

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO E INYECCIÓN DE NUTRIMENTOS

CASO DE ESTUDIO

Presentada como Requisito Parcial
para Obtener el Grado de:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCIÓN TERMINAL EN AGROPLASTICULTURA



CENTRO DE INFORMACIÓN

07 ENE 2005

Por:

RECIBIDO BENITO GUSTAVO CORREA GONZÁLEZ

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre del 2004.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:
AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO E INYECCIÓN DE
NUTRIMENTOS**

PRESENTADO POR:

BENITO GUSTAVO CORREA GONZÁLEZ

REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCIÓN TERMINAL EN AGROPLASTICULTURA**

HA SIDO DIRIGIDO POR:

Dr. JUAN MUNGUÍA LÓPEZ

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre del 2004.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



A TRAVÉS DEL JURADO EXAMINADOR HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO

**AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO E INYECCIÓN DE
NUTRIMENTOS**

QUE PRESENTA:

BENITO GUSTAVO CORREA GONZÁLEZ

**HA SIDO ACEPTADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCIÓN TERMINAL EN AGROPLASTICULTURA**



PRESIDENTE



VOCAL

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág.
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iii
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivo	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
Antecedentes	3
Sistemas de riego aptos para la fertirrigación	4
Descripción del sistema riego	5
Cabezal	6
Sistema de filtrado	6
Hidrociclones	7
Principio del hidrociclón	7
Funcionamiento del hidrociclón	7
Filtros de arena	7
Perdidas de carga	8
Filtros de malla	8
Perdidas de carga	9
Filtros de anillas	9
Dispositivos para Fertirrigación en sistemas de riego localizado	10
Tanque fertilizante	10
Inyector tipo Venturi	11
Bombas de inyección	12
Bombas dosificadoras de accionamiento hidráulico	13
Bombas dosificadoras de accionamiento eléctrico	14
Control y automatización	15
Parámetros de control	17
Automatización por tiempos	17
Automatización por volúmenes	18
Otros parámetros de automatización	20
Fertirrigación y automatización	20
Criterios para la selección del equipo	22
Selección de fertilizantes	24
Fuentes fertilizantes solubles	26
Manejo de la solución nutritiva	28
Solubilidad de los fertilizantes	28
Temperatura	31
Compatibilidad química	31

Índice de sal de algunos fertilizantes	33
Criterios de manejo de pH	34
Comportamiento de los nutrimentos en fertirriego	35
La fertilidad del suelo y la fertilización	37
Indicaciones sobre la fertirrigación	38
Procedimiento para elaborar un programa de fertirrigación	38
III. ESTADO DEL CONOCIMIENTO	40
Evolución de la fertirrigación	40
Posibilidades y desafíos	41
Tendencias	42
Análisis de las cifras y los proyectos de inversión de la alianza para el campo	43
Desarrollo de la fertirrigación en México	44
Fertirrigación automatizada	44
IV. ÁREA DE OPORTUNIDAD	47
Aplicaciones	47
Aplicaciones en campo e invernadero	47
Áreas de oportunidad en México	48
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
NOMENCLATURA	52
REFERENCIAS	
ANEXOS	

INDICE DE CUADROS

CUADRO	CONTENIDO	Pág.
Cuadro 2.1	Eficiencia de los sistemas de riego	4
Cuadro 2.2	Comparación de los sistemas riego	5
Cuadro 2.3	Selección del tipo de filtro dependiendo del elemento contaminante	6
Cuadro 2.4	Características de las arenas más usuales	8
Cuadro 2.5	Equivalencia entre no. de mesh y mm	9
Cuadro 2.6	Características de los diversos niveles de automatismo y modos de operación	17
Cuadro 2.7	Solubilidad de algunos de los principales fertilizantes usados en fertirrigación	29
Cuadro 2.8	Fertilizantes más comunes, solubilidad y % de impureza (De Santiago, 2000)	30
Cuadro 2.9	Reacción térmica de algunos fertilizantes (Rodríguez, 2004).	31
Cuadro 2.10	Compatibilidad entre fertilizantes solubles (Fuente INTA, 2003)	32
Cuadro 2.11	Índices de sal de algunos fertilizantes.....	33
Cuadro 2.12	Reacción de los fertilizantes (Rodríguez, 2004)	34
Cuadro 2.13	Niveles de concentración de nutrientes en el suelo.....	37
Cuadro 3.1	Transformación de los sistemas de riego (Villafán, 1999)	45
Cuadro 3.2	Cifras de participación de los principales estados (Villafán, 1999)	45



I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de racionalizar los recursos hídricos, cada vez más esquilados, ha llevado a introducir nuevas tecnologías de riego que permitan un mayor control sobre el agua aplicada, y por lo tanto obtener mayores eficiencias reduciendo las dotaciones totales empleadas. El riego localizado de baja presión se manifiesta como la solución idónea para una gran variedad de cultivos, suelos y situaciones, tratándose en la actualidad de la solución que permite obtener mayores eficiencias de aplicación (E_a), mayor control y por tanto un ajuste exhaustivo de los volúmenes de agua aportadas.

El riego localizado se caracteriza, entre otras cuestiones por permitir aportar nutrimentos y productos químicos a través del agua de riego. Esta característica da lugar a la técnica conocida como fertirrigación. Paralelamente a la implantación de los sistemas de riego localizado, en los últimos años el mayor desarrollo tecnológico ha sido orientado a mejorar los sistemas de fertirrigación, automatización y gestión de las instalaciones, llegándose al caso de que en determinados cultivos la fertirrigación no es una característica complementaria que presenta el riego, sino que esta adquiere verdadero protagonismo en el funcionamiento de la instalación, condicionando el riego al aporte de fertilizantes.

La aplicación de fertilizantes para el desarrollo de los cultivos es una práctica común y ampliamente utilizada por los productores de cultivos hortícolas alrededor del mundo. La forma y los medios de aplicación han variado y evolucionado, y los sistemas han ido mejorando la precisión en las cantidades que se aplican y la posibilidad de poner el fertilizante más cerca de la zona radicular donde las plantas puedan aprovecharlo, además la imperante necesidad de mantener nuestros acuíferos y suelos libres de contaminación nos lleva a la búsqueda de tecnología que permita hacer un uso eficiente con los fertilizantes.

La fertirrigación es la aplicación de fertilizante a través del sistema de riego, de manera que utilizamos el sistema y el agua de riego como un vehículo para la aplicación de los elementos nutritivos que requiere el cultivo. Para inyectar el fertilizante al equipo de riego



existen sistemas tipo venturi y bombas de inyección que funcionan de forma diferente pero que tienen el mismo fin.

Los sistemas de riego y fertirrigación han experimentado un desarrollo exponencial, paradójicamente en la mayoría de los casos la aplicación de los fertilizantes se hace con los sistemas de riego más avanzados pero se siguen utilizando las ideas tradicionales de fertilización.

Si bien es cierto que para la inyección de fertilizantes no se requiere de un equipo sofisticado; la precisión, control y eficiencia se incrementa si tenemos equipos diseñados para dicho propósito y si conocemos su manejo, para la fertirrigación es necesario hacer un cambio de ideas tradicionales y aplicar el conocimiento para obtener todas las que nos da la tecnología.

Objetivo

Presentar un documento técnico de revisión de los avances del conocimiento de la automatización del riego y la inyección de nutrimentos.



I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de racionalizar los recursos hídricos, cada vez más esquilados, ha llevado a introducir nuevas tecnologías de riego que permitan un mayor control sobre el agua aplicada, y por lo tanto obtener mayores eficiencias reduciendo las dotaciones totales empleadas. El riego localizado de baja presión se manifiesta como la solución idónea para una gran variedad de cultivos, suelos y situaciones, tratándose en la actualidad de la solución que permite obtener mayores eficiencias de aplicación (E_a), mayor control y por tanto un ajuste exhaustivo de los volúmenes de agua aportadas.

El riego localizado se caracteriza, entre otras cuestiones por permitir aportar nutrimentos y productos químicos a través del agua de riego. Esta característica da lugar a la técnica conocida como fertirrigación. Paralelamente a la implantación de los sistemas de riego localizado, en los últimos años el mayor desarrollo tecnológico ha sido orientado a mejorar los sistemas de fertirrigación, automatización y gestión de las instalaciones, llegándose al caso de que en determinados cultivos la fertirrigación no es una característica complementaria que presenta el riego, sino que esta adquiere verdadero protagonismo en el funcionamiento de la instalación, condicionando el riego al aporte de fertilizantes.

La aplicación de fertilizantes para el desarrollo de los cultivos es una práctica común y ampliamente utilizada por los productores de cultivos hortícolas alrededor del mundo. La forma y los medios de aplicación han variado y evolucionado, y los sistemas han ido mejorando la precisión en las cantidades que se aplican y la posibilidad de poner el fertilizante más cerca de la zona radicular donde las plantas puedan aprovecharlo, además la imperante necesidad de mantener nuestros acuíferos y suelos libres de contaminación nos lleva a la búsqueda de tecnología que permita hacer un uso eficiente con los fertilizantes.

La fertirrigación es la aplicación de fertilizante a través del sistema de riego, de manera que utilizamos el sistema y el agua de riego como un vehículo para la aplicación de los elementos nutritivos que requiere el cultivo. Para inyectar el fertilizante al equipo de riego



existen sistemas tipo venturi y bombas de inyección que funcionan de forma diferente pero que tienen el mismo fin.

Los sistemas de riego y fertirrigación han experimentado un desarrollo exponencial, paradójicamente en la mayoría de los casos la aplicación de los fertilizantes se hace con los sistemas de riego más avanzados pero se siguen utilizando las ideas tradicionales de fertilización.

Si bien es cierto que para la inyección de fertilizantes no se requiere de un equipo sofisticado; la precisión, control y eficiencia se incrementa si tenemos equipos diseñados para dicho propósito y si conocemos su manejo, para la fertirrigación es necesario hacer un cambio de ideas tradicionales y aplicar el conocimiento para obtener todas las que nos da la tecnología.

Objetivo

Presentar un documento técnico de revisión de los avances del conocimiento de la automatización del riego y la inyección de nutrimentos.

I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de racionalizar los recursos hídricos, cada vez más esquilados, ha llevado a introducir nuevas tecnologías de riego que permitan un mayor control sobre el agua aplicada, y por lo tanto obtener mayores eficiencias reduciendo las dotaciones totales empleadas. El riego localizado de baja presión se manifiesta como la solución idónea para una gran variedad de cultivos, suelos y situaciones, tratándose en la actualidad de la solución que permite obtener mayores eficiencias de aplicación (E_a), mayor control y por tanto un ajuste exhaustivo de los volúmenes de agua aportadas.

El riego localizado se caracteriza, entre otras cuestiones por permitir aportar nutrimentos y productos químicos a través del agua de riego. Esta característica da lugar a la técnica conocida como fertirrigación. Paralelamente a la implantación de los sistemas de riego localizado, en los últimos años el mayor desarrollo tecnológico ha sido orientado a mejorar los sistemas de fertirrigación, automatización y gestión de las instalaciones, llegándose al caso de que en determinados cultivos la fertirrigación no es una característica complementaria que presenta el riego, sino que esta adquiere verdadero protagonismo en el funcionamiento de la instalación, condicionando el riego al aporte de fertilizantes.

La aplicación de fertilizantes para el desarrollo de los cultivos es una práctica común y ampliamente utilizada por los productores de cultivos hortícolas alrededor del mundo. La forma y los medios de aplicación han variado y evolucionado, y los sistemas han ido mejorando la precisión en las cantidades que se aplican y la posibilidad de poner el fertilizante más cerca de la zona radicular donde las plantas puedan aprovecharlo, además la imperante necesidad de mantener nuestros acuíferos y suelos libres de contaminación nos lleva a la búsqueda de tecnología que permita hacer un uso eficiente con los fertilizantes.

La fertirrigación es la aplicación de fertilizante a través del sistema de riego, de manera que utilizamos el sistema y el agua de riego como un vehículo para la aplicación de los elementos nutritivos que requiere el cultivo. Para inyectar el fertilizante al equipo de riego



existen sistemas tipo venturi y bombas de inyección que funcionan de forma diferente pero que tienen el mismo fin.

Los sistemas de riego y fertirrigación han experimentado un desarrollo exponencial, paradójicamente en la mayoría de los casos la aplicación de los fertilizantes se hace con los sistemas de riego más avanzados pero se siguen utilizando las ideas tradicionales de fertilización.

Si bien es cierto que para la inyección de fertilizantes no se requiere de un equipo sofisticado; la precisión, control y eficiencia se incrementa si tenemos equipos diseñados para dicho propósito y si conocemos su manejo, para la fertirrigación es necesario hacer un cambio de ideas tradicionales y aplicar el conocimiento para obtener todas las que nos da la tecnología.

Objetivo

Presentar un documento técnico de revisión de los avances del conocimiento de la automatización del riego y la inyección de nutrimentos.



I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de racionalizar los recursos hídricos, cada vez más esquilados, ha llevado a introducir nuevas tecnologías de riego que permitan un mayor control sobre el agua aplicada, y por lo tanto obtener mayores eficiencias reduciendo las dotaciones totales empleadas. El riego localizado de baja presión se manifiesta como la solución idónea para una gran variedad de cultivos, suelos y situaciones, tratándose en la actualidad de la solución que permite obtener mayores eficiencias de aplicación (E_a), mayor control y por tanto un ajuste exhaustivo de los volúmenes de agua aportadas.

El riego localizado se caracteriza, entre otras cuestiones por permitir aportar nutrientes y productos químicos a través del agua de riego. Esta característica da lugar a la técnica conocida como fertirrigación. Paralelamente a la implantación de los sistemas de riego localizado, en los últimos años el mayor desarrollo tecnológico ha sido orientado a mejorar los sistemas de fertirrigación, automatización y gestión de las instalaciones, llegándose al caso de que en determinados cultivos la fertirrigación no es una característica complementaria que presenta el riego, sino que esta adquiere verdadero protagonismo en el funcionamiento de la instalación, condicionando el riego al aporte de fertilizantes.

La aplicación de fertilizantes para el desarrollo de los cultivos es una práctica común y ampliamente utilizada por los productores de cultivos hortícolas alrededor del mundo. La forma y los medios de aplicación han variado y evolucionado, y los sistemas han ido mejorando la precisión en las cantidades que se aplican y la posibilidad de poner el fertilizante más cerca de la zona radicular donde las plantas puedan aprovecharlo, además la imperante necesidad de mantener nuestros acuíferos y suelos libres de contaminación nos lleva a la búsqueda de tecnología que permita hacer un uso eficiente con los fertilizantes.

La fertirrigación es la aplicación de fertilizante a través del sistema de riego, de manera que utilizamos el sistema y el agua de riego como un vehículo para la aplicación de los elementos nutritivos que requiere el cultivo. Para inyectar el fertilizante al equipo de riego



existen sistemas tipo venturi y bombas de inyección que funcionan de forma diferente pero que tienen el mismo fin.

Los sistemas de riego y fertirrigación han experimentado un desarrollo exponencial, paradójicamente en la mayoría de los casos la aplicación de los fertilizantes se hace con los sistemas de riego más avanzados pero se siguen utilizando las ideas tradicionales de fertilización.

Si bien es cierto que para la inyección de fertilizantes no se requiere de un equipo sofisticado; la precisión, control y eficiencia se incrementa si tenemos equipos diseñados para dicho propósito y si conocemos su manejo, para la fertirrigación es necesario hacer un cambio de ideas tradicionales y aplicar el conocimiento para obtener todas las que nos da la tecnología.

Objetivo

Presentar un documento técnico de revisión de los avances del conocimiento de la automatización del riego y la inyección de nutrimentos.



I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de racionalizar los recursos hídricos, cada vez más esquilados, ha llevado a introducir nuevas tecnologías de riego que permitan un mayor control sobre el agua aplicada, y por lo tanto obtener mayores eficiencias reduciendo las dotaciones totales empleadas. El riego localizado de baja presión se manifiesta como la solución idónea para una gran variedad de cultivos, suelos y situaciones, tratándose en la actualidad de la solución que permite obtener mayores eficiencias de aplicación (Ea), mayor control y por tanto un ajuste exhaustivo de los volúmenes de agua aportadas.

El riego localizado se caracteriza, entre otras cuestiones por permitir aportar nutrimentos y productos químicos a través del agua de riego. Esta característica da lugar a la técnica conocida como fertirrigación. Paralelamente a la implantación de los sistemas de riego localizado, en los últimos años el mayor desarrollo tecnológico ha sido orientado a mejorar los sistemas de fertirrigación, automatización y gestión de las instalaciones, llegándose al caso de que en determinados cultivos la fertirrigación no es una característica complementaria que presenta el riego, sino que esta adquiere verdadero protagonismo en el funcionamiento de la instalación, condicionando el riego al aporte de fertilizantes.

La aplicación de fertilizantes para el desarrollo de los cultivos es una práctica común y ampliamente utilizada por los productores de cultivos hortícolas alrededor del mundo. La forma y los medios de aplicación han variado y evolucionado, y los sistemas han ido mejorando la precisión en las cantidades que se aplican y la posibilidad de poner el fertilizante más cerca de la zona radicular donde las plantas puedan aprovecharlo, además la imperante necesidad de mantener nuestros acuíferos y suelos libres de contaminación nos lleva a la búsqueda de tecnología que permita hacer un uso eficiente con los fertilizantes.

La fertirrigación es la aplicación de fertilizante a través del sistema de riego, de manera que utilizamos el sistema y el agua de riego como un vehículo para la aplicación de los elementos nutritivos que requiere el cultivo. Para inyectar el fertilizante al equipo de riego



existen sistemas tipo venturi y bombas de inyección que funcionan de forma diferente pero que tienen el mismo fin.

Los sistemas de riego y fertirrigación han experimentado un desarrollo exponencial, paradójicamente en la mayoría de los casos la aplicación de los fertilizantes se hace con los sistemas de riego más avanzados pero se siguen utilizando las ideas tradicionales de fertilización.

Si bien es cierto que para la inyección de fertilizantes no se requiere de un equipo sofisticado; la precisión, control y eficiencia se incrementa si tenemos equipos diseñados para dicho propósito y si conocemos su manejo, para la fertirrigación es necesario hacer un cambio de ideas tradicionales y aplicar el conocimiento para obtener todas las que nos da la tecnología.

Objetivo

Presentar un documento técnico de revisión de los avances del conocimiento de la automatización del riego y la inyección de nutrimentos.



II. REVISIÓN DE LITERATURA

Antecedentes

La práctica en la aplicación del agua de riego para el desarrollo de los cultivos se conoce desde la antigüedad. Sin embargo la eficiencia con que se ha trabajado ha variado substancialmente entre valores del 25 hasta de un 75%; de acuerdo con este rango de variación se muestra claramente que los agricultores de nuestro país y del mundo, han realizado un uso irracional del agua de riego aplicándolo en exceso a las diferentes áreas de cultivo (Rojas, 1998).

En México, la infraestructura de riego representa el 30% de la superficie cosechada, generando más del 55% del valor de la producción nacional, el 70% de las exportaciones y el 80% del empleo rural, lo que determina su importancia estratégica para garantizar la producción de alimentos.

Teniendo en cuenta la creciente escasez de tierra idónea no utilizada, el crecimiento agrícola dependerá cada vez más en el futuro de la intensificación. En relación específicamente con las áreas de riego las limitaciones para la expansión de la irrigación en gran escala, determina que la contribución más significativa provendrá de las considerables oportunidades que existen para modernizar y aprovechar mejor las instalaciones de riego existentes (FIRA, 1998).

En nuestro país, la gran cantidad de zonas áridas así como la errática distribución espacial de la precipitación, determinan que el agua sea un factor importante para el desarrollo social y económico, ya que la precipitación anual generalmente es menor de 250 mm, lo cual es suficiente para la producción de cultivos. Las características del clima en México hacen que el riego sea prácticamente indispensable en gran parte de las áreas agrícolas (Rojas, 1998).

Sistemas de riego aptos para la fertirrigación

Los sistemas de riego ofrecen una serie de ventajas que posibilitan racionalizar el agua disponible. Cualquier sistema de riego debe someterse a un estudio previo para determinar si es el más idóneo. Desde el punto de vista del abastecimiento de agua a las plantas, todos son buenos si el agua es aplicada en el volumen y la frecuencia que las plantas requieren.

La diferencia fundamental entre los diversos métodos de riego es su eficiencia de aplicación, es decir, la cantidad de agua utilizada directamente por la planta en relación al total de agua aplicada al área de riego.

Cuadro 2.1. Eficiencia de los métodos de riego.

Método de Riego	Sistemas	Ea (%)
Gravitacional	Surcos	45
	Bordes	50
	Melgas	65
	Surcos en contorno	65
Presurizado	Aspersión	75
	Micro-aspersión	85
	Goteo	90
	Cinta	90

Los fertilizantes tienen un costo importante, en lo que se refiere a su uso y aplicación se debe ser muy eficiente. Es por este motivo que la fertirrigación sólo se practica comercialmente en métodos de riego presurizados en donde existe la seguridad de aprovechar al máximo todo el insumo.

El riego localizado (por goteo, cinta, micro-aspersión y aspersión) brinda la oportunidad óptima para la aplicación de fertilizantes y agroquímicos a través del sistema de riego. Las raíces se desarrollan intensivamente en un volumen reducido de suelo, en donde el agua y los nutrientes se encuentran fácilmente. Este es el mejor escenario que puede tener el cultivo para expresar todo su potencial, lo que más tarde se traducirá en altas producciones (INIA, 1998).



Cuadro 2.2. Comparación de los sistemas de riego.

Característica comparada	Sistema de riego				
	Cinta exudante	Goteo	Microaspersión	Aspersión	Superficie
Aplicación del agua de riego	Exudación lineal	Puntual	Precipitación localizada	Precipitación	Escurrimiento
Presión (Mpa)	0.02-0.1	0.1-0.3	0.2	0.3-0.5	-
Dificultad de instalación	Ninguna	Poca	Media	Media	Ninguna
Filtración	Simple	Complicada	Normal	Reducida	Ninguna
Viento	Indiferente	Poca influencia	Sensible	Sensible	Ninguna influencia
Evaporación	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Fertirrigación	Si	Si	Posible	No recomendada	No posible
Precolación	No	Poca	Poca	Media	Alta
Mantenimiento	Bajo	Alto	Medio	Medio	Ninguno

El riego localizado presenta numerosas ventajas respecto al sistema de riego tradicional en relación a la utilización de aguas salinas y al ahorro de agua. En los últimos años se ha demostrado que las mayores posibilidades de este sistema se centran en la utilización como vehículo de una dosificación racional de fertilizantes. Es decir, que ofrece la posibilidad de realizar una fertilización día a día, exactamente a la medida de un cultivo y agua de riego determinados y para unas condiciones ambientales definidas (Cadahia, 1998).

Descripción del sistema de riego

Una instalación de riego por localizado consta, en esencia, de los siguientes elementos:

- Cabezal (sistema de filtrado, equipo de inyección, accesorios y válvulas de control).
- Red de tuberías (tuberías que conducen el agua desde el cabezal hasta las proximidades de la planta).
- Goteros.
- Accesorios.
- Dispositivos de regulación.
- Dispositivos de control (Medina, 1978; Rodrigo, *et al.* 1992).

Cabezal de riego

Un cabezal de riego es un conjunto de dispositivos situado aguas arriba de toda instalación de riego localizado, con las misiones de medir el agua, incorporar elementos fertilizantes, filtrar, regular presiones y llevar a cabo los programas de riego establecidos (Cadahia, 1998).

Sistema de filtrado

El problema más grave y frecuente en las instalaciones de riego localizado y, en particular, las de goteo, es el de las obturaciones (Pizarro, 1990; Rodrigo, *et al.* 1992; Cadahia, 1998). Por ello, dependiendo de la clase de sólidos en suspensión o impurezas del agua, los sistemas deben estar previstos de algún tipo de equipo de filtrado.

El sistema de filtrado trata de prevenir los efectos perjudiciales inherentes al uso de aguas con partículas sólidas en suspensión, orgánicas o minerales, que pueden obstruir los conductos estrechos de un emisor, la sección de las tuberías al sedimentarse y dañar dispositivos con elementos móviles. Las precipitaciones a partir de las sustancias disueltas en el agua y de las aportada por los fertilizantes son, a veces, causantes de una obstrucción lenta y continua de graves consecuencias que debe eliminarse con tratamientos periódicos. Algas y bacterias, especialmente las primeras, son otra importante causa de obstrucción.

La obstrucción ocasiona la disminución de gastos, del coeficiente de uniformidad y, por tanto, de la eficiencia de riego. El tipo de filtro a instalar depende de las partículas a eliminar y sus características filtrantes del diámetro mínimo de paso del emisor.

Cuadro 2.3. Selección del tipo de filtro dependiendo del elemento contaminante.

Contaminante	Hidrociclón	Filtro de grava	Filtro de malla
Arena	■		■
Limo y arcilla		■	■
orgánicos		■	■

Rodrigo, *et al.* 1992.

Los filtros a instalar son, en general, de tres tipos: hidrociclones, filtros de arena y filtros de malla o anillas.



Hidrociclones. Son dispositivos, sin elementos móviles, que eliminan hasta el 98% de partículas con peso específico superior al agua, es decir, minerales, y de diámetro superior a 0.1 mm. Tienen gran ventaja de producir unas pérdidas de carga constantes e independientes de la concentración de impurezas en el agua. Se deben instalar a la entrada del cabezal (Cadahia, 1998).

Principio del hidrociclón

Una entrada, D_i ; es un conjunto tangencial que introduce el agua con los sólidos hacia el interior de la cámara.

Una sección cilíndrica, D_c ; donde se crea un movimiento rotacional.

Una sección cónica con un ángulo, donde tiene lugar la separación de los sólidos.

Una salida para la descarga de sólidos, D_u . Cuando el hidrociclón es vertical, esta salida se sitúa en la parte inferior del aparato.

Un colector, D_o ; éste es un tubo que se introduce ligeramente en el interior de la sección cilíndrica y que conduce el agua limpia, libre de sólidos, hacia la red de riego.

Funcionamiento del hidrociclón

El agua contaminada entra en el hidrociclón, que debe estar situado en posición vertical, por la conducción D_i , con un flujo tangencial a la sección cilíndrica, D_c . El flujo rotacional origina una fuerza centrífuga. Los sólidos, al ser más pesados que el agua, son desplazados hacia el exterior de la corriente y debido a la componente gravitacional descienden hacia el colector de impurezas situado en la parte más baja de la unidad. El agua asciende por la parte central y sale por la parte superior (D_o).

Filtros de arena. Son depósitos generalmente metálicos (de acero galvanizado, inoxidable o con protección de pintura antioxidante) o de plástico reforzado, capaces de resistir presiones estáticas y dinámicas de la red, parcialmente llenos de un medio poroso en el que, por adherencia, se fija la materia orgánica y quedan retenidas en sus poros las partículas minerales. El filtrado se realiza cuando el agua atraviesa la arena. Es el primer elemento que debe instalarse en el cabezal tras el hidrociclón antes de los filtros de malla. Pueden almacenar



grandes cantidades de contaminantes antes de haya que limpiarlos, invirtiendo el sentido del flujo (Rodrigo, *et al.* 1992; Cadahia, 1998).

Los factores que afectan al funcionamiento de un filtro de arena son: calidad del agua, características de la arena, caudal y la caída de la presión admisible (Rodrigo, *et al.* 1992).

Perdidas de carga. Cuando los filtros de arena están limpios provocan una pérdida de carga del orden de 1 a 2 m.c.a, dependiendo del tipo de arena y de la velocidad media del agua. A medida que se van saturando, la pérdida de carga aumenta y cuando alcanza un valor del orden de 4 a 6 m.c.a. se debe proceder a su limpieza (Pizarro, 1990). La caída de presión en un filtro con materiales del número 10, 18 o 20, cuando está limpio, suele ser de 1 a 3 m.c.a., mientras que con arena de los números 30 y 50 es, aproximadamente, de 3.5 m.c.a. (Rodrigo, 1992).

Cuadro 2.4. Características de las arenas más usuales.

Material	Clase	Diámetro efectivo mm	Diámetro poro mm	Equivalente en mesh
Granito molido	No. 8	1.50	0.214	70
Granito molido	No. 11	0.78	0.111	140
Arena de sílice	No. 16	0.66	0.094	170
Arena de sílice	No. 20	0.46	0.066	230
Arena de sílice	No. 30	0.27	0.039	400

Rodrigo, 1992.

El aumento de la línea de presión tiende a ser lineal con el tiempo de filtrado, no debiendo pasar los 6 m.c.a. en ningún caso (Pizarro, 1990; Rodrigo, 1992).

Filtros de malla. Están formados por un cartucho en cuyo interior va uno más cilindros concéntricos de mallas que pueden ser metálicos o plásticos (Medina, 1978).

Sólo retienen partículas no elásticas y deben instalarse aguas abajo del punto de inyección de fertilizantes.



A cada malla corresponde un número de mesh, M, definido como el número de orificios por pulgada lineal contados a partir del centro de un hilo, es decir:

$$M = \frac{1}{a+b} \text{ (o con dimensiones en mm } M = \frac{25.4}{a+b} \text{) (Cadahia, 1998).}$$

Las mallas normalmente utilizadas están entre 50 y 200 mesh, según, el tipo de gotero es decir el número de mesh debe elegirse en función del diámetro mínimo de paso del emisor, de tal manera que la malla retenga todas aquellas partículas de tamaño superior a 1/8 de dicho diámetro.

Cuadro 2.5. Equivalencia entre no. de mesh y mm.

Numero de mesh	mm	Numero de mesh	mm
50	0.297	120	0.125
60	0.250	140	0.105
70	0.510	170	0.088
80	0.177	200	0.074
100	0.149	230	0.062

Perdidas de carga. El incremento de la pérdida de carga en un filtro de malla para una calidad de agua determinada es exponencial. Cuando el filtro está limpio, la pérdida de carga varía de 1 a 3 m.c.a. en función del caudal y del número de mesh de la malla (Rodrigo, 1992). Cuando la pérdida alcanza un valor del orden de 4 a 6 m.c.a. hay que proceder a su limpieza. Si se permiten mayores pérdidas de carga el filtro pierde su eficacia y se puede llegar a romper la malla (Pizarro, 1990).

Filtros de anillos. Estos filtros combinan los efectos de los filtros de malla y de los de arena. Están formados por un elevado número de discos de material plástico, en contacto unos con otros y comprimidos y en cuyas caras se practican ranuras a las que corresponden un número de mesh.



El grado de filtrado depende del número de ranuras existente en las anillas y oscila entre 0.42 y 0.11 mm. La pérdida de carga cuando están limpios es del orden de 1 a 3 m.c.a. (Pizarro, 1990).

El agua entra en dirección axial por el orificio central de los disco y sale en sentido radial por lo que pueden definirse como un filtro de malla con un espesor del elemento filtrante muy grande. Su limpieza se realiza fácilmente con agua a presión una vez sueltos los discos (Cadahia, 1998).

Dispositivos para fertirrigación en sistemas de riego localizado

Los dispositivos de inyección se pueden dividir en tres grupos:

1. Tanque fertilizante
2. Inyector tipo venturi
3. Bombas dosificadoras de accionamiento hidráulico o eléctrico (Rodrigo, 1992; Arviza, 2001).

Tanque fertilizante

Consiste en un depósito, normalmente de forma cilíndrica, metálico o de poliéster reforzado con fibra de vidrio. Resistente a presiones internas, que se conecta a red de riego en paralelo. El depósito tiene dos conexiones (una de entrada y otra de salida), normalmente con tomas rápidas y una tapa para la introducción de la fertilización a la red.

Es necesario crear una diferencia de presión entre la derivación de entrada y salida (de 1 a 5 metros de columna de agua (m.c.a.) para que se produzca la necesaria derivación de caudal hacia el tanque.

El tanque fertilizante es un dispositivo que se usa en fertirrigación, cuando la superficie regable es muy discreta y se requiere movilidad del mismo.

A diferencia del resto de dispositivos, la utilización del tanque implica que la concentración de la solución fertilizante inyectada en la red decrece de manera continua a lo



largo del tiempo de riego, no resultando adecuado cuando existen varios sectores de funcionamiento secuencial.

Una mejora del tanque fertilizante consiste en aquel cuyo interior dispone de una bolsa de material elastomérico donde se localiza la solución fertilizante. En este caso la solución de entrada del agua obliga a inyectar un caudal de fertilizante a la red, pero a diferencia de la situación original con concentración constante.

En la actualidad prácticamente esta en desuso. No obstante debe descartarse su aplicación a una situación especial (Arviza, 2001).

Inyector tipo venturi

El inyector venturi se basa en el principio de funcionamiento del aforador del mismo nombre. Al producirse una reducción gradual, pero importante, del diámetro desde la tobera de entrada hasta la garganta, se produce a su vez una disminución brusca de la presión relativa en la última. Si el caudal que circula por el venturi es tal que la presión relativa en la garganta es negativa, y en la misma se conecta una conducción a un depósito abierto con la solución fertilizante, se producirá una succión.

El caudal inyectado por el venturi depende de los siguientes factores:

- Presión aguas arriba del venturi
- Caudal derivado del mismo
- Dimensiones de este

De experiencias realizadas en laboratorio realizadas con venturi de diferente diámetro nominal y fabricante se puede exponer las siguientes consideraciones:

- Para que empiece a funcionar correctamente es necesario crear una pérdida de presión mínima de 10 m.c.a. superior en algunos casos al 50% de la disponible.
- A mayor presión a la entrada y a igualdad de pérdida de presión en el venturi, el caudal inyectado es menor.
- El caudal inyectado es bastante sensible a la variación de nivel en el depósito fertilizante.
- La regulación del caudal inyectado resulta en cualquier caso sino problemática, difícil.

- Las altas velocidades en la garganta generan fenómenos de cavitación en la misma, lo que se traduce en una reducción de la vida útil del mismo.
- La información suministrada junto al dispositivo, en la mayoría de los casos, es escasa cuando no inexistente, y poco fiable.
- Se requiere de una presión mínima de 25-30 m.c.a. a la entrada del cabezal para garantizar riego y fertirrigación en sistemas que cubran superficies discretas y con topografía sensiblemente llana.

Si bien, el venturi como inyector de productos químicos, presenta una serie de limitaciones tal y como se han mencionado, su uso está muy extendido a sus siguientes ventajas:

- Es un sistema barato.
- Adecuado para superficies discretas.
- Sistema robusto y sin partes mecánicas móviles.
- Adecuado para inyección manual de fertilizantes de forma continua durante el riego.
- No requiere de ningún tipo de energía exterior para su funcionamiento.

Los inyectores venturis se fabrican con diámetros de 3/4", 1", 1 1/2" y 1 3/4". En ocasiones se suministran con rotámetro y válvula de estrangulamiento para la regulación del caudal inyectado. Existen modelos simples y dobles formados por dos inyectores dispuestos en paralelo. Los caudales inyectados varían entre 15 y 300 lph, aproximadamente (Arviza, 2001).

Bombas de inyección

Es el sistema más preciso de los hasta ahora expuestos. Las bombas se pueden clasificar en función del tipo de energía que aportan. Las que tienen mayor interés son las del tipo volumétrico y las rotodínamicas o cinéticas.

Como inyectores de productos químicos, las más generalizadas, son las del tipo volumétrico, aportan energía fundamentalmente en forma de presión. De estas las más comunes son las de desplazamiento positivo, ya sean de pistón o de diafragma.



En síntesis, dispone de un cilindro en cuyo interior se desliza un pistón con movimiento alternativo. La cámara o cilindro dispone de una entrada y una salida, ambas con sendas válvulas antiretorno.

El caudal se puede variar, bien variando el recorrido del elemento impulsor -volumen efectivo del cilindro-, bien variando la velocidad del ciclo de ida y vuelta -velocidad del elemento impulsor-.

En algunas ocasiones se utilizan para la inyección de productos químicos a la red bombas centrífugas, ya sean de arrastre magnético para potencias pequeñas, o de cuerpo y rodetes de acero inoxidable en sistema de inyección con control automático de conductividad y pH.

El accionamiento de las bombas puede ser mediante motor eléctrico, normalmente alimentado con corriente alterna, o mediante accionamiento hidráulico, aprovechando la propia energía de la red de riego.

Las bombas de accionamiento eléctrico suelen ser volumétricas, de desplazamiento positivo de pistón o diafragma. Dado que los motores eléctricos de accionamiento son, en la mayoría de los casos, alimentados por corriente alterna, el procedimiento más sencillo para regular el caudal inyectado es variar el recorrido del elemento impulsor o volumen de la cámara. Para ello la mayoría disponen de un dispositivo de regulación del mismo, ya sea manual -tornillo micrométrico- o automático.

El caudal inyectado por una bomba de pistón viene dado por la siguiente expresión:

$$Q = \pi NR^2C \dots\dots\dots \text{Ec. 1}$$

Q: Caudal, en lph.

N: Número de ciclos aspirados, en horas⁻¹.

R: Radio del pistón, en dm.

C: Carrera del pistón o desplazamiento horizontal, en dm.



El caudal inyectado suele ser preciso, pudiendo regularse la inyección entre 10 y el 100% del caudal máximo. Se fabrican para caudales desde 50 a varios miles de lph.

El inyector de accionamiento eléctrico es el sistema más preciso y el más extendido en instalaciones que cubren superficies de riego de cierta entidad, cuando se requiere un mínimo grado de precisión (viveros, cultivos bajo invernaderos, hidropónicos, etc.). es el sistema más adecuado cuando se prevé la automatización de la fertirrigación y el riego. A diferencia de otros sistemas, el caudal inyectado a la red no depende de la condiciones de presión o caudal en ésta, por lo que la inyección no es proporcional.

Las bombas inyectoras de accionamiento hidráulico son de desplazamiento positivo de membrana o de pistón que aprovechan la energía hidráulica de la propia red para su accionamiento. Normalmente se instalan en “by-pass” con la conducción principal, siendo el caudal inyectado proporcional a la presión disponible a la entrada. Por tanto, variaciones de presión en la red implicaran variaciones en el caudal inyectado.

Su utilización esta bastante extendida, siendo adecuada en instalaciones de superficies medias en las que no se dispone de energía eléctrica. Si bien es posible la regulación del caudal, no es tan precisa como en la bombas eléctricas. Requieren de una presión mínima en la red para funcionar correctamente. En la mayoría de los modelos es alrededor de 0.194 Mpa, si bien existe algún modelo que permite trabaja cuando la presión es inferior. Los caudales inyectados son variables, según modelos y la presión. En términos generales éstos varían entre 20 y 300 lph, existiendo modelos de hasta 3,000 lph, no usuales en fertirrigación.

A diferencia de los inyectores de accionamiento eléctrico, la variación del caudal se produce al variar el tiempo de duración del ciclo entrada-salida dentro del pistón. Que a su vez depende de la presión a la entrada. A modo orientativo puede determinarse el caudal que inyecta un determinado dosificador conociendo el número de pulsos por minuto. Algunos fabricantes suministran esta información.



Una de las cuestiones primordiales a resolver en el diseño de un sistema de fertirrigación es la determinación del caudal máximo de inyección de los equipos, siendo determinantes los siguientes:

- Necesidades hídricas de los cultivos.
- Caudal de emisión por planta o unidad de superficie.
- Distribución de emisores.
- Textura del suelo.
- Necesidades de nutrimentos.
- Solubilidad de las soluciones nutritivas.
- Conductividad del agua de riego.
- pH del agua de riego.
- Límites de pH y conductividad del agua de riego (Arviza, 2001).

Control y Automatización

Los sistemas de riego localizado son, en general, instalaciones fijas formadas por varias unidades de riego que operan consecutivamente con tiempos aplicados cortos y con alta frecuencia. Por tanto, se prestan a una posible programación automática.

Con los equipos existentes actualmente en el mercado se consiguen niveles de automatismo, hasta llegar con el uso de microprocesadores a una programación automática del riego para periodos largos de tiempo, incluyendo la estimación para cada caso, deberá hacerse en base a criterios técnico-económicos y preferencias del agricultor. También ha de estar de acuerdo con la formación del personal que lo maneja y de las posibilidades de un buen servicio de reparación y repuestos (Rodrigo et al, 1992).

La importancia de controlar el proceso del fertirriego, se ha ido incrementando con el aumento y sofisticación de la tecnología y experiencia de campo.

Según Nathan (1997), las razones principales por las cuales es importante controlar el proceso son:



- La combinación de los equipos de fertilización en los sistemas de riego modernos es compleja, debido a su grado de sofisticación y la posibilidad de regar en varios turnos, con caudales distintos.
- Los requisitos de la fertilización son más exigentes (fertilización proporcional).
- Los equipos operan sin la presencia humana.
- La gran variedad de tipos de inyectores y de los equipos de fertirriego.
- El uso de diferentes formula de fertilización en forma simultanea.

El nivel “cero” de automatización consiste en utilizar válvulas de accionamiento manual para dar paso al agua de riego hacia cada una de las unidades. En este caso, el parámetro que se utiliza para controlar el riego es el tiempo o volumen de agua aplicado si se dispone de un contador de líquidos, lo que no es habitual. Incluso en este nivel “cero” de automatización, los riegos localizados exigen mucha menos mano de obra que cualquier otro sistema, con la excepción de determinadas instalaciones fijas o equipos mecanizados de aspersión. La principal actividad del regante consistirá en la recarga de fertilizantes, mantener filtros limpios, vigilar que los emisores funcionen correctamente y abrir y cerrar válvulas de acuerdo con el programa de riego.

Los progresivos niveles de automatización se centran precisamente en esta ultima operación, o sea, en la apertura y cierre de válvulas, aunque en los modelos más sofisticados se puede hacer un control automático del funcionamiento de la instalación, así como estimar las necesidades de riego, introduciendo en el programa las ordenes oportunas (Rodrigo *et al.*, 1992).

En general, pueden establecerse diversas categorías más o menos arbitrarias para clasificar los niveles de automatismo. Según, Rodrigo *et al.* (1992), se establecen las siguientes:

- Nivel 1.** En este nivel cada válvula o serie de válvulas debe ser puesta en marcha antes de cada ciclo de riego.
- Nivel 2.** En este nivel la válvula o conjunto de válvulas repiten el ciclo de riego automáticamente.



-**Nivel 3.** Es el nivel de automatismo total en base a microcomputadores.

Cuadro 2.6. Características de los diversos niveles de automatismo y modos de operación.

Nivel de automatismo	Parámetro de control	Modo de operación	Comienzo del riego	Orden de marcha	Cambio de orden de marcha	Cambio de dosis de riego	Arranque (A) Parada (P) de bombas	Tipo de fertilizador
cero	Tiempo o volumen	Manual	Apertura manual	Cualquiera	Sin limitaciones	Cambiar tiempo	A-Manual P-Posible automatismo	Cualquiera
Uso (parcial)	Volumen	Hidráulico	Apertura manual	Cualquiera	Sin limitaciones	Ajuste del dial de la volumétrica	Idem	Cualquiera
Uno (secuencial)	Volumen	Hidráulico	Apertura manual	Fijo	Cambiar conexiones hidráulicas	Ajuste manual dial de la volumétrica	A-Manual P-Automático	Inyectores
Dos	Tiempo	Eléctrico o electrónico	Programación horaria	Cualquiera	Sin limitaciones	Ajuste de tiempo	A-Automático P-Automático	Inyectores
Tres (total)	Tiempo, volumen u otros	microcomputadoras	Programación horaria o con sensores	Cualquiera	Sin limitaciones	Ajuste de tiempo, volumen o de sensores	Idem	Inyectores

(Rodrigo *et al.*, 1992).

Parámetros de control

Para el control automático de las instalaciones, cada unidad de riego dispone de una o varias válvulas, que, accionadas por distintos mecanismos cierran cuando a pasado determinado volumen de agua, o tras un determinado tiempo de funcionamiento, siendo estos dos parámetros de control los habituales.

Según Pizarro (1990) y Rodrigo *et al.* (1992) la automatización puede hacerse por tres métodos:

- Automatización por tiempos
- Automatización por volúmenes
- Por otros parámetros (humedad del suelo, etc.)

Automatización por tiempos

En este caso, las válvulas que controlan cada unidad de riego, cierran cuando ha pasado un determinado tiempo de funcionamiento (Rodrigo *et al.* 1992).

En este método hay que calcular la duración del riego en función de la dosis necesaria, caudal de los emisores y numero de emisores por planta (Pizarro 1990).



La automatización por tiempos se basa en dos elementos: electroválvulas y programadores eléctricos. Las electroválvulas estas válvulas actúan bajo excitación magnéticas creada por solenoides al recibir impulsos eléctricos. Normalmente controlan tiempos. Los programadores eléctricos son unos instrumentos que llevan un reloj que se hace coincidir con la hora real y que, por medio de dispositivos que varían según los modelos, cierra y abre los circuitos eléctricos a las horas que se señalen en la esfera del reloj. Estos circuitos accionan los solenoides de las válvulas de las electroválvulas, que suelen ser normalmente cerradas y se mantienen abiertas mientras reciban la señal eléctrica.

Los programadores eléctricos suelen permitir intervalos de 15 ó 30 minutos, aunque los hay de un minuto. Algunos permiten programar un periodo de 24 horas, y lo ordenado para ese periodo se repite cada día. En algunos modelos se suele realizar una programación semanal, quincenal, etc.

Tanto los programadores como las electroválvulas suelen trabajar a tensiones de 12 ó 24 voltios, lo que requiere el empleo de cables gruesos para transmitir la orden eléctrica. La programación por tiempos es sencilla, barata y fácil de combinar con el arranque y parada de las bombas; permite además el riego por pulsos, aunque a costa de encarecer el programador. Entre sus inconvenientes esta el que se necesita energía eléctrica y, sobre todo, que cualquier causa que altere el caudal altera igualmente la dosis de riego, como lo es el caso de la obturación de los emisores, averías en la instalaciones, etc., lo que a veces no se diagnostica fácilmente. Por tal razón es indispensable la instalación de contadores que permitan detectar desajustes entre los volúmenes calculados y los realmente suministrados (Pizarro, 1990).

Automatización por volúmenes

Es el más recomendable para riego localizado en explotaciones de pequeña dimensión, ya que una misma instalación puede suministrar volúmenes de agua diferentes en un mismo tiempo de funcionamiento, al variar el caudal como consecuencias de múltiples circunstancias, como pueden ser: cambios de temperatura, variaciones en la presión del agua en el sistema,



saturación por partículas de los filtros, roturas, obturaciones, etc. Por tanto, el control por volúmenes supone mayor seguridad en el manejo de sistemas de riego.

En este método se va midiendo el agua aplicada en cada riego y cuando se alcanza el volumen necesario, se interrumpe automáticamente el paso de agua. Con ello se evita el inconveniente de la programación por tiempos de que la dosis de riego no coincida con lo calculado (Rodrigo *et al.*, 1992).

Riego con programación electrónica por volúmenes.

El mayor perfeccionamiento en la automatización por volúmenes se consigue mediante el empleo de ordenadores de riego. La instalación se basa en tres elementos fundamentales:

- Contadores de agua dotados de algún sistema de transmisión de datos.
- Programador de riego.
- Electroválvulas.

Existen equipos con distinto grado de sofisticación. Hay equipos completos y capaces para grandes superficies y unidades de riego, puede controlar el riego por superficie de hasta más de 100 ha. Consta de un programador que ordena el funcionamiento de las electroválvulas, que se sitúan en las unidades de riego, tubería principal y en el circuito de fertirrigación. Constan además otras funciones como: limpieza de filtros en función de su pérdida de carga, detención del riego en caso de lluvia, establecimiento de prioridades de riego en el caso de escasez de agua, etc. Además registran, imprimen y elaboran los datos e incidencias, facilitando la mejora de la planificación futura. Estos sofisticados equipos no suelen efectuar la programación basada exclusivamente en volúmenes, sino que tienen en cuenta otros parámetros.

El principal inconveniente de los programadores electrónicos es el costo del equipo, aunque el abaratamiento que se está produciendo en el campo de los microcomputadores abre grandes perspectivas (Pizarro, 1990).

Otros parámetros de automatización

En algunos casos, la apertura y cierre de las válvulas puede hacerse en función de valores alcanzados por parámetros indicadores del estado del agua en el suelo y/o en la planta, como potencial del agua en el suelo, o temperatura de la hoja. A veces se automatiza en base a parámetros micrometeorológicos, el caso más frecuente es la altura de agua en un tanque evaporimétrico. También existen prototipos, diseñados para regar en base a radiación global, temperatura, humedad del aire, etc.

Hoy en día, las limitaciones no son del tipo instrumental, sino del conocimiento de la influencia de los posibles parámetros al nivel necesario para permitir utilizarlos en la práctica del riego en los diversos cultivos. En la mayoría de los casos estos parámetros solo sirven para poner en funcionamiento el riego, que se para por un control de tiempo o volumen (Rodrigo *et al.*, 1992).

Fertirrigación y automatización

Aparte de los requisitos de carácter agronómico, la fertirrigación debe cumplir uno y muy importante que afecta la automatización: cada planta debe recibir la misma cantidad de abono, o lo que es igual, la cantidad de abono por superficie debe ser la misma dado que no se puede calcular con exactitud las necesidades de los nutrientes de los cultivos, se acepta cierta variación en la dosis de fertirrigación respecto a la medida. Se recomienda que esa variación no supere el 5 %. Cuando un cabezal sirve a varias unidades de riego de distinta superficie, este requisito impone ciertas restricciones al empleo de automatizado de aplicadores de fertilizantes, que se complican si además se pretende que en cada riego haya un periodo inicial y otro final en el que se aplique agua sin fertilizantes, con el objetivo de evitar obturaciones (Pizarro, 1990).

La automatización por volúmenes que se realizan con programadores electrónicos no crea problemas al respecto, ya que permite iniciar y detener la fertirrigación en el momento deseado en relación con el riego, y además dosifica por volúmenes los fertilizantes. Los distintos inyectores de fertilizantes presentan las limitaciones siguientes:



Tanque de fertilización. El inconveniente es la necesidad de reponer con frecuencia el abono en el deposito, pero la limitación principal es que el tanque inyecta una concentración decreciente de fertilizante en el agua de riego. En consecuencia, aunque todas las unidades de riego tengan la misma superficie, la primera en regar recibirá una cantidad de fertilizante mayor que la segunda y así sucesivamente. La uniformidad de la fertirrigación se puede conseguir variando la duración en cada unidad, de forma que sea mayor cuando la concentración de fertilizante es menor, pero ello supone una pérdida de automatización si la regulación del tiempo se hace manualmente, o una complicación en la instalación si se hace automáticamente. Una solución a este problema es que en cada unidad disponga de su propio tanque, lo que encare la instalación y su manejo.

En resumen, el tanque de fertilización es un aparato no apropiado para el riego automatizado de distintas unidades de riego (Pizarro, 1990).

Inyectores de fertilizantes. Tanto los inyectores venturi como los dosificadores hidráulicos y eléctricos, a diferencia del tanque de fertilización, suministran fertilizantes a una concentración constante mientras no varíe el caudal de riego, pero no son proporcionales, es decir, si el caudal de riego varía, la inyección de fertilizantes lo hace también pero en menor proporción, por lo que el agua de riego lleva una concentración variable. Como la duración del riego es la misma en las distintas unidades independientemente de su superficie, cuando ésta varía mucho, la cantidad de fertilizante recibido por la planta varía también.

Hay tres posibles soluciones para este problema:

1. Proyectar las unidades de forma que tengan la misma superficie.
2. Emplear inyectores proporcionales, que son mucho más caros que los no proporcionales.
3. Colocar un inyector para cada unidad, lo que aumenta el costo de la instalación. Por esta razón los inyectores deben ser los más baratos (venturi). El costo aumenta si las unidades están alejadas (Pizarro, 1990).



Criterios para la selección del equipo

Los equipos para llevar a cabo la fertirrigación son producidos en distintos tipos, modelos y tamaños. Ellos presentan ventajas y limitaciones como también una gran diversidad de precios. Por otro lado, las necesidades y condiciones difieren de un lugar a otro, razón por la cual es muy importante sopesar exhaustivamente todos los factores que deben tomarse en cuenta para elegir adecuadamente el equipo (CIQA, 2001).

a.- Descarga del Sistema

Uno de los criterios más importantes para la elección del accesorio que va a inyectar la solución fertilizante en el sistema, en su tasa de inyección. Esta puede ser calculada según la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{A \cdot D}{t} \dots\dots\dots \text{Ec. 2.}$$

Q = tasa de inyección l/h.

A = área ha.

D = dosis de fertilizante l/ha.

t = tiempo de fertilización h.

b.- Capacidad del Tanque

El tanque debe tener un volumen igual o mayor al de la cantidad de solución fertilizante necesaria para un turno de riego.

$$V = D \cdot A \dots\dots\dots \text{Ec. 3.}$$

V = Volumen del tanque l.

A = Área ha.

D = Dosis de fertilizante l/ha



c.- Confiabilidad y Exactitud

Es muy importante asegurarse que el equipo opera correctamente sin la intervención del operador.

d.- Operación

Es importante capacitar al operador que opera el equipo, debido a su complejidad y sofisticación.

e.- Energía

Todos los equipos de inyección requieren de una fuente de energía para operar. Esta puede ser hidráulica (la misma presión del sistema), electricidad, o combustión. La elección dependerá del precio y la disponibilidad.

f.- Tasa de Dilución o Concentración del Fertilizante

Es la relación (en porcentaje) entre el volumen de la solución fertilizante concentrada y el volumen de la solución deseada, que se calcula con la siguiente formula:

$$C = \frac{D \cdot 100}{V_f + V_a} \dots\dots\dots \text{Ec. 4.}$$

D = Dosis de fertilizante

V_f = Volumen de solución fertilizante lt.

V_a = volumen de agua lt.

C = Concentración de solución fertilizante %.

g.- Adaptación a Automatización

El equipo elegido debería incluir en forma opcional la posibilidad de agregar automatización más adelante.

h.- Aplicaciones Adicionales

El equipo de fertirrigación debe incluir la posibilidad de ser usado para la aplicación de otros productos químicos, como el ácido, constituye un tratamiento preventivo contra el taponamiento de sistemas de riego.

i.- Garantía y Servicio

La garantía y tipo de servicio brindado por el fabricante o por un agente local, incluyendo la disponibilidad de repuestos constituyen un factor importante que debe ser tenido en cuenta.

j.-Estándares

Es necesario asegurarse que todos los accesorios sean producidos según los estándares reconocidos y bajo la supervisión de instituciones responsables.

k.- Experiencia de Campo

Experiencia de campo reconocida constituye un criterio esencial para la elección del equipo.

l.- Precio

El precio es expresado como un gasto anual en el costo de adquisición, mantenimiento y duración (Nathan, 1997).

Selección de los Fertilizantes

La fertirrigación exige que los fertilizantes sean solubles o emulsionables en el agua de riego, dejando un mínimo de impurezas, que sean compatibles entre ellos, para que no reaccionen formando precipitados que pudiesen obturar los emisores; que sean compatibles entre los iones contenidos en el agua de riego y con su pH, para evitar que no tengan precipitaciones y, que no tengan un efecto corrosivo sobre los componentes de la instalación de riego (Rodrigo et al, 1992).

La buena selección del material fertilizante puede resultar en aumentos significativos en las utilidades del agricultor. El principio de utilizar fertilizantes químicos o naturales para

suplir los iones inorgánicos que las plantas absorben por la raíz puede parecer un proceso simple. Sin embargo, el uso eficiente del fertilizante es un proceso complicado; esto involucra, primero, el seleccionar correctamente el tipo de fertilizante y su cantidad dependiendo de las necesidades del cultivo, luego el conocer acerca de su calidad y compatibilidad con otros agroquímicos usados en el sistema productivo y de manera especial hay que conocer los posibles inconvenientes en el manejo y el uso del material a seleccionar.

Todo lo anterior debe de confrontarse al análisis económico de los costos y beneficios al utilizar diferentes materiales. En forma general el buscar los máximos rendimientos sin sacrificar en la aplicación de nutrientes es, en la mayoría de los casos, muy rentable, en pocas palabras, no hay que escatimar en la nutrición vegetal, especialmente si se han identificado deficiencias en el suelo que seguramente limitarán la productividad del cultivo.

El aprovechar al máximo el potencial genético que los nuevos híbridos y variedades ofrecen depende en gran medida de la correcta selección de los materiales fertilizantes y de su adecuado manejo a través del desarrollo de la especie vegetal a cultivar (CIQA, 2001).

Para una adecuada selección de los fertilizantes que se aplicaran por el método de fertirriego o sistema de riego localizado se debe considerar:

- El comportamiento de los productos fertilizantes en el agua y suelo.
- La preparación y formulación de las soluciones nutrimentales.
- Las posibles obstrucciones en los emisores del sistema de riego.

(Rodríguez, 1999).

Existen muchos productos fertilizantes comerciales en el mercado, de estos hay que considerar siempre la concentración de nutrimentos aprovechables por la planta y la forma química en la que se presentan. En el caso del Magnesio, por ejemplo, las fuentes en forma de sulfato, en general, van a estar más disponibles que la que tienen carbonatos de Magnesio. Sin embargo, existen condiciones especiales del suelo que pueden alterar esta regla general. En el caso del Mg, los suelos ácidos pueden recibir carbonato de Magnesio y debido a su pH, facilitar la disponibilidad (solubilidad) del Mg para la planta. Existen otras fuentes excelentes



de Mg, estas son el nitrato de Mg y el sulfato doble de Potasio y Magnesio, todas son buenas en cuanto a disponibilidad de Mg para la planta, sin embargo, la solubilidad y el costo deben de considerarse antes de utilizarse. La solubilidad es un aspecto muy importante, sobre todo en los sistemas de fertirrigación. La correlación de esta con la temperatura y el tiempo de solubilización deben siempre tomarse en cuenta. Es importante realizar pruebas con pequeñas cantidades antes de formular la dosis total y comprobar la solubilidad del producto. El Cloruro de Potasio es muy utilizado como fuente de potasio soluble y en muchos casos como fuente de cloro también. El Cloro dejado en la superficie de las hojas de ciertos cultivos muy sensitivos a este elemento puede causar problemas; se recomienda, cuando se aplica en riego por aspersión, ya sea pivote central o lateral, el lavar los posibles excesos del ion Cloro mediante el mantenimiento de riego sin cloruro de Potasio en el sistema después de la aplicación del fertilizante. El Nitrato de Potasio ha sido usado como fuente de Nitrógeno y Potasio y el Sulfato de Potasio ha sido usado como fuente de Azufre también. Estos dos productos son de excelente calidad pero tienen menor solubilidad que el Cloruro de Potasio. Así como el ion Cloro, existen otros micronutrientes que se pueden usar en la fertirrigación.

Al igual que el Mg, el manganeso (Mn) en forma de sulfato ($MnSO_4$) es muy aprovechable por las plantas. Bórax, soluboro o ácido bórico son buenas fuentes de Boro, sin embargo hay que tener cuidado en la dosificación ya que el rango entre deficiencia y toxicidad es muchas veces muy pequeño y así, el Boro puede ser toxico si no es aplicado en forma uniforme. Quelato de Zinc y mezclas de Zinc con Nitrógeno pueden ser usadas en fertirrigación. Otros Quelatos y mezclas como son los Quelatos de Cobre, Fierro y Mn deben de realizarse con cuidado, sobre todo, checar que no precipiten con otros minerales que contenga el agua de riego a utilizar.

Fuentes de fertilizantes solubles

Actualmente existen varias fuentes de fertilizantes que pueden utilizarse para preparar una solución adecuada de nutrimentos. Algunos especialistas recomiendan utilizar una relación armónica de elementos, de acuerdo con conceptos de calidad y costo razonable. Las principales observaciones con respecto a las fuentes de fertilizantes solubles son:



- Urea 46-00-00. Normalmente es la fuente de Nitrógeno en forma de amida (NH_2) de menor costo, y se aplica principalmente en cultivos que crecen en suelo.
- Nitrato de Amonio 33.5-00-00. Contiene 50% de Nitrógeno en forma de amonio (NH_4^+), y es un fertilizante apropiado para todo tipo de crecimiento.
- Fosfato Monoámónico (MAP) 12-61-00. Fuente soluble de Fósforo, combinado de nitrógeno en forma de amonio (NH_4^+).
- Fosfato Monopotásico (MKP) 00-52-34.5. fuente soluble de potasio y fósforo. No contiene nitrógeno.
- Multi-NPK (Nitrato de Potasio) 13-02-44. Fuente de potasio soluble y libre de Cloro, combinado con Nitrógeno en forma de nitrato (NO_3^-) y fósforo en forma de MAP. Apropiado para todo tipo de suelos y crecimiento (De Santiago, 2000).

Mantener la máxima eficiencia de absorción del fertilizante debe ser el objetivo al seleccionar la fuente y la dosificación. Para lograr esto, las curvas de absorción, especialmente aquellas que se desarrollan bajo las condiciones específicas de clima, suelo y tecnología de producción, son de especial valor. Es importante correlacionar la fenología del cultivo con la fecha de calendario para así programar la dosificación de acuerdo a los objetivos de producción. El que se encuentre el nutriente en forma disponible en el momento y cantidad adecuada es lo que buscamos, especialmente cuando manejamos variedades de ciclo corto y alto potencial productivo (CIQA, 2001).

Soto (1996), menciona que antes de iniciar el ciclo de riego se deben tomar las siguientes precauciones:

- Conocer la disponibilidad de agua existente en el suelo, para determinar el volumen total a aplicarse durante el ciclo, tomando en cuenta las necesidades del cultivo y su etapa fisiológica.
- Para la inyección de fertilizantes, debe contarse con un tanque para disolverlo o mezclar las formulaciones líquidas.
- No se debe saturar la solución para evitar la formación de precipitados.
- Las mezclas deben ser compatibles.

- Al inyectar fertilizantes, cerciorarse que los filtros estén limpios y lavados. Para obtener una buena distribución de los fertilizantes, se debe iniciar con un riego durante el 15% del tiempo total, luego regulando el caudal se debe inyectar el fertilizante en el 70% del tiempo total, dejando el 15% restante para completar la distribución y lavar los residuos de fertilizantes en los filtros, tuberías, mangueras y emisores.
- Tratar el equipo de riego periódicamente con soluciones dispersantes que ayuden a limpiarlo (como ácido fosfórico, otras fuentes ácidas y soluciones comerciales), dejando la solución dentro del sistema en reposo, para luego inyectar agua abundante. Esta tarea es indispensable, especialmente con cultivos estacionales en los que el equipo de riego se recoge y se guarda hasta la próxima temporada.

Manejo de la solución nutritiva

En relación con el establecimiento de mezclas, una gran mayoría de investigaciones consideran como parámetros importantes las compatibilidad entre las sales, su solubilidad y su acidez. Los fundamentos que deben conocerse a al hora de preparar una solución nutritiva de fertilizantes son:

- Solubilidad
- Compatibilidad
- Acidez
- Grado de salinización

Solubilidad de los Fertilizantes

La solubilidad es una propiedad importante para seleccionar los fertilizantes a emplear. En principio, quedan descartados aquellos fertilizantes que contengan aditivos para mejorar su conservación o para hacer más lenta su liberación, siendo preferibles los fertilizantes obtenidos por recristalización (cristalinos) (Rodrigo et al, 1992). Al escoger los fertilizantes a usarse debe tomarse en cuenta la calidad del agua de riego y, obviamente, que se sean 100% solubles en agua (INTA, 2003).



Los fertilizantes pueden clasificarse de acuerdo a diversos criterios, pero en principio para ser adecuados al fertirriego deben ser solubles. En cuanto se refiere al uso con el riego, se clasifican en dos clases:

- Fertilizantes líquidos abastecidos en forma de soluciones saturadas listas para usar sin necesidad de tratamientos previos. Si bien en general contienen mayor concentración de nutrimentos, su manejo en fertirriego es más cómoda que los fertilizantes sólidos.
- Fertilizantes sólidos, fácilmente solubles que deben disolverse antes de comenzar la fertilización; el factor de solubilidad es distinto para cada tipo y composición, y generalmente aumenta con la temperatura (INTA, 2003).

Los dos tipos pueden ser simples o compuestos, desde el punto de vista de la composición de los nutrimentos. Los fertilizantes simples contienen un solo nutriente y los compuestos contienen al menos dos o varios elementos nutritivos, a veces también microelementos.

Cuadro 2.7. Solubilidad de algunos de los principales fertilizantes usados en fertirrigación.

Fertilizante	Riqueza %	Solubilidad	Índice de acidez
	N-P2O5-K2O-Varios	g/l 20 °C	
Nitrato de calcio	15.5-00-00-30 (CaO)	1200	
Nitrato de amonio	35.5-00-00	1900	185
Sulfato de amonio	21-00-00-22 (S)	730	550
Urea	46-00-00	1000	158
Nitrato de potasio (cristalizado)	13-00-46	310	-115
Sulfato de potasio	00-00-50-18 (S)	110	
Cloruro de potasio	00-00-60	340	
Fosfato monopotásico	00-52-33	230	
Fosfato monoamónico	12-61-00	220	357
Fosfato biamónico	18-46-00	400	
Sulfato ferroso	36 (S)	260	
Sulfato de manganeso	32 (Mn)	500	
Sulfato de magnesio	9 (Mg) -13(S)	710	
Borax	11 (B)	50	
Sulfato de zinc	23 (Zn)	750	
Cloruro de calcio	30 (Ca)	600	
Ácido nítrico	15.5-00-00		
Ácido fosforico	00-71-00		
Ácido sulfúrico	31 (S)		

Adoptado de: (Rodrigo et al, 1992; Burt, 1997 y Rodríguez, 2004)



Precisamente el factor de la temperatura influye directamente en la solubilidad de todos los materiales y siempre deberán consultarse las tablas correspondientes a cada elemento, ya que la solubilidad varía con la temperatura del agua. Usualmente la concentración se incrementa con altas temperaturas del agua. Esto significa que a bajas temperaturas, se reduce la solubilidad. También se tiene el caso del efecto endotérmico, que ocasiona una reducción en la temperatura del agua al disolverse los fertilizantes sólidos, lo que puede causar una precipitación de los excedentes de la solución, para lo cual deberá agregar más agua para disolver estos precipitados (De Santiago, 2000).

Para efectos prácticos, se pueden utilizar soluciones a base de mezclas con diferentes relaciones de N-P-K, en las cuales hay que considerar el grado de solubilidad y pureza de los materiales, la temperatura del agua, el efecto endotérmico, y la compatibilidad.

Cuadro 2.8. Fertilizantes más comunes, solubilidad y % de impureza (De Santiago, 2000).

Fertilizante	Formula	Solubilidad Soluta: Agua	% Impureza
Nitrato de Potasio	KNO_3	1 : 4	5
Nitrato de Calcio	$Ca(NO_3)_2$	1 : 1	10
Nitrato de Amonio	NH_4NO_3	1 : 1	2
Fosfato Monoamónico	$NH_4H_2PO_4$	1 : 2	2
Ácido Fosfórico	H_3PO_4		
Fosfato Monopotásico	KH_2PO_4	1 : 3	2
Sulfato de Amonio	$(NH_4)_2SO_4$	1 : 2	6
Sulfato de Potasio	K_2SO_4	1 : 15	10
Cloruro de Potasio	KCl	1 : 3	5
Sulfato de Magnesio	$MgSO_4$	1 : 2	55
Cloruro de Calcio	$CaCl_2$	1 : 1	25
Sulfato de Calcio	$CaSO_4$	1 : 500	30

En el caso de la calidad, habrá que seleccionar materiales libres de impurezas para evitar el taponamiento de los goteros; también se toma en cuenta la forma del elemento ya que, en el caso del nitrógeno, el nitrato (NO_3^-) se toma de manera más rápida por la planta. Esta forma de nitrógeno es la más recomendable para sistemas de hidroponía y cuando se aplica nitrógeno en condiciones de baja temperatura. En cambio, el nitrógeno en forma de



amonio (NH_4^+) o la amida (NH_2) se recomienda cuando las temperaturas son relativamente altas (De Santiago, 2000).

Temperatura

Los fertilizantes al mezclarse con el agua pueden presentar reacciones térmicas que cambian 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. Es importante considerar este fenómeno en la época invernal o cuando se trabaja con aguas frías (Rodríguez, 2004).

Cuadro 2.9. Reacción térmica de algunos fertilizantes (Rodríguez, 2004).

Fertilizante	Reacción
Nitrato de amonio	Endotérmica
Nitrato de potasio	Endotérmica
Urea	Endotérmica
Sulfato de amonio	Endotérmica (-)
Sulfato de potasio	Endotérmica (-)
Fosfato monoamónico	Endotérmica
Ácido fosfórico	Exotérmica *
Ácido nítrico	Exotérmica *
Ácido sulfúrico	Exotérmica *

* Su uso se deberá realizar con los cuidados requeridos para su mezcla. Siempre aplicar el ácido al agua, nunca al revés.

Compatibilidad Química

Hay mezclas de fertilizantes no compatibles químicamente, que podrían obstruir los emisores al producir un compuesto nuevo no soluble en agua o de difícil absorción por las plantas. Los fertilizantes por su composición iónica, estos pueden interactuar entre sí y precipitar perdiendo su eficiencia (Rodríguez, 2004).

Imas (1999), menciona que estos problemas pueden ser evitados por medio de una elección correcta de los fertilizantes y un manejo adecuado. El uso de dos o más tanques de fertilización permite separar a los fertilizantes que interactúan, separando los fertilizantes de



calcio, magnesio y microelementos, de los fertilizantes con fósforo y el sulfato y evitando así la formación de precipitados.

Soto (1996), menciona algunos problemas potenciales que se presentan en estas condiciones:

- La adición de amoníaco al agua de riego podría aumentar el pH y formar precipitados.
- La adición de sulfato de amonio a aguas calcáreas podría dar lugar a la formación de precipitados de sulfato de calcio, que pueden obstruir tuberías, mangueras y emisores.
- Dependiendo de la calidad del agua, al adicionar fuentes de fosfato pueden formarse precipitados de fosfato de magnesio.

El nitrato de calcio no es compatible con el sulfato de amonio, de potasio ni de magnesio, porque puede formar yesos insolubles con los consabidos problemas en el sistema de goteo. El nitrato de potasio si es compatible con el sulfato de amonio, el nitrato de calcio, el sulfato de potasio y el sulfato de magnesio.

Cuadro 2.10. Compatibilidad entre fertilizantes solubles (Rodríguez, 2004).

Nitrato de amonio											
E	Nitrato de calcio										
I	I	Amoniaco anhídrido									
E	I	L	Sulfato de magnesio								
I	E	L	E	Urea							
C	I	L	E	E	Sulfato de amonio						
C	I	I	E	L	C	Fosfato monoamónico					
C	I	I	E	L	C	L	Fosfato diamónico				
C	I	I	E	L	C	C	C	Fosfato monopótasico			
C	I	I	E	L	C	C	C	C	Nitrato de potasio		
C	I	I	E	L	C	C	C	C	C	Sulfato de potasio	
E	L	I	E	L	L	L	L	L	L	L	(NO ₃) ₂ Mg

C = Mezcla 100% compatible en seco y en estanque

I = Mezcla incompatible en seco y en estanque. No realizar

E = Mezcla compatible en solo en estanque al momento de inyectar

L = Mezcla de compatibilidad limitada en seco y en agua. Usar cantidad limitada



Las fuentes fosfatadas son las que más problemas causan, así no se debe mezclar el fosfato de amonio con el nitrato de calcio ni con el nitrato de magnesio (INTA, 2003).

La urea y el nitrato de amonio destacan como los más compatibles y por ello, se utilizan de manera frecuente como base de las formulaciones. Por su parte el nitrato de calcio debe evitarse al utilizar formulas complejas como fosfato monoamónico (MAP), fosfato monopotásico (MKP) o Multi-NPK (NP+F) (De Santiago, 2000).

Como norma general, el anión sulfato es incompatible con el calcio y los fosfatos, con el calcio y el magnesio. En aguas calcareas debe evitarse la aplicacion de fosfatos, excepto cuando se considere indispensable, y con las precauciones debidas (Rodrigo, 1992).

Índice de sal de algunos fertilizantes

El abonado aporta al suelo una serie de sales, por que lógicamente cuanto mayor es el índice de sal, mayor es la cantidad de sales que el fertilizante aporta al suelo y por lo tanto mayor riesgo de salinización del terreno, por ello es que deberán vigilarse los índices para que no se presenten problemas de salinización (Medina, 1979).

Cuadro 2.11. Índices de sal de algunos fertilizantes.

Fertilizantes	Índice de Sal
Amoniaco	47.1
Nitrato de amónio	104.7
Sulfato de amónio	69.0
Fosfato monoamónico	34.2
Fosfato biamónico	24.0
Nitrato cálcico	52.5
Nitrato potásico	73.6
Nitrato sodico	100.0
Urea	75.4
Fosfato monocálcico	15.4
Superfosfato simple	7.8
Superfosfato triple	10.1
Sulfato potásico	46.1
Cloruro sódico	153.8
Cloruro potásico	116.3



Criterios de Manejo del pH

Son muy variables las razones por las cuales se debe establecer un pH apropiado, tanto en los tanques de solución así como en el flujo del agua de riego, ayuda a prevenir reacciones químicas de fertilizantes en las líneas de conducción, un valor de pH elevado puede causar problemas de obstrucciones en diferentes componentes del sistema de fertirrigación debido a la formación de precipitados, un adecuado pH proporciona una buena asimilación de los diferentes nutrientes, especialmente fósforo y micronutrientes, etc.; en otros casos un pH muy bajo origina la asimilación de elementos tóxicos para la planta (Rodríguez, 2004).

El pH juega un papel esencial en la formación de nuevos compuestos. En general, el medio de inyección del fertilizante es ácido y previene esos problemas. Pero si se usan aguas alcalinas o de pH alto es muy probable que aparezcan.

Se hace énfasis en los siguientes criterios de manejo:

- El pH influye directamente sobre la disponibilidad de nutrimentos.
- Con pH ácidos se ven comprometidos los niveles de P y Mo, los cuales también tienen una sinergia entre ellos dentro de la planta.
- Con pH básicos se ven comprometidos la disponibilidad de P, Ca, Mg, Fe, Zn, B y Mn.
- Los pH altos vienen dados por valores altos de HCO_3 que deben ser neutralizados por ácidos con el fin de bajar los niveles de pH (Productores de hortalizas, 2003).

Cuadro 2.12. Reacción de los fertilizantes (Rodríguez, 2004).

Fertilizante	Reacción
Nitrato de amonio	Ácida
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	Ácido
Fosfato monopotásico	Básica



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 (Rodríguez, 2004).

Comportamiento de los Nutrimentos en Fertirriego

Nitrógeno: No presenta problemas importantes dada su movilidad en el suelo y la buena solubilidad de los fertilizantes. La urea y los nitratos son más móviles; el amonio lo es menos, por la capacidad de fijación del suelo bajo el gotero se ve saturada de forma relativamente rápida, con lo que el amonio se desplaza a todo el bulbo de mojado. El NH_4 , una vez convertido en nitrato se desplaza rápidamente en los siguientes riegos (Rodrigo, 1992).

El nitrógeno en forma amoniacal queda retenido por los coloides del suelo, si las dosis de aplicación no son altas. Consecuentemente su desplazamiento no es elevado y su concentración en las proximidades del gotero suele ser alta. A medida que aumenta la dosis, queda superada la capacidad del intercambio catiónico de los coloides y en consecuencia su desplazamiento es mayor. El nitrato se mueve con toda facilidad en el suelo, gracias a su extraordinaria solubilidad. Este compuesto sigue normalmente el flujo del agua hasta el borde de la zona humedecida.

Con el riego localizado, se obtiene una mayor concentración de nitrato en la zona de las raíces, que en los casos de riego superficial o mediante aspersión.

En fertirrigación, se comprende que su mayor utilidad se consiga con aplicaciones periódicas, en dosis bajas, a lo largo de la campana del riego, de acuerdo a las necesidades de las plantas.

La urea es un fertilizante muy soluble cuya absorción por el suelo, resulta difícil. Por lo tanto, la fertirrigación, facilita el desplazamiento de ésta dentro del agua, para colocarse en los lugares más adecuados para la planta.

Es importante señalar que, las plantas utilizan el nitrógeno en forma nítrica, por lo cual las aplicaciones de urea o amonio, son aconsejables sólo bajo condiciones que favorezcan el proceso de nitrificación (Burgueño, 1996).

La baja eficiencia de utilización de los fertilizantes nitrogenados (15 a 20%) se debe fundamentalmente a pérdidas por procesos, como: volatilización, lixiviación y desnitrificación. Cuando se emplea la tecnología del fertirriego, dichas pérdidas disminuyen de manera significativa, debido a la frecuencia de aplicación de N a través del agua de riego durante el ciclo del cultivo, lo que evita su prolongada permanencia en el suelo o sustrato y limita, consecuentemente, su pérdida por cualquiera de los procesos (Torres, 1999).

Fósforo: El fósforo es el más difícil de aplicar, pues además de su baja solubilidad, existe el peligro de precipitación al reaccionar con el calcio que puede contener el agua de riego y que produce el paso del fosfato monocálcico a bicálcico.

Utilizando aguas no cálcicas, en los terrenos calizos se presenta el mismo problema, pues el fósforo queda retenido en la misma superficie y no es utilizado por las raíces.

Para evitar las precipitaciones es conveniente acidificar ligeramente el agua inyectando ácido sulfúrico o ácido nítrico.

El fósforo no se desplaza en el suelo más allá de 20 a 30 centímetros del punto de aplicación, al ser fuertemente adsorbido por los coloides del suelo. Es un inconveniente común a todos los fertilizantes fosforados.

Se ha comprobado que al aplicarlo con riego por goteo su desplazamiento es mayor que en cualquier otro sistema de riego, debido que al aumentar su concentración se sobrepasa la capacidad de fijación del suelo (Burgueño, 1996).

Potasio: Como el fósforo el potasio se mueve muy limitadamente en el suelo. El potasio suministrado es adsorbido en el complejo de cambio del suelo. La absorción de este elemento



depende en gran parte de la humedad del suelo hasta el punto en que los suelos secos prácticamente no se produce. El mantenimiento de una humedad constante como la que se obtiene mediante el riego por goteo facilita dicha absorción (Burgueño, 1996).

La fertilidad del suelo y la fertilización de fondo

Para iniciar un programa de fertirrigación es necesario contar con un nivel de fertilidad mínimo óptimo en el suelo.

Cuadro 2.13. Niveles de concentración de nutrientes en el suelo.

Niveles de concentración de nutrientes en el suelo (pmp)			
	Bajo	Medio	Alto
Nitrógeno NO ₃	>10	30	>40
Fósforo Bray	>10	20	>30
Potasio	>100	150	>250
Magnesio	>200	250	>500
Calcio	>1000	1500	>3000
Sulfatos	>50	80	>120
Fierro	>4	6	>10
Zinc	>1	2	>3
Cobre	>3	6	>10
Manganeso	>4	8	>12
Cloro meq/l	>3	5	>10
Carbonatos meq/l	>0.5	1	>1.5
Bicarbonatos meq/l	>2	2.5	>4

Estos valores nos indican lo que potencialmente el suelo le puede aportar al cultivo, puesto que los niveles de concentración antes citados han sido obtenidos con ataque de extractantes mediante ácido o ácidos.

La fertilización de fondo en cultivos manejados en fertirrigación, se justifica, sobre todo en el caso de la fertilización fosfatada, cuando la línea regante se encuentre superficialmente puesto que el desplazamiento de este elemento en el suelo es prácticamente nulo (CIQA, 2001).



Indicaciones sobre la fertirrigación

Antes de instalar el sistema, O'keeffe (2000) aconseja que se ponga atención especial a los siguientes aspectos:

- Un buen programa de fertirrigación debe incluir un análisis de suelo para determinar que necesidad hay de fertilizantes. Es importante analizar los tejidos para ayudar a determinar con mayor precisión las necesidades de los fertilizantes.
- Elaborar un programa de fertilización.
- Mantener una presión constante de flujo en el sistema. Específicamente, si se usa el sistema de inyección, el fertilizante debe de inyectarse a una presión mayor de la que se utiliza en el sistema. Asegurarse que no haya fugas de agua.
- Calcular la calibración y asegurarse de la adecuada inyección del fertilizante.
- Limpiar las tuberías después de efectuar el riego. Deje correr el flujo de 15 a 40 minutos después de haber cerrado la afluencia del fertilizante para expulsar todo el resto del mismo del flujo de agua.

Procedimiento para elaborar un programa de fertirrigación

Conocer

- Características químicas del agua de riego.
- Características físicas y químicas del suelo.
- Las necesidades de agua del cultivo (ETP).
- Las necesidades de elementos nutritivos según la fase fisiológica.
- Capacidad del equipo.

Establecer

- Las formulaciones y concentraciones de fertilizantes solubles acorde al cultivo y a los medios disponibles.
- El ritmo y la frecuencia de los riegos favoreciendo un fraccionamiento máximo.



Verificar

- El pH y la conductividad de la solución inyectada.
- La salinidad del suelo al inicio y al final del ciclo.

Inyección de ácidos

En el agua existe gran variedad de partículas de suciedad y estas pasan a través de los sistemas de filtración. Existen muchos métodos para mantener los gateros limpios:

- a. Un sistema de filtración apropiado y operado perfectamente.
- b. Un flujo regular de los laterales.
- c. Trabajar bajo presiones elevadas.
- d. El uso de fertilizantes adecuados para un sistema de riego por goteo.
- e. Mantenimiento con tratamientos de ácidos

El uso de ácidos es apropiado cuando existen depósitos de sales de calcio (carbonatos) o una mezcla conteniendo carbonatos y otros materiales. Existen un sinnúmero de ácidos y fertilizantes acidicos en el mercado, y por los depósitos de calcio (ácido salicílico, ácido fosfórico, ácido nítrico, etc.).



III. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

El riego localizado presenta numerosas ventajas respecto al sistema de riego tradicional en relación a la utilización de aguas salinas y al ahorro de agua. Sin embargo, en los últimos años se ha demostrado que las mayores posibilidades de este sistema de riego se centran en su utilización como vehículo de una dosificación racional de fertilizante. Es decir, que ofrece la posibilidad de realizar una fertilización día a día, en función del proceso fotosintético y exactamente a la medida de un cultivo, un sustrato y un agua de riego determinados y para unas condiciones ambientales definidas.

Por otra parte, la dosificación de fertilizantes distribuida durante todos los días del ciclo de cultivo permite hacer frente a los posibles problemas de contaminación que pueden originarse por un exceso transitorio de fertilizantes en el suelo.

El sistema de fertirrigación es, hoy por hoy, el método más racional para realizar una fertilización optimizada y respetando el medio ambiente dentro de la denominada Agricultura Sostenible (Cadahia, 1998).

Evolución de la fertirrigación

Los métodos de inyección de fertilizantes han evolucionado de manera sorprendente a través del tiempo. Los primeros sistemas de riego incorporaban nutrientes mediante tanques de abonado que consistían en un depósito cerrado y presurizado con dos tomas, una de entrada de agua, y otra de salida de agua y fertilizantes, con una válvula intermedia para estrangular y conseguir el diferencial de presión necesario para producir la inyección. Este sistema presentaba una escasa uniformidad de aplicación. Luego se emplearon los dispositivos de aspiración, regulado con un caudalímetro, pero este sistema era bastante impreciso.

Los sistemas básicos actuales, utilizan el inyector venturi. Al tratarse de un método muy económico, es normal en muchas instalaciones la utilización de varios venturis que inyectan diferentes fertilizantes de diferentes tanques, de forma simultánea. Los sistemas modernos corresponden a dosificadores eléctricos o hidráulicos, existiendo en el mercado muchas modalidades, lo que permiten inyectar varios productos al mismo tiempo.



Finalmente, los equipos de fertirrigación de última generación, corresponden a sistemas de automatismo de la gestión del riego y de la fertilización, que mediante el control de volúmenes de agua y soluciones nutritivas empleadas, permiten manejar y registrar todas y cada una de las actividades ejecutadas por el operador del sistema de riego (Seguel, 2002).

Posibilidades y desafíos

Esta tecnología, como la conocemos hoy, se inició en forma simultánea con la introducción del riego presurizado hace tan solo 25 años y ha tenido un desarrollo muy dinámico, con innovaciones que se suceden en forma continua en cuanto a productos utilizados, técnicas de preparación de fertilizantes, formas de inyección, aspectos de nutrición de cultivos, técnicas de control y formas de evaluación de su efecto en el desarrollo y productividad de las especies cultivadas. Así mismo, el desarrollo histórico de la fertirrigación ha mantenido siempre importantes consideraciones respecto al componente ecológico de la aplicación de agroquímicos en la producción agrícola. De esta manera, si hay algún parámetro que defina apropiadamente a la fertirrigación, es la innovación.

El objetivo central de la fertirrigación es crear y mantener un ambiente óptimo en la zona de las raíces del cultivo, en términos de disponibilidad de agua y nutrimentos, acorde a los requerimientos reales de cada especie y variedad, para cada condición edafoclimática específica. Este ambiente óptimo es diferente en cada etapa del desarrollo fenológico de los cultivos, por lo que las diferentes alternativas técnicas de fertirrigación posibles de llevar a cabo son prácticamente infinitas (Gurovich, 1998).

Hace casi diez años, llegaron a nuestro país los primeros equipos fabricados en España e Israel para establecer sistemas de fertirrigación. En ese entonces, Phytomonitor y Xilema estaban programados para formular soluciones a gran escala y se perfilaban para campos de 200 hectáreas. Poco a poco eso fue cambiando para ajustarse a los proyectos de invernadero, que requerían equipos de fertirrigación y soluciones nutritivas para superficies mucho menores.



A partir de 1999, Netafim México presento en el mercado una serie de unidades específicas como el fertigal, fertimix y fertijet, los cuales se adaptan a diversos tipos y tamaños de operaciones. Por su parte, la empresa holandesa Priva participaba en el mercado con las unidades inteligentes de invernadero, que no solo administraban la fertirrigación, sino que también controlaban la automatización de los invernaderos. Adicionalmente, en este mismo periodo surgieron pequeñas empresas como la italiana Hanna que cuenta con equipos de medición que sirven para monitorear los factores relacionados con la fertirrigación como el pH, la conductividad eléctrica y el drenaje de la solución (Bringas, 2004).

Tendencias

En la actualidad, la tendencia de los sistemas de fertirrigación está marcada por una mayor diversificación de equipos que ofrecen diferentes funciones. En el caso de los Xilema, éstos se han diversificado para introducir unidades de fertirrigación más pequeñas que se adaptan a los proyectos de invernadero y facilitan la inversión escalada. En cambio, Netafim se mantiene con una estrategia de ofrecer pequeñas y grandes unidades con mayores facilidades en la inversión y en el manejo de sus equipos. En realidad, la mayor novedad en cuanto a los equipos de fertirrigación la está ofreciendo ahora Priva, ya que en vista de las necesidades del mercado, ha modificado su estrategia y cuenta ahora con una línea muy completa de equipos individuales que forma parte de la llamada “cadena de administración del agua”.

La tecnología del invernadero sigue marcando la pauta, sin dejar de permear sus investigaciones hacia los cultivos de campo abierto. Cada quien puede adoptar la tecnología y el sistema que se ajuste a sus necesidades y sobre todo con enfoque cada vez más personal. Finalmente uno de los problemas puede ser la falta de recursos financieros, o bien la falta de tiempo, ya que la agricultura es en definitiva un largo proceso de aprendizaje, experimentación y adaptación a las condiciones particulares de cada productor (Bringas, 2004).

A esto, Douglas Marlow, representante de Priva Computers, Inc., opina que las necesidades de la horticultura y particularmente del productor de hortalizas y flores de México están centradas en el uso de diferentes equipos inteligentes, cuya función es mejorar la



administración de los recursos. No hay duda que la fertirrigación y el manejo de soluciones nutritivas han avanzado mucho en México en las zonas del Noroeste y el Pacífico. De igual manera los proyectos de invernaderos en diferentes regiones, como en Quintana Roo, San Luis Potosí, Guanajuato, Michoacán, México y Querétaro, están generando otro tipo de análisis y de manejo de la nutrición y del clima de los invernaderos.

En base a lo anterior, Priva cuenta ahora con una línea muy completa de equipos que van desde la desinfección del agua (Vialux HP/UV); la inyección de fertilizantes (NutriJet); el manejo de la humedad (Priva Groscale), y un software para el control de la temperatura y la energía en el invernadero (Priva Integro) (Bringas, 2004).

Análisis de las cifras y los proyectos de inversión de la alianza para el campo.

De acuerdo con los reportes de FIRCO, se han instalado ya más de 20,000 equipos de infraestructura, entre los que sobresalen los sistemas de riego por goteo, multicompuertas y aspersión.

Respecto a los montos y las aportaciones generadas por este programa, las cifras indican que hasta 1998, se había realizado ya una inversión de 2,500 millones de pesos. En el último reporte se menciona también que se han otorgado apoyos a más de 56 mil productores para el equipamiento y la instalación de los diferentes sistemas de riego.

Normalmente para fomentar la inversión en equipos, se utiliza el argumento del ahorro de insumos, cuando en realidad lo que se obtiene es una mayor eficiencia y productividad (Bringas, 2000).

De 1996 a 1998, la superficie tecnificada con sistemas de alta y baja presión alcanzó las 365,000 hectáreas; en beneficio de 56,623 productores. Con estos resultados, se duplicó la superficie tecnificada existente antes del Programa. En las 365 mil hectáreas mencionadas, se instalaron 8 diferentes tipos de sistemas de los que 1,548 son de aspersión, 2,254 de riego localizado y 4,457 de baja presión y 1,414 con otro tipo de equipamiento, como entubamientos principalmente (Contijoch, 1999).



Desarrollo de la fertirrigación en México

Los sistemas de fertirrigación han mostrado uno de los mayores porcentajes de crecimiento entre las nuevas tecnologías en la agricultura de México. Según los cálculos de los especialistas, la superficie bajo fertirrigación se ha cuadruplicado en los últimos tres años, de tal manera que se considera que ya se ha rebasado en los últimos tres años las 100,000 hectáreas que cuentan con sistemas de riego localizado.

Los equipos de fertirrigación que se han utilizado en México, pueden ser programados manualmente, por hora fija, por radiación, velocidad del viento o por temperatura.

Con una visión objetiva, podríamos decir que a través de la fertirrigación y el manejo integrado, muchos agricultores aún reduciendo hasta en un 50% la superficie de cultivo, han logrado mantener su volumen de producción y en ocasiones lo han superado ampliamente (CIQA, 2001).

La fertirrigación automatizada

El uso de las nuevas tecnologías en los sistemas de irrigación, esta alcanzando su mayor desarrollo en México, con la aplicación de los sistemas automáticos de fertirrigación, los cuales representan un paso muy importante en la escala económica para hacer más eficientes y rentables los sistemas de producción. Estos equipos de fabricación europea, estadounidense o israelí, se componen de una serie de bombas dosificadoras, que distribuyen el agua y los nutrientes a través de un sistema de válvula y agitadores electrónicos que se conectan a la red principal de las unidades de riego. Estos equipos, cuyo funcionamiento automático se controla por medio de una computadora, representan en la actualidad lo más avanzado y practico para mejorar la irrigación en los cultivos de hortalizas (CIQA, 2001).

De acuerdo con las cifras oficiales de la Comisión Nacional de Aguas (CNA) la superficie agrícola que cuenta con sistemas de irrigación suman actualmente 6.3 millones de hectáreas. Para dar una idea de la transformación que se esta generando, de acuerdo con Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), un 5% de la superficie de riego a entrado en un

proceso de tecnificación para instalar diferentes tipos de automatización entre los que se destacan el riego por compuertas, la aspersión, el goteo, la cintilla y el pivote central (Villafan, 1999; Contijoch, 1999).

Cuadro 3.1. Transformación de los sistemas de riego (Villafan, 1999).

Sistema de riego	No. productores	Superficie
Multicompuertas	25,409	156,250
Aspersión	7,633	39,943
Goteo	3,654	21,277
Cinta	2,752	27,528
Pivote central	475	10,979
Total	39,923	255,977

Una de las características de los procesos de cambio, está marcada por el factor de los cultivos de exportación y por ello, la gran mayoría de las inversiones se ubican en los estados de Guanajuato, Chihuahua, Sonora, Sinaloa, Baja California, Coahuila y Tamaulipas, donde en conjunto se han instalado equipos en aproximadamente 255,977 hectáreas con porcentajes muy variados en relación a la disponibilidad de riego total.

Cuadro 3.2. Cifras de participación de los principales estados (Villafan, 1999).

Estado	Sup. de riego disponible (has)	Sup. tecnificada (has)	% actual
Baja California	327,164	28,727	8.9
Chihuahua	329,276	25,939	7.8
Coahuila	125,015	8,735	6.9
Guanajuato	95,383	54,536	57.1
Jalisco	200,702	13,925	6.9
Michoacán	66,991	16,042	23.9
Querétaro	23,300	13,310	57.1
Sinaloa	705,326	20,506	2.9
Sonora	694,715	24,400	3.5
Tamaulipas	579,276	12,549	2.1
Yucatán	25,506	7,844	30.7
Zacatecas	220,226	5,250	2.4
total	2,865,214.7	231,763	

Las grandes regiones del centro, los productores de Guanajuato, Querétaro y Michoacán, presentan los porcentajes más elevados. Otros estados que merecen mención especial, son los estados de Jalisco y Yucatán, con porcentajes de 7 y 31 % respectivamente.



El resto de los estados mantienen una posición expectante, con participaciones menores al 2% de su capacidad de transformación y los casos más críticos se encuentran en los estados de México, Nayarit y Veracruz, donde solo se han mejorado 5 mil hectáreas de un total de 756 mil hectáreas de riego disponibles. En el caso de los grandes exportadores d invierno, los porcentajes van de un 3 a un 7.5%, lo cual significa que todavía hay mucha demanda que no ha sido cubierta (Villafan, 1999).

IV. AREA DE OPORTUNIDAD

La técnica de fertirrigación está asociada principalmente a la aplicación del agua de riego en forma localizada (riegos localizados), en donde se disuelven los fertilizantes (y otros agroquímicos) y se ponen a disposición de la planta en el bulbo húmedo donde se desarrollan la mayoría de las raíces absorbentes; lo que obliga al productor a realizar aplicaciones frecuentes de los nutrientes a través del sistema de riego (Rodríguez, 1999).

Aplicaciones

En México, la fertirrigación se utiliza principalmente en cultivos de alto rendimiento como hortalizas (Tomate, chiles, melón, sandía, pepino, flores y fresa), cítricos, manzano, mango, papaya, entre otras. Esta tecnología va encaminada al uso de sistemas de automatismo y control; y otros elementos que permiten sacar el máximo rendimiento y que aseguran la fiabilidad y eficiencia del sistema (Seguel, 2002).

La aplicación de los fertilizantes en la línea de riego puede tener muchas variantes. Estas dependen de las necesidades y de la capacidad del agricultor para manejar los sistemas. En la actualidad, la diversificación de los mismos va desde una simple bomba de pistón, o una bomba Venturi, que trabajan con la misma energía hidráulica que la tubería, hasta un avanzado sistema automatizado que recibe información de sensores y actúa sobre comandos que son dirigidos desde una computadora.

En la actualidad, el fertirriego no solo permite incrementar el rendimiento y mejorar la calidad de la producción, sino que también es una herramienta indispensable para mejorar el manejo, detectar problemas y, sobre todo, nos permite proteger el medio ambiente al evitar los desperdicios de agua y fertilizantes (Soto, 2000a).

Aplicaciones en campo e invernadero

La instalación de los sistemas automatizados puede adaptarse a un amplio rango de caudales y presiones que funcionan, tanto en campo abierto para goteo y fertirrigación, como en invernadero para cultivo en suelo, sustratos o hidroponía. La diversidad de sus



componentes está programada también para ejecutar operaciones de nebulización, drenaje, lavado de filtros e inclusive para controlar el clima del invernadero.

El diseño y la operación de las unidades de fertirrigación cuentan con diversas opciones que se adaptan a las necesidades de pequeñas, medianas y grandes explotaciones agrícolas. Desde el sistema básico de irrigación a campo, o la fertirrigación, hasta la hidroponía y el control del clima del invernadero; los equipos pueden conectarse a sistemas de comunicación de cable, radio o telefonía. Otros tienen adaptadores de red, junto con muestreador de drenaje o mezcladoras de fertilizantes líquidos. Los sistemas más avanzados integran el software de controladores (computadoras) que permiten registrar los datos del cultivo en forma de bitácora diaria, con el fin de poder coordinar los programas agrícolas de cada lote de cultivo o unidad de invernadero (Soto, 2000b).

Áreas de oportunidad en México

En México el Gobierno está apoyando la tecnología del fertirriego a través de uno de los Programas de la Alianza para el Campo, la cual tiene objetivos para incrementar la productividad por m³ de agua, hacer eficiente su uso, incrementar la producción de alimentos y mejorar la calidad de los productos. Este programa tiene como meta para el final del año 2000, incorporar al riego tecnificado un millón de hectáreas y contribuir al ahorro de agua de alrededor 600 millones de metros cúbicos (Contijoch, 1999).

Sin embargo, una vez que son instalados estos sistemas de riego, en general, excepto algunos casos, los productores requieren de capacitarse para la operación de estos sistemas para obtener buenos resultados en cuanto al ahorro de agua, lograr buena producción y mitigar el deterioro de sus suelos.

Por lo anterior, es notorio el impulso que se está dando a los sistemas de riego localizado en cualquiera de sus modalidades (microaspersión y goteo) y es muy importante la capacitación del productor. Una vez que éste decide qué sembrar, necesita saber cuándo, cuánto y cómo regar y fertilizar con estos sistemas.



Actualmente, la tecnología de fabricación de sistemas de riego localizado está en auge; existen empresas donde se pueden adquirir equipos de riego cuya operación es totalmente manual, hasta equipos totalmente automatizados asistidos por computadora. Toda esta variedad de equipos dispone de dispositivos y servomecánicos para controlar la aplicación y dosificación de la agua y fertilizantes a los cultivos en las cantidades deseadas (Tijerina, 1999).



V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la agricultura mexicana, la inyección de nutrientes por medio los sistemas de riego de baja presión ha tenido un gran auge en los últimos años debido principalmente al avance de la industria en la fabricación de equipos modernos que presentan la ventaja de la automatización, además que los productores han tenido la necesidad de adquirir estos sistemas de inyección para poder entrar al tan competido mercado de productos agrícolas. Se ha observado que los sistemas de riego presurizados tienen muchas ventajas como la eficiencia de aplicación, distribución uniforme, ahorro de mano de obra, eficiencia de fertilizantes y químicos.

Podemos mencionar que los sistemas de riego unos son adecuados para frutales, hortalizas, pastizales, forrajes y cultivos florícolas. Pero los sistemas de riego localizado son aptos para frutales, hortalizas y cultivos florícolas; ya que tiene una aplicación lenta, frecuente y precisa del agua, directamente a la zona radicular de los cultivos, y se presta para realizar la fertirrigación.

La inyección de fertilizantes y químicos a través de los sistemas de riego por aspersión, tiene muchas pérdidas durante la aplicación de fertilizantes ya que tiene un 75 % de eficiencia mientras que el goteo, tiene un 90 % de eficiencia de aplicación.

Por otra parte la inyección de fertilizantes por medio por el riego por gravedad ya sea por surcos o melgas no es muy frecuente ya que se encuentran mucho más pérdidas en la eficiencia de aplicación, esto se debe a los factores muy comunes como: la evaporación, mal manejo del agua, etc., por lo cual no es muy recomendable.

Haciendo hincapié en la inyección de fertilizantes y químicos al equipo de filtración es absolutamente esencial en cualquier sistemas de riego (goteo o aspersión). En el sistemas de riego localizado es mucho más importante ya que son muy susceptibles al taponamiento u obstrucción por partículas inorgánicas suspendidas. Se recomienda seleccionarlos en relación al gasto y dependiendo del elemento contaminante.



Los nutrimentos aplicados al cultivo en el momento adecuado y en las cantidades requeridas constituyen el secreto del éxito. En los últimos años, la introducción de nuevas tecnologías permite incrementar la eficiencia de aplicación con un mínimo de trabajo.

La fertilización correcta y su introducción en el momento apropiado cumplen un importante papel en la óptima absorción de los nutrimentos reduciendo a un mínimo el lavado por debajo de la zona radicular.

La automatización permite llevar a cabo el proceso de la fertirrigación en forma mas eficiente y cómoda. Este incremento en la eficiencia puede ser logrado por medio de la fertirrigación, con una mejor distribución de los fertilizantes a través del turno de riego, reduciendo los daños causados por perdidas de fertilizante.

En los sistemas convencionales la automatización consiste en el arranque y parada de inyectoros, apertura y cierre de válvulas hidráulicas procedentes de depósitos con soluciones fertilizantes y el arranque y parada de dispositivos de agitación controlados mediante un controlador y directamente vinculados al funcionamiento del riego. La automatización no solo debe permitir estas funciones, sino que debe poder registrar todas las operaciones, y en el caso de disponer de contadores volumétricos almacenar información sobre consumos parciales y totales de agua y de los distintos fertilizantes empleados.

En la actualidad, en cultivos hortícolas, ornamentales y frutales, la fertirrigación se están imponiendo los sistemas automáticos de control. El control y automatización del fertirriego pretende el aporte de nutrimentos en proporciones adecuadas para el desarrollo del cultivo.



NOMENCLATURA

Ea	Eficiencia de aplicación
pH	Potencial de hidrogeno
mesh	Número de orificios por pulgada lineal
m.c.a.	Metros de columna de agua (presión)
g/l	Gramos por litro
lph	Litros por hora
dm	Decímetro
MnSO ₄	Sul.fato de potasio
NH ₄ ⁺	Amonio
NO ₃ ⁻	Nitrato
MAP	Fosfato Monoámonico
MKP	Fosfato Monopotásico
HCO ₃	Carbonatos
meq/l	Miliequivalentes por litro
pmp	Partes por millón
N	Nitrógeno
P	Fósforo
K	Potasio
Ca	Calcio
S	Azufre
Mg	Magnesio
Zc	Zinc
B	Boro
Fe	Hierro
Mn	Manganeso
Cl	Cloro

REFERENCIAS

- Arviza V., J. 2001. Dispositivos para fertirrigación en sistemas de riego localizado. Vida Rural. Febrero. Vol. 8,123: 34-40.
- Bringas G., L. 2000. Análisis de las cifras y los Proyectos de inversión de la Alianza para el Campo. Productores de Hortalizas. Año 9,4:8-9.
- Bringas G., L. 2004. Avances en los Sistemas de Fertirrigación y Quimigación. Productores de Hortalizas. Año 13, 3:8-9.
- Burt, C. M. 1997. Fertigation Chemicals. II Simposium Internacional de Ferti-Irrigación. Querétaro, México.
- Burgueño, H. 1996. Fertirrigación: la Solución del Suelo, Concentración y Movimiento de los Nutrientes. Productores de Hortalizas, Año 5, 7:16-17.
- Cadahia L., C. 1998. Ferti-irrigacion : Cultivos Hortícolas y Ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Castellanos, J. Z.; Uvalle B., J. X.; y Aguilar S., A. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. 2ª. Edición. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola, México.
- CIQA (Centro de Investigación en Química Aplicada). 2001. Curso de plásticos en la Agricultura. Saltillo, Coahuila.
- Contijoch E., M. 1999. el programa de ferti-irrigacion de la Alianza para el Campo. 1er Foro Internacional sobre Financiamiento para la Modernización de las Área de Riego. FIRA, Banco de México y gobierno del estado de Sonora. Hermosillo, Sonora.
- De Santiago, J. 2000. Manejo Integral de Formulaciones. Productores de Hortalizas. Año 9,9: 10-14.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura en el Banco de México). 1998. La Modernización del Riego. Boletín informativo. Año XXVIII. No. 303, Vol. XXX.
- Gurovich L., A. 1999. La Ferti-irrigación al inicio del próximo milenio posibilidades y desafíos. Memoria del 4º Simposium internacional de Ferti-irrigación, Guadalajara, Jalisco, México.
- Imas, P. 1999. Manejo de nutrientes por fertirriego en sistemas frutihortícolas. Presentado en el XXII Congreso argentino de Horticultura. Tucumán, Argentina.

- INIA (Instituto de Investigación Agropecuaria) y Centro regional de investigación INTIHUASI. 1998. Manual de Fertirrigación. La Serena, Chile.
- INTA, 2003. Fertilizantes y Soluciones Concentradas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina.
<http://www.fertilizar.org.ar/articulos/Fertilizantes%20y%20Soluciones%20Concentradas.htm>
- Medina S. J. 1979. riego por goteo teoria y practica. 3ª edición. MUNDI-PRENSA. MADRID, España.
- Nathan, R. 1997. La Fertilización Combinada con el Riego. Ministerio de Relaciones Exteriores, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Centro de Cooperación Internacional MASHAV, Centro de Cooperación Internacional para el Desarrollo Agrícola CINADCO, Servicio de Extensión y Departamento de Riego y Suelos. Estado de Israel.
- O'Keeffe K. 2000. Fertirrigación: La conducción de agua y fertilizante ayuda a mejorar los sistemas productivos. Productores de Hortalizas, Año 9,4:12.
- Productores de Hortalizas, 2003. Conceptos de Fertigación en Invernaderos. Año 12, 3:40-41.
- Pizarro, F. 1990. Riegos Localizados de Alta Frecuencia. 2a Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Rodrigo L., J. Hernández A., J. M. Pérez R., A. González H., J. F. 1992. Riego Localizado. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Rodríguez D., E. 1999. Problemas y soluciones en el empleo de la Fertirrigación. Memoria del 4º Simposium internacional de Ferti-irrigación, Guadalajara, Jalisco, México.
- Rodríguez D., E. 2004. Problemática en el Manejo del Ferti-riego. Seminario Internacional de Fertirriego. VI Congreso Iberoamericano para el Desarrollo y Aplicación de plásticos en la Agricultura (CIDAPA). Bogotá, Colombia.
- Rojas P., L. y Ramírez R., L. E. Sistemas de Riego por superficie. 1998. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Ed. de la U.A.A.A.N. División de Ingeniería. Depto. de Riego y Drenaje. Saltillo, Coahuila.
- Seguel R., S. A. 2002. Equipos de Fertirrigación. Revista Chile Riego. Novedades Agrícolas Chile S.A. No. 11.
- Soto R. 1996. Principios de Fertirriego. Agricultura de las Américas, año 45, 5: 6-10.

- Soto R. 2000a. Bombas e Inyectores. Productores de Hortalizas. Año 9, 9:16-21.
- Soto R. 2000b. Sistemas Automáticos. Productores de Hortalizas. Año 9, 9:22-24.
- Tijerina C., L. 1999. Requerimientos Hídricos de Cultivos bajo Sistemas de Fertirrigación. Terra vol. 17,3: 237-245.
- Torres Q., R. 1999. Dinámica nutrimental, producción y calidad Cebolla cv Contessa bajo condiciones de Fertirriego por goteo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Medina San Juan, J. A. 1988. Riego por Goteo: Teoría y Practica, 3ª edición. Ediciones mundi-prensa. Madrid, España.
- Villafan, F. 1999. El Potencial de la Irrigación. AgroRed. Año 1, 1:12.

ANEXOS

A.1 Unidades de medida Sistema Métrico.

Longitud

1 milímetro (mm)	=	= 0.039 pulgadas
1 centímetro (cm)	= 10 mm	= 0.3937 pulgadas
1 metro (m)	= 1000 mm	= 1.0936 yardas
1 kilómetro (km)	= 1000 m	= 0.6214 millas

Superficie o Área

1 centímetro cuadrado (cm ²)	= 100 mm ²	= 0.1550 pulg ²
1 metro cuadrado (m ²)	= 10000 cm ²	= 1.1960 yardas ²
1 hectárea (Ha)	= 10000 m ²	= 2.4711 acres
1 kilómetro cuadrado (km ²)	= 100 Has	= 0.3861 milla ²

Capacidad o Volumen

1 centímetro cúbico (cm ³)	=	= 0.0610 pulg ³
1 decímetro cúbico (dm ³)	= 1000 cm ³	= 0.0353 pies ³
1 metro cúbico (m ³)	= 1000 dm ³	= 1.3079 yardas ³
1 litro (l)	= 1 dm ³	= 0.2042 US galón 0.2200 galón imperial
1 hectolitro (hl)	100 litros	= 2.8373 US bushel 2.7497 bushel imperial

Peso

1 miligramo (mg)	=	= 0.0154 granos
1 gramo (g)	= 1000 mg	= 0.0353 onzas
1 kilogramo (kg)	= 1000 gr	= 2.2046 libras
1 tonelada (tm)	= 1000 kg	= 1.1023 tons. cortas 0.9842 tons. largas

A.2 Factores de conversión del sistema internacional (SI) y sistema Ingles.

Para convertir la columna 1 a la 2 Multiplicar por	Columna 2 Unidades de SI	Columna 2 Unidades del sistema Ingles	Para convertir la columna 2 a la 1 Multiplicar por
Longitud			
0.621	Kilómetro, km. (10^3 m)	Milla, mi	1.609
1.094	Metro, m	Yarda, yd	0.914
3.280	Metro, m	Pie, ft	0.304
0.394	Centímetro, cm	Pulgada, in	2.540
3.94×10^{-2}	Milímetro, mm (10^{-3} m)	Pulgada, in	25.40
Área			
2.47	Hectárea, ha	Acre	0.405
247	Kilómetro cuadrado, km^2 (10^3 m^2)	Acre	4.05×10^{-3}
0.386	Kilómetro cuadrado, km^2 (10^3 m^2)	Milla cuadrada, mi^2	2.590
2.47×10^{-4}	Metro cuadrado, m^2	Acre	4.05×10^3
10.76	Metro cuadrado, m^2	Pie cuadrado, ft^2	9.29×10^{-2}
1.55×10^{-3}	Milímetro cuadrado, mm^2 (10^{-3} m^2)	Pulgada cuadrada, in^2	645
Volumen			
9.73×10^{-3}	Metro cúbico, m^3	Pulgada-Acre	102.8
35.3	Metro cúbico, m^3	Pie cúbico, ft^3	2.83×10^{-2}
6.10×10^4	Metro cúbico, m^3	Pulgada cubica, ft^3	1.64×10^{-5}
3.53×10^{-2}	Litro, l (10^{-3} m^3)	Pie cúbico, ft^3	28.3
0.265	Litro, l (10^{-3} m^3)	Galón	3.78
33.78	Litro, l (10^{-3} m^3)	Onza (liquido), oz	2.96×10^{-2}
Masa			
2.20×10^{-3}	Gramo, g (10^{-3} kg)	Libra, lb	454
3.52×10^{-2}	Gramo, g (10^{-3} kg)	Onza, oz	28.4
2.205	Kilogramo, kg	Libra, lb	0.454
0.01	Kilogramo, kg	Quintal, q	100
1.10×10^{-3}	Kilogramo, kg	Ton (2000 lb) ton	907
1.102	Tonelada, t	Ton (U.S.), ton	0.907
Presión			
10	Megapascal, Mpa (10^6 Pa)	Atmosfera	0.10
10	Megapascal, Mpa (10^6 Pa)	Bar	0.1
0.145	Kilopascal, Kpa	Libra por pulgada cuadrada, lb in^{-2}	6.90
2.09×10^{-2}	Pascal, Pa	Libra por pie cuadrado, lb ft^{-2}	47.9
1.45×10^{-4}	Pascal, Pa	Libra por pulgada cuadrada, lb in^{-2}	6.90×10^3

Continúa A.2...

Para convertir la columna 1 a la 2 Multiplicar por	Columna 2 Unidades de SI	Columna 2 Unidades del sistema Ingles	Para convertir la columna 2 a la 1 Multiplicar por
Medidas de agua			
9.73 x 10 ⁻³	Metros cúbicos, m ³	Pulgada-Acre, acre-in	
9.81 x 10 ⁻³	Metros cúbicos por hora, m ³ h ⁻¹	Pies cúbicos por segundo, ft s ⁻¹	
4.40	Metros cúbicos por hora, m ³ h ⁻¹	Galón por minuto, gal min ⁻¹	
8.11	Metros-hectárea, m-ha	Pie-acre, ft-acre	
97.28	Metros-hectárea, m-ha	Pulgada-acre, in-acre	
8.1 x 10 ⁻²	Centímetro-hectárea, cm-ha	Pie-acre, ft-acre	
Temperatura			
(K-273)	Kelvin, K+	Celsius, °C	(°C+273)
(9/5°C)+32	Celsius, °C	Fahrenheit, °F	5/9 (°F-32)
Concentración			
1	Centimol por kilogramo, cmol kg ⁻¹	Miliequivalentes por 100 gramos, Meq 100 g ⁻¹	1
0.1	Gramos por kilogramo, g kg ⁻¹	Porcentaje, %	10
1	Miligramos por kilogramo, mg kg ⁻¹	Partes por millón, ppm	1

(Castellanos, *et al.*, 2000).

A.3. Listado de algunos proveedores en México (*)

Ciudad	Proveedor	Dirección	Teléfono	Fax	Línea
México, DF.	Netafim México.	Rubén Darío No. 13 -2° piso México, DF.	(5) 203 2164	(5) 203 2142	Riego por goteo y micro aspersión, sistemas de filtrado y mezcladoras de fertirrigación (Eldar- Shany).
México, DF.	Haifa Chemicals México SA de CV	Ibsen No. 40 despacho 201 Col. Polanco Chapultepec, C.P. 11560 México, DF.	(5) 280 4304 (5) 280 4366 (5) 280 8983	(5) 280 9015	Fertilizantes solubles libres de cloro y sodio para fertirrigacion.
Bakersfield, California, USA	Mazzei Inyector Corporation.	500 Rooster Driver, Bakersfield, California.	661 363 6500	661 363 7500	Inyectores mazzei® tipo Venturi.
Mt. Dora, Florida.	Dosatron, USA.	Gene Bastón, Bastón Growers, Mt. Dora, FL.	727 443 5404		Inyectores de fertilizantes Dosatron®
	Amiad filtration Sistems		52(55) 5554 4002		Filtros e inyectores.
Querétaro, Qro.	Serviagrícola del Bajío SA de CV	Acuaducto 113 col. Galesa, Querétaro, México. C.P. 76020	(442) 223 3244 (442) 223 2376 lada sin costo 01 800 4004200	(442) 223 2377	Distribuidor de inyectores Dosatron®.
Tlaquepaque, Jalisco.	AgroFermex Comercial SA de CV	Vias manzanillo s/n, Col. Artesanos, Tlaquepaque, Jal. 3 Plantas industriales en: Coatzacoalcos, Ver.; Torreón, Coah. Y Guadalajara, Jal.	01 (3) 675 0000	01 (3) 601 0674	Fertilizantes sólidos y líquidos: nitrogenados, fosforados, potasicos; simples y complejos co elementos menores, además formulaciones en mezclas físicas.
Zapopan, Jal.	Fertilización Integrada de México SA de CV	Av. Vallarta 6503 Local G-10 Plaza Concentro C.P. 45010 Zapopan, Jal.	01 (3) 110 0647 01 (3) 110 1946	01 (3) 110 1294	Fertilizantes complejos, líquidos, de mezcla granular homogénea, orgánicos y microelementos.
Villagran, Guanajuato.	Agricultura Actual SA de CV	5 de Febrero No. 206 C.P. 38260 Villagran, Guanajuato.	Tel./Fax 01 (4) 165 0427		Empresa dedicada al manejo de la fertirrigación con servicios de asesoría agrícola.

Continúa A.3...

Irapuato, Guanajuato.	Euro Novedades, SA de CV	Blvd.. Solidaridad No. 10630, Col. Las Delicias, Irapuato, Guanajuato.	Tel./Fax 01 (4) 626 2798		Diseño e instalación de sistemas de riego. Equipos y productos de fertirriego.
Celaya, Guanajuato.	Riegos I. Solución, SA de CV	Carr. a San Miguel de Allende No. 1120-A C.P. 38010 Celaya, Guanajuato.	Lada sin costo 01 800 714 6083		Diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de riego (compuertas, aspersión, goteo, equipos de bombeo y fertirrigación)
Celaya, Guanajuato.	Sistemas Avanzados de Irrigación.	Av. 2 de abril No 226 Col. Fundación C.P. 38050 Celaya, Guanajuato.	Tel./Fax 01 (4) 613 7310 01 (4) 616 0759		Venta e instalación de sistemas de riego por goteo. Equipos de fertirriego, insumos automatización, asistencia técnica y accesorios.
León, Gto.	Irredelco México, SA de CV	Av. Del astillero No. 125 Fracc. Centro Bodeguero Las Trojes, C.P. 37227 León, Gto.	(447) 470 9788	(447) 470 9789	
Santiago de Qro, Qro.	Siberline México SA de CV	Órgano de la Congregación No. 9, Mariano de la Casas C.P. 76037 Santiago de Qro, Qro.	(442) 242 2006	(442) 242 2042	
San Diego, CA	T-Sistems Internacional	7545 Carrol Rd. San Diego, CA, EE.UU. 92121	00 (1) 858 578 1960	00 (1) 858 578 2344	

(*) El listado de proveedores es solo de referencia y no representa una sugerencia.