,4	188	9	93	4,4	28	1,3
84 – 105	92	4,4	26	1,2	144	6,9	66	3,1	22	1
105 -126	46	2,2	16,5	0,8	80	3,8	38	1,8	12	0,6
<b>Total</b>	<b>410,5</b>		<b>120,5</b>		<b>670</b>		<b>336,5</b>		<b>120</b>	

#### Extracciones periódicas de nutrientes del tomate de industria

(días)	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		Ca		Mg	
	kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día
0 – 15	3	0,2	1	0,06	5	0,33	2	0,13	1	0,06
16 – 30	7	0,46	2	0,13	10	0,66	5	0,33	3	0,2
31 – 40	10	1	3	0,3	15	1,5	10	1	5	0,5
41 – 50	15	1,5	5	0,5	20	2	15	1,5	5	0,5
51 – 60	20	2	6	0,6	30	3	20	2	6	0,6
61 – 70	25	2,5	7	0,7	35	3,5	20	2	6	0,6
71 – 80	30	3	8	0,8	40	4	25	2,5	7	0,7
81 - 90	30	3	8	0,8	45	4,5	20	2	5	0,5
91 - 100	25	2,5	8	0,8	45	4,5	20	2	5	0,5
101 110	20	2	7	0,7	35	3,5	15	1,5	5	0,5
111-120	15	1,5	5	0,5	20	2	8	0,8	2	0,2
<b>Total</b>	<b>200</b>		<b>60</b>		<b>300</b>		<b>160</b>		<b>50</b>	

#### 1.2 Extracciones periódicas de nutrientes del melón bajo invernadero.

(días)	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		Ca		Mg	
	kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día
0 - 35	10	0,3	2	0,03	15	0,5	14	0,40	5	0,15
35 - 65	40	1,3	5	0,16	60	2	60	3,00	20	0,70
65 - 85	70	3,5	16	0,80	110	5,5	56	2,80	25	1,25
85 - 105	60	3	25	1,25	105	5,25	25	1,25	15	0,75
105-125	30	1	32	1,60	100	5	10	0,50	10	0,5
125-150	15	0,5	10	0,60	60	3	-	-	10	0,5
<b>Total</b>	<b>225</b>	<b>---</b>	<b>90</b>	<b>---</b>	<b>450</b>	<b>---</b>	<b>165</b>	<b>---</b>	<b>85</b>	

### 1.3 Extracciones periódicas de nutrientes del pimiento grueso en invernadero.

(días)	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		Ca		Mg	
	kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día
0 – 30	1	0,03	0,5	0,02	2	0,1	0,5	0,02	0,3	0,015
30 – 50	7	0,35	2,5	0,12	10	0,5	3	0,15	1,5	0,075
50 – 70	17	0,85	3,6	0,18	25	1,25	8	0,4	4	0,2
70 – 90	20	1	5,5	0,27	32	1,6	12	0,6	5	0,25
90 – 110	25	1,25	10	0,5	55	2,75	18	0,9	8	0,4
110 -130	45	2,3	16	0,8	85	4,25	21	1,05	12	0,6
130 -150	65	3,3	20	1	100	5	21	1,05	12	0,6
150 -170	65	3,3	18	0,9	85	4,25	20	1	10	0,5
170 -190	60	3	12	0,6	75	3,75	16	0,8	7	0,35
190 -210	40	2	10	0,5	60	3	15	0,75	5	0,25
<b>Total</b>	<b>345</b>		<b>98</b>		<b>529</b>		<b>134</b>		<b>54,8</b>	

### 1.4 Extracciones periódicas de nutrientes del brócoli durante el ciclo de cultivo.

Recolección de inflorescencia principal y secundarias.

(días)	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		Ca		Mg	
	kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día
0 – 15	7,5	0,5	3	2	15	1	9	0,6	1	0,1
16 – 30	22,5	1,5	6	5	37,5	2,5	13,5	0,9	2,5	0,15
31 – 45	37,5	2,5	11,5	0,75	67,5	4,5	25,5	1,7	4,5	0,3
46 – 60	45	3	22,5	1,5	75	5	30	2	6	0,4
61 – 75	75	5	30	3	100	6,5	40	2,7	9	0,6
76 – 90	97,5	6,5	37	2,5	142,5	9,5	64,5	4,3	12	0,8
9 – 105	90	6	15	1	112,5	7,5	67,5	4,5	9	0,6
<b>Total</b>	<b>375</b>		<b>125</b>		<b>550</b>		<b>250</b>		<b>44</b>	

### Extracciones periódicas de nutrientes de brócoli. (Rincón et al 1998) .

Varietal Maratón. Recolección inflorescencia principal

(días)	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		Ca		Mg	
	kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día
0 – 31	16	0,5	3	0,1	17	0,5	14	0,4	1	
31 – 53	51	2,3	15	0,7	54	2,5	52	2,4	8	0,4
53 – 73	106	5,3	34	1,7	128	6,4	68	3,4	9	0,4
73 – 87	70	5	14	1	88	6,3	86	6,1	5	0,3
<b>Total</b>	<b>243</b>		<b>66</b>		<b>287</b>		<b>220</b>		<b>23</b>	

### Extracciones periódicas de nutrientes de la alcachofa durante el ciclo de cultivo.

(días)	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		Ca		Mg	
	kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día
0 - 30	7,5	0,25	2,5	0,08	7,0	0,23	4,5	0,15	1,2	0,04
31 - 60	12,5	0,4	5,0	0,17	17,5	0,5	7,5	0,25	2,0	0,17
61 - 90	42,5	1,4	17,5	0,5	52,5	1,75	22,5	0,75	6,0	0,2
91 - 120	22,5	0,75	7,5	0,25	28,0	0,9	15	0,5	4,0	0,13
121 -150	12,5	0,4	6,2	0,2	17,5	0,5	7,5	0,25	2,0	0,17
151 -180	22,5	0,75	8,7	0,3	56,0	1,8	22,5	0,75	6,0	0,2
181 -210	47,5	1,6	20,0	0,7	38,5	1,3	30	1	8,0	0,27
211 -240	60	2	27,5	0,9	94,5	3,15	30	1	8,0	0,27
241 -270	22,5	0,75	30,0	1	38,5	1,3	10,5	0,35	2,8	0,9
<b>Total</b>	<b>250</b>		<b>125</b>		<b>350</b>		<b>150</b>		<b>40</b>	



**Extracciones periódicas de nutrientes del tomate de industria.**

(días)	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		Ca		Mg	
	kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día
0 – 15	3	0,2	1	0,06	5	0,33	2	0,13	1	0,06
16 – 30	7	0,46	2	0,13	10	0,66	5	0,33	3	0,2
31 – 40	10	1	3	0,3	15	1,5	10	1	5	0,5
41 – 50	15	1,5	5	0,5	20	2	15	1,5	5	0,5
51 – 60	20	2	6	0,6	30	3	20	2	6	0,6
61 – 70	25	2,5	7	0,7	35	3,5	20	2	6	0,6
71 – 80	30	3	8	0,8	40	4	25	2,5	7	0,7
81 - 90	30	3	8	0,8	45	4,5	20	2	5	0,5
91 - 100	25	2,5	8	0,8	45	4,5	20	2	5	0,5
101 -110	20	2	7	0,7	35	3,5	15	1,5	5	0,5
111 120	15	1,5	5	0,5	20	2	8	0,8	2	0,2
<b>Total</b>	<b>200</b>		<b>60</b>		<b>300</b>		<b>160</b>		<b>50</b>	

**Extracciones periódicas de nutrientes del pimiento para pimentón.**

Producción: 5.000-6.000 kg/ha.

(días)	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		Ca		Mg	
	kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día
0 – 15	5	0,33	5	0,33	5	0,33	2	0,13	0,5	0,03
16 – 30	10	0,66	10	0,66	20	1,33	5	0,33	1,5	0,1
31 – 45	20	1,33	15	1	30	2	8	0,53	2,5	0,16
46 – 60	25	1,66	20	1,33	40	2,66	10	0,66	4,5	0,3
61 – 75	30	2	20	1,33	45	3	15	1	6	0,4
76 – 90	35	2,33	20	1,33	45	3	15	1	4,5	0,3
91 – 105	35	2,33	15	1	50	3,33	15	1	4,5	0,3
106 -120	30	2	15	1	45	3	10	0,66	3	0,2
121 -135	20	1,33	10	0,66	25	1,66	10	0,66	1,5	0,1
136 -150	15	1	5	0,33	20	1,33	5	0,33	1,5	0,1
<b>Total</b>	<b>225</b>		<b>135</b>		<b>325</b>		<b>90</b>		<b>30</b>	

**1.5 Extracciones periódicas de nutrientes de la lechuga.**

(días)	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		Ca		Mg	
	kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	Kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día	Kg/ha	kg/ha.día
0 – 15	1	0,06	0,5	0,03	2	0,15	0,5	0,03	0,2	0,01
16 – 30	3	0,2	1,5	0,1	8	0,5	1,5	0,1	0,5	0,03
31 – 45	6	0,4	2	0,15	15	1	3	0,2	0,8	0,05
46 – 60	10	0,7	4	0,25	25	1,7	5	0,3	1,5	0,1
61 – 75	15	1	8	0,5	35	2,4	6	0,4	2,5	0,15
76 – 90	20	1,3	12	0,8	50	3,3	9	0,6	3,5	0,25
91 – 105	25	1,7	15	1	65	4,3	10	0,8	4,5	0,3
105–120	20	1,3	15	1	45	3	10	0,8	1,5	0,1
<b>Total</b>	<b>100</b>		<b>58</b>		<b>245</b>		<b>45</b>		<b>15</b>	

### Referencia bibliográficas.

- BEVERLY R.B., JARREL W. M., LETEY J. 1986. A nitrogen and water response surface for sprinkler-irrigated broccoli. *Agron. J.* 78 : 91 - 94.
- BHELLA H. 1985. Musmelon growth, yield, and nutrition as influenced by planting method and trickle irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110 (6): 793-796.
- BHELLA H., WILCOX G. 1985. Nitrogen fertilization and muskmelon growth, yield and nutrition. *Proceedings of the Third International Drip Irrigation Congress*. Vol. 1: 339-341.
- BHELLA H., WILCOX G., 1986. Yield and composition of musmelon as influenced by preplant and trickle applied nitrogen. *HortScience* 21 (1): 86-88.
- CORNILLÓN P. 1974. Roissance et développement du piment doux sous serre. Besoins en éléments minéraux. *Pép.Hort.Mar.*, 148, pp: 41-51.
- DEMCHAK K.T., SMITH C.B. 1990. Yield responses and nutrient uptake of broccoli as affected by lime type and fertilizer. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115 (5) : 734 - 740.
- LETEY J., JARRELL M., VALORAS N., BEVERLY R. 1983. Fertilizer application and irrigation management of broccoli production and fertilizer use efficiency. *Agronomy Journal*, 75, May-June: 502-507.
- LOCASCIO S., FISKELL J., GRAETZ D., HAUCK R. 1985. Nitrogen accumulation by pepper as influenced by mulch and time of fertilizer application. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110 (3): 325-328.
- MAGNIFICO V., LATTANCIO V. 1976. Ritmo di asportazione di elementi nutritivi (N,P e K) nelle diverse fasi del ciclo di una carciogaia. *Riv. di Agronomia*, 10: 273-281.
- MAGNIFICO V., LATTANCIO V., SARLI G. 1979. Growth and nutrient removal by broccoli. *J. Amer. Hort. Sci.* 104 (2): 201-203.
- MILLER C., MCCOLLUM R., CLAIMON C. 1979. Relationships between growth of bell peppers (*Capsicum annum* L.) and nutrient accumulation during ontogeny in field environments. *J. Amer. Soc. Hort.Sci.* 104 (6): 852-857.
- POMARES F. 1995. La fertilización en el cultivo de la alcachofa. *Agrícola Vergel* Septiembre: 509-516
- RINCÓN L. 1996. Riego y fertilización de la alcachofa en riego por goteo. *Jornadas técnicas sobre la Alcachofa*. Tudela.
- RINCÓN L. 1997. Fertilización del melón en riego por goteo. En "Melones". Ediciones de Horticultura. pp 86-94.
- RINCÓN L., GOMEZ M.D. 1996. Fertilización del brócoli y de la lechuga iceberg en cultivo con riego localizado. *Hortoinformación* nº 71: 33-36.
- RINCÓN L., SÁEZ J., BALSALOBRE E. 1990. Extracción de macronutrientes en cultivo de tomate de crecimiento indeterminado. *Agrícola Vergel* nº 112: 211-219.
- RINCÓN L., SÁEZ J., BALSALOBRE E. 1995. Crecimiento y absorción de nutrientes del pimiento grueso bajo invernadero. *Investigación Agraria*. Vol.10 (1): 47-59.
- RINCÓN L., SAEZ J., BALSALOBRE E., PELLICER M.C. 1993. Extracción de macronutrientes del pimiento grueso de invernadero. En prensa.
- RINCÓN L., SÁEZ J., PÉREZ J.A. 1996. Growth and nutrient absorption of muskmelon crop under greenhouse conditions. *Acta Horticulturae* 458: 153-159.

## **ANEXO 4. Hojas de cálculo para ajuste de soluciones de ferti-riego**

Por la naturaleza de los programas utilizados en su confección, la información correspondiente a este anexo solo está disponible en la versión electrónica de este documento. Si no dispone del CD, puede:

- ✓ Solicitar una copia a los autores.
- ✓ Acceder a la página web de la RED XIX.A de CYTED y descargar la aplicación.

### [Hoja de cálculo Para ajuste de soluciones de ferti-riego.](#)

Elaborada por:

Dr. D. Francisco zapata Navas

Universidad Central de Venezuela

[franciscozapatanavas@cantv.net](mailto:franciscozapatanavas@cantv.net)

### [Hoja de cálculo Para ajuste de soluciones de ferti-riego milimolares.](#)

Elaborada por:

Dr. D. José Miguel Guzmán Palomino

Dpto Producción Vegetal. Universidad de Almería

[mguzman@ual.es](mailto:mguzman@ual.es)



## ANEXO 5. Relación de participantes

### 1 TERCERA REUNIÓN DE TRABAJO RED XIX.A CYTED

#### ✓ PROYECTO SOBRE PROTECCIÓN DE CULTIVOS EN ÁREAS INTERTROPICALES: COMPETITIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD

- ✓ **Curso de Formación sobre Platicultura y Tecnología de Riego, Coordinado por el doctor José López-Gálvez, y Taller Científico Técnico sobre Fertirriego, Coordinado por el doctor José Miguel Guzmán Palomino.**

Realizados en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, del 23 al 25 de septiembre de 2002.

#### Participantes:

Nombre	Institución	País	E-Mail
Acuña, John Fabio	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá	Colombia	<a href="mailto:johnfabio@lycos.com">johnfabio@lycos.com</a> <a href="mailto:facuna@ing.unal.edu.co">facuna@ing.unal.edu.co</a>
Baquero, Germán	Asocolflores	Colombia	<a href="mailto:germanb2@tutopia.com">germanb2@tutopia.com</a>
Campos, Armando	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá	Colombia	<a href="mailto:acamposr@bacata.usc.unal.edu.co">acamposr@bacata.usc.unal.edu.co</a>
Campos, Ricardo	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá	Colombia	<a href="mailto:rcampos@bacata.usc.unal.edu.co">rcampos@bacata.usc.unal.edu.co</a>
Castillo H., Maria Antonieta	UNERG-COVEPLA	Venezuela	<a href="mailto:adiestracovepla@cantv.net">adiestracovepla@cantv.net</a>
Estrada, Edgar Iván	Universidad Nacional de Colombia, Palmira	Colombia	<a href="mailto:precoso@latinmail.com">precoso@latinmail.com</a>
Flórez, Víctor	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá	Colombia	<a href="mailto:vjflorez@bacata.usc.unal.edu.co">vjflorez@bacata.usc.unal.edu.co</a>
Guzmán Palomino, J. Miguel	Universidad de Almería	España	<a href="mailto:mguzman@ual.es">mguzman@ual.es</a>
López Gálvez, José	CYTED Universidad de Almería	España	<a href="mailto:jlgalvez@ual.es">jlgalvez@ual.es</a>
Martínez E., Rene	Universidad Autónoma de Chapingo	México	<a href="mailto:reneme@taurusi.chapingo.mx">reneme@taurusi.chapingo.mx</a>
Mary, Wellington	Universidad Federal Rural Rio de Janeiro	Brasil	<a href="mailto:wmary@agr.unicamp.br">wmary@agr.unicamp.br</a>
Méndez, Carlos H.	Instituto de Investigaciones Agrícolas Universidad de Costa Rica	Costa Rica	<a href="mailto:cmendez@cariari.ucr.ac.cr">cmendez@cariari.ucr.ac.cr</a>
Miranda Lasprilla, Diego	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá	Colombia	<a href="mailto:dmiranda@bacata.usc.unal.edu.co">dmiranda@bacata.usc.unal.edu.co</a>
Montenegro, Hugo	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá	Colombia	<a href="mailto:hmgonzal@bacata.usc.unal.edu.co">hmgonzal@bacata.usc.unal.edu.co</a>
Moratinos, Humberto	Universidad Central de Venezuela	Venezuela	<a href="mailto:moratinosh@agr.ucv.ve">moratinosh@agr.ucv.ve</a>
Parra, Ricardo	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá	Colombia	<a href="mailto:ricarpar@tutopia.com">ricarpar@tutopia.com</a>
Puente, Luis H.	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá	Colombia	<a href="mailto:hpuentes@yahoo.com">hpuentes@yahoo.com</a>
Rodríguez Díaz, Eduardo	Universidad de Guadalajara	México	<a href="mailto:erodrig@cucba.udg.mx">erodrig@cucba.udg.mx</a>
Rodríguez, Mariela	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá	Colombia	<a href="mailto:clisne2001@yahoo.com.ar">clisne2001@yahoo.com.ar</a>
Rojas, Roy	Ministerio de Agricultura y Ganadería	Costa Rica	<a href="mailto:rorogdo@hotmail.com">rorogdo@hotmail.com</a>
Salazar, Carlos A.	Universidad Nacional de Colombia, Medellín	Colombia	<a href="mailto:casalaza@epn.net">casalaza@epn.net</a>
Sánchez, Boris	Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá	Panamá	<a href="mailto:boris.sanchez@hotmail.com">boris.sanchez@hotmail.com</a>
Urbano, Elizabeth	Escuela Politécnica del Ejército	Ecuador	<a href="mailto:eliurbano@hotmail.com">eliurbano@hotmail.com</a>
Villalobos, Roberto	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá	Colombia	<a href="mailto:rvilla123@yahoo.com">rvilla123@yahoo.com</a>
Zapata, Francisco	Universidad Central de Venezuela	Venezuela	<a href="mailto:zapataf@telefonica.es">zapataf@telefonica.es</a>
Zurita, Jorge	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá	Colombia	<a href="mailto:jorgezurita@yahoo.com">jorgezurita@yahoo.com</a>

## 2 "TALLER SOBRE FERTIRRIGACIÓN"

Junio 3 y 4 de 2004. Colegio de Postgraduados, Montecillo México.

### AREA DE NUTRICIÓN VEGETAL

NOMBRE	DIRECCIÓN
Vicente Angeles Montiel	Universidad Autónoma Chapingo Km. 38.5 carretera México-Texcoco CP-056230 Correo electrónico: <a href="mailto:vangeles@chapingo.mx">vangeles@chapingo.mx</a>
Fernando Bienvenido	Universidad de Almeria/CYTED XIX.I Universidad de Almeria-Crtra. Sacramento s/n La Cañada - E04120 Almeria Correo electrónico: <a href="mailto:fbienven@ual.es">fbienven@ual.es</a>
Basilio Brizuela A. Pérez	Colegio de Postgraduados Km.35.5 carretera México-Texcoco CP-56230 Correo electrónico: <a href="mailto:basilio@colpos.mx">basilio@colpos.mx</a>
Ruben Bugarin Montoya	Facultad de Agricultura Universidad Autónoma de Nayarit Correo electrónico: <a href="mailto:rbugarin@nayar.uan.mx">rbugarin@nayar.uan.mx</a>
José López Galvez	CYTED-RED-XIX.A C/Alcalde Muñoz, 19-20 04004 Almeria-España Correo electrónico: <a href="mailto:jlgalvez@ual.es">jlgalvez@ual.es</a>
René Martínez Elizondo	Universidad Autónoma Chapingo Km. 38.5 carretera México- Texcoco CP-56230 Correo electrónico: <a href="mailto:reneme@chapingo.mx">reneme@chapingo.mx</a>
Ariel Peña Sosa	Plásticos Rex S.A. de C.V. Av. Romulo O'Farril 434, Olivar de los Padres México, D. F. CP-01780 Correo electrónico: <a href="mailto:arpena@cydsa.com">arpena@cydsa.com</a>
Eduardo Rodríguez Díaz	Universidad de Guadalajara Km. 15 carretera Nogales Las Agujas, Zapopan, Jalisco - México Correo electrónico: <a href="mailto:erodrigu@cucba.udg.mx">erodrigu@cucba.udg.mx</a>
Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza	Colegio de Postgraduados Km. 35.5 carretera México- Texcoco CP-56230 Correo electrónico: <a href="mailto:marinie@colpos.mx">marinie@colpos.mx</a>
Manuel Sandoval Villa	Colegio de Postgraduados Km. 35.5 carretera México- Texcoco CP-56230 Correo electrónico: <a href="mailto:msandoval@colpos.mx">msandoval@colpos.mx</a>
Prometeo Sánchez García	Colegio de Postgraduados Km. 35.5 carretera México- Texcoco CP-56230 Correo Electrónico: <a href="mailto:promet@colpos.mx">promet@colpos.mx</a>
Arturo Galvis Spinola	Colegio de Postgraduados Km. 35.5 carretera México- Texcoco CP-56230 Correo electrónico: <a href="mailto:galvis@colpos.mx">galvis@colpos.mx</a>
Miguel Guzmán Palomino	Universidad de Almeria Crtra Sacramento s/n Costacabana 04120 Almeria Correo electrónico: <a href="mailto:mguzman@ual.es">mguzman@ual.es</a>
Teresa M. Hernández Mendoza	Universidad Autónoma Chapingo 38.5 carretera México- Texcoco CP-56230 Correo electrónico: <a href="mailto:teresahdz@correo.chapingo.mx">teresahdz@correo.chapingo.mx</a>