



UNIVERSIDAD DE SONORA

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERIA

"ASPECTOS IMPORTANTES DE FERTIGACION EN MICROIRRIGACION"

DISERTACION

VICTOR MANUEL BURQUEZ DELGADO



ABRIL DE 1995

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

"ASPECTOS IMPORTANTES DE FERTIGACION EN MICROIRRIGACION"

DISERTACION

Sometida a la consideración del
Departamento de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

por

Víctor Manuel Búrquez Delgado

Como requisito parcial para obtener
el título de Ingeniero Agrónomo
con especialidad en Irrigación

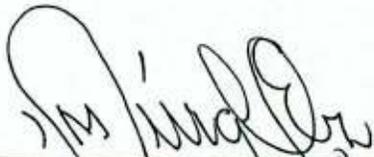
Marzo de 1995

Esta disertación fue realizada bajo la dirección del Consejo Particular y aprobada y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

INGENIERO AGRONOMO EN:
IRRIGACION

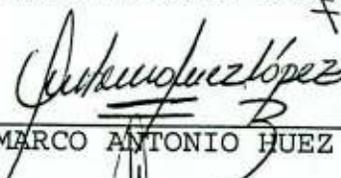
CONSEJO PARTICULAR:

ASESOR



ING. VICTOR MANUEL BURQUEZ CANO

CONSEJERO:



M.C. MARCO ANTONIO HUEZ LOPEZ

CONSEJERO:



ING. FRANCISCO JAVIER GAMEZ ROMERO

DEDICATORIA

Dedico la presente Disertación a aquellas personas que colaboraron con su elaboración, particularmente a mis Asesores, Maestros y Amigos.



AGRADECIMIENTOS

Con Amor, Respeto y Gratitud

A Dios:

Por su eterno amor, al otorgarme lo más valioso; la vida y su protección durante el trayecto de mis estudios y futuros éxitos.

A mis Padres:

Víctor Manuel Búrquez Cano
Josefina Delgado de Búrquez

Con todo mi amor, para ustedes, porque nunca han sido ni ancla, ni vela, sino luz que iluminó mi camino.....

Dios los bendiga

A mi Alma Mater:

Por permitirme ser parte de su historia.

A mis Maestros y Asesores:

Por transmitirme sus conocimientos, porque aportando su mejor esfuerzo, impulsaron mi ser para formar un espíritu firme, honesto y tenaz.

Mil gracias

A mis Compañeros y Amigos:

Porque cada experiencia compartida, construyó nuestro pasado, formó nuestro presente y labrará nuestro futuro.... nuevas vivencias estarán siempre en nuestro presente, como la satisfacción de ganarle hoy un reto más a la vida.

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	ix
INTRODUCCION.....	1
LITERATURA REVISADA.....	4
Historia.....	4
Generalidades.....	5
Ventajas y desventajas.....	7
Relación: Uniformidad de distribución del agua y la fertigación.....	10
Forma práctica de realizar la comprobación de uniformidad de distribución.....	12
Cálculos.....	13
Interpretación.....	15
Problemas que disminuyen el C.U.....	15
Acciones.....	16
Acidificación y clorinación.....	17
Equipos electromecánicos para la quemigación.....	21
Tanques de fertilización.....	23
Ventajas y desventajas del tanque fertilizador....	24
Fórmulas del tanque.....	25
Procedimiento para mejorar la uniformidad de fertilización en el tanque.....	25
Fertilizadores tipo Venturi.....	27
Fórmula.....	30
Ventajas y desventajas del fertilizador tipo Venturi.....	30
Precauciones.....	31

Dosificadores de fertilizante.....	32
Ventajas y desventajas.....	33
Bombas de accionamiento hidráulico.....	34
Tipos de bombas de accionamiento hidráulico.....	34
Ventajas y desventajas.....	36
Criterios de elección.....	36
Frecuencia de inyección.....	39
Fertilizantes.....	40
Selección de fertilizantes.....	41
Características que deben cumplir los fertilizantes.....	42
Clases de fertilizantes.....	44
Características químicas alternadas.....	46
Ejemplo de programas de fertigación.....	48
Ajustes al programa de fertigación durante el desarrollo del cultivo.....	52
CONCLUSIONES.....	56
LITERATURA CITADA.....	59



INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

	Pag.
Cuadro 1. Tratamiento de Cloro recomendado para distintos problemas.....	62
Cuadro 2. Niveles de concentración en elementos minerales que permitan utilización del agua en sistemas de riego por goteo sin ningún problemas para el sistema y las plantas.....	63
Cuadro 3. Modelos de inyectoros Venturi y sus principales características de funcionamiento.....	64
Cuadro 4. Operación de los inyectoros.....	65
Cuadro 5. Continuación.....	66
Cuadro 6. Necesidades de nutrientes recomendados para esta región.....	67
Cuadro 7. Características de los principales productos utilizados en fertigación.....	68
Cuadro 8. Compatibilidad química de las mezclas de los fertilizantes.....	70
Cuadro 9. Salinidad de los productos a las concentraciones normales en fertigación.....	71
Figura 1. Ubicación en un bloque de riego de los goteros que deberán ser analizados para obtener una muestra más representativa de distribución del agua.....	72
Figura 2. Curva de neutralización de 3 diferentes aguas.....	73
Figura 3. Tipos de dispositivos usados para la inyección de químicos.....	74
Figura 4. Tanque fertilizador. a) Partes que lo constituyen, b) instalación.....	75
Figura 5. Diferencia entre el tanque fertilizador (a) y el tanque de "desplazamiento" (b) Muestra de tanques en serie instalados en paralelo (c).....	76

Figura 6. Curva del porcentaje de aplicación según el ciclo de riego, para un tanque (a) y para varios tanques en serie (b).....	77
Figura 7. Inyector tipo Venturi.....	78
Figura 8. Bomba de accionamiento hidráulico, a)- bomba TMB, b)- Instalación.....	79
Figura 9. Bomba de accionamiento hidráulico AMIAD.....	80

RESUMEN

El presente trabajo reunirá los aspectos a considerar para llevar a cabo un programa eficiente de fertigación. Este programa involucra lo siguiente:

- Cuando y cuanto regar-fertilizar.
- Calendarizar en base a las necesidades del cultivo de agua y nutrientes durante los etapas de su desarrollo fenológico.
- Fertilizar en base a la textura y fertilidad del suelo.

Retomar todas estas variables y calendarizarlas es tan importante como llevarlo a la práctica y ejecutarlo bien. Esto nos indica que estamos llevando exitosamente ambos aspectos de un programa general de fertigación.

Los sistemas de riego de alta frecuencia y bajo caudal como la microaspersión y el goteo, se adaptan mejor a la fertigación respecto al riego rodado, principalmente, por su mejor distribución del agua de riego en el suelo, pero si esta uniformidad de distribución del agua de riego no es mayor del 90% estamos fertigando tan ineficientemente como en un riego rodado y a mayor costo. El principal factor que interviene en la disminución de la uniformidad de distribución del agua de riego en el sistema, es su mal diseño y la mala calidad de

los productos químicos aplicados, ya que en ambos casos nos provocan taponamientos y/o falta de aplicación de agua por el emisor a falta de presión óptima de trabajo.

En general, para esta práctica se tendrán que lograr aplicaciones de concentraciones constantes de fertilizante por medio de las bombas inyectoras. Para su elección es necesario conocer los pros y contras de cada una de ellas, así como de las limitantes en nuestro campo que impidan implementar alguna de ellas para que pueda ser sustituida por otra, y mediante su buena operación lograr una aceptable aplicación. Las bombas inyectoras se dividen en tres tipos: Aquellas que impulsan el químico en base a energía eléctrica o en base a un motor de combustión, las que tienen un accionamiento hidráulico y por último, las que trabajan por diferencial de presión de la red de riego.

Las aplicaciones de los fertilizantes al agua de riego tienen que hacerse con sumo cuidado para no provocar problemas posteriores a la instalación de riego o al cultivo, es por eso que los fertilizantes deben cumplir con 3 características principales:

- 1.- Alta solubilidad en el agua.
- 2.- Que sean compatibles con otros productos químicos que se encuentran en el agua de riego ó mezcladas al momento de aplicarlo.
- 3.- Que sean de gran pureza. Al disolver los fertilizantes

en el agua de riego, se modifican sus características químicas, y estas son: la salinidad (expresada mediante conductividad eléctrica) y el pH (potencial de Hidrógeno).

Un buen manejo de la fertigración exige que la salinidad del agua de riego durante la aplicación no exceda los 4 mmhos/cm, mientras que el valor del pH en aguas con carbonatos o bicarbonatos, no debe estar por arriba de 7.0 para evitar precipitados químicos que nos provoquen taponamientos en el sistema de riego.

INTRODUCCION

La unión de México al bloque comercial con Estados Unidos de Norteamérica y Canadá, nos obliga a elevar y sostener un nivel productivo de calidad, que sea competitivo en cualquier sector de la producción. Uno de los sectores económicos del país mayormente afectado en este tratado de comercio internacional, será la agricultura, si no modificamos nuestra eficiencia tanto de producción como del manejo de nuestros recursos agua-suelo-planta.

Eficientizar la producción y el manejo de los recursos, consiste en implementar cultivos que sean más redituables por unidad de superficie y obtener de ellos un mayor rendimiento por unidad de volumen de agua aplicada; esto puede ser logrado con un cambio en el patrón de cultivos, mediante cultivos horto-frutícolas que sustituyan o hagan disminuir la superficie sembrada de cultivos básicos y su implementación será mejor si cuenta con un sistema de riego presurizado, para aumentar la eficiencia en los volúmenes de aplicación de agua.

En la Costa de Hermosillo, el cambio en el patrón de cultivos se ha venido dando paulatinamente, desde el año de 1975, con cultivos como vid de mesa, vid industrial, cítricos y hortalizas, que ya para el ciclo 1990-1991 representaban el 88% de las utilidades y el 81% de la mano de obra, trayendo consigo paralelamente, una disminución en la extracción de

agua del subsuelo, debido a 2 factores: uno de ellos es la sustitución de cultivos que utilizan de 4.5 - 6.5 millares de metros cúbicos/ha durante su ciclo y que aportaron utilidades de 45,000 pesos/m³ (1980-1989), comparados con cultivos que consumen de 7.5 - 13.5 millares de m³/ha, de las cuales se obtienen entre 1,000 y 12,000 pesos/m³, y segundo, es el aumento en la eficiencia del uso del agua de riego en aquellos campos que implementaron un sistema de riego presurizado (goteo, microaspersión, aspersión y burbujeante). Aun así, la eficiencia de aplicación en la región no era mayor al 70%, ya que el implemento del riego presurizado no ha alcanzado ni el 10% del área total cultivada.

Ya que los fertilizantes y la energía eléctrica representan el 34% de los costos de producción de los cultivos horto-frutícolas, la fertigación con riego de alta frecuencia y bajo caudal, como goteo y microaspersión ha tenido una expansión espectacular en los últimos años, y es ampliamente utilizada en estos cultivos que necesitan mantener un nivel nutricional excelente en la planta para obtener frutos de calidad y lograr, además, una eficiencia en el uso de los fertilizantes, que se traduce en un ahorro de un 30% de fertilizante, con respecto a los sistemas tradicionales de fertilizado aunado a la optimización del agua de riego.

Para lograr una exitosa fertigación y obtener sus ventajas, es importante la elaboración de un programa previo que involucre cuando y cuanto aplicar agua y fertilizante y

calibrarlo durante su ejecución, y conocer los aspectos que influyen en la eficiencia de la fertigación, al llevarlo a cabo, nos ayudará a evitarlos, resolverlos y mejorarlos, para que sea reflejado directamente en una mayor producción de calidad.

Debido a la importancia que tiene la fertigación actualmente y específicamente en riego de alta frecuencia (goteo), el presente trabajo tomará en cuenta los factores a considerar para ejecutar y calibrar un programa de fertigación elaborado para el cultivo.

LITERATURA REVISADA

Historia

Se inició la fertigación con los cultivos hidropónicos en los años treinta, haciendo crecer las plantas, añadiendo soluciones nutritivas conteniendo los elementos esenciales sobre un medio inerte como sostén, para lograr un óptimo desarrollo y producción (13).

En los años setentas, nuevos tipos de goteros fueron desarrollados, así como nuevos sistemas filtrantes, por Morris y Phillips.

Stall et. al. (1977) reportan un incremento en el uso de riego por goteo en Florida, así como el incremento de fertilización vía riego por goteo (17).

En los años ochentas, se lograron inyecciones de fungicidas sistémicos en las líneas de riego por goteo para el control de enfermedades.

El concepto de fertigación comienza en 1980-81 con la implementación de riego por goteo en la mayoría de los países, iniciando verdaderamente desde el momento en que la falta de producción y desarrollo en los cultivos se le era atribuido al sistema de riego. Estudios posteriores concluyeron que el sistema era sumamente eficiente para la aplicación de agua; sin embargo, la zona radical de los cultivos necesitaba de

elementos nutritivos para obtener una alta producción en los cultivos, empezando de esta manera la aplicación de fertilizantes al agua de riego (11).

Buck et. al. (1980) reportaron programas de fertigración para situaciones de monocultivos y cultivos dobles, y evaluaron la nueva tecnología de la producción.

Otros trabajos de investigación sobre fertigración fueron desarrollados por Peterson en berenjena (1981) y en tomate (1983), continuando la comparación a un gran número de vegetales (17).

Para Haward (1982) el principal avance de la hidroponía fue debido al desarrollo tan acelerado de motobombas, tuberías, válvulas, productos fertilizantes y plásticos.

Generalidades

El sistema de irrigación puede ser usado para transportar químicos solubles al suelo y al cultivo.

Dependiendo del tipo y sistema de irrigación, el químico puede ser colocado en la zona de la raíz, a la parte aérea de la planta o ambas. Este proceso de transporte de químicos usado en sistema de irrigación es referido como quemigración e incluye, específicamente, términos usados para referirse a aplicaciones especializadas.

Los usos mas comunes de quemigación son:

- 1.- Aplicación de fertilizantes.
- 2.- Aplicación de plaguicidas (para control de insectos, nematodos, hongos y malezas).
- 3.- Aplicación de productos para el tratamiento de taponamiento químico y biológico (24).

La práctica de quemigación puede adaptarse según el tipo de riego:

- . Riego de baja frecuencia y alto caudal: gravedad y aspersion.
- . Riego de alta frecuencia y bajo caudal: goteo y microaspersion (5).

La fertigación es la práctica de aplicar fertilizantes a través del agua de riego, y más concretamente la de elementos nutritivos que son indispensables y precisa el cultivo (7,18).

Gurovich (1990), menciona que la práctica de la fertigación involucra una aplicación simultánea, agua y fertilizante y es importante entender que la aplicación debe hacerse al mismo tiempo al sistema de riego mecánico o superficial (11).

La microirrigación (fertigación) se refiere más específicamente a la aplicación de agua de riego y nutrientes, a través de pequeños emisores que aplican sobre el suelo lo que necesitan las plantas. El riego por goteo es un tipo de

microirrigación, donde el agua o soluciones nutritivas son puestas en el cultivo por vía de pequeños tubos plásticos o emisores (14).

El sistema de irrigación por goteo, proporciona un método eficiente de suministro de fertilizante a la mayoría de los cultivos vegetales, por que el agua y los nutrientes son puestos propiamente en la zona radical, en cantidades de agua y nutrientes correctamente calculadas; No solo permitiendo aplicar agua de riego, sino también distintos productos como: correctores de suelo, productos fitosanitarios, etc. De estas aplicaciones, la que más se ha desarrollado es la de fertilizantes disueltos en el agua de riego -fertigación- iniciando una revolución en las técnicas de cultivo (16,21).

Ventajas y Desventajas.

En general, la fertigación nos da la posibilidad de optimizar los 2 factores de mayor incidencia en la explotación agrícola: el agua y los fertilizantes. Con ello aseguramos la conservación del medio ambiente, al reducir la contaminación de las aguas subterráneas con exceso de nitratos.

La aplicación de fertilizantes en riego superficial, generalmente no es aconsejable, dada la falta de uniformidad en la distribución del agua (menos de 70%) y la dificultad de controlar las pérdidas por lixiviación, no existiendo en si una dosificación adecuada en la superficie del terreno (7).

Domínguez (1992), Pizarro (1990) y Esteve Graw (1986), mencionan las siguientes ventajas y desventajas obtenidas para los riegos de alta frecuencia y bajo caudal donde se adopte esta práctica (fertigación) (7,21).

Ventajas:

- . Ahorro de fertilizante.
- . Mejor asimilación de los nutrientes por la planta.
- . Mejor distribución de los nutrientes en el suelo.
- . Rapidez de actuación de los fertilizantes.
- . Economía en la distribución.

Desventajas:

- . Obturaciones de emisores.
- . Aumento de la salinidad en el agua de riego.
- . Impureza de los fertilizantes.

Las ventajas dependen del manejo y operación del sistema de riego.

Bajo condiciones agrícolas irrigadas áridas y semiáridas, Phene et. al. (1991), demostró que los factores que afectan la producción y calidad de los tomates, es el agua y la fertilización, reflejándose en producciones de 200 ton de tomate industrial/ha, comercializable, utilizando la fertigación (microirrigación) (20).

La fertigación con un sistema de micro-irrigación puede

ser precisa y tiene el potencial de ser muy eficiente (17). Opinando Domínguez (1992), que en la práctica, se alcanza a sostener un 80% el rendimiento, mientras que en riego por gravedad únicamente 45% con el mismo nivel salino (7).

Los niveles de máxima producción son obtenidos cuando todos los fertilizantes (N,P,K) son inyectados precisamente en tiempo y espacio, a través del sistema de riego por goteo a cantidades que el cultivo requiere (18).

Los sistemas de riego son particularmente adaptables a la inyección de fertilizantes en la red del sistema, por que el agua es aplicada directamente a la zona radical de la planta, ayudando a incrementar la eficiencia del uso y del aprovechamiento de los fertilizantes, traduciéndose en un ahorro de un 30% respecto a los sistemas tradicionales de fertilización (9,16).

Phene et.al., Rolston et.al. (1992), mencionan que la aplicación de nutrientes a través del sistema de riego por goteo es necesario, conveniente y eficiente, y un riego por goteo sin inyección de fertilizante es usualmente ineficiente, resultando con una poca o nula producción, ya que la producción incrementa linealmente con respecto a la tasa transpirativa e incremento en los requerimientos nutricionales (20).

La fertigación otorga al operador del campo el control del tiempo y la dosis del fertilizante, teniendo el potencial de ser sumamente eficiente; sin embargo, si es mal usada esta técnica, puede ser demasiado ineficiente y en un gran número de casos, se traduce en salinización del suelo y taponamiento del sistema (19).

Naturalmente, no todos los tipos de riego permiten realizar la fertigación, ya que la exigencia principal es obtener la máxima uniformidad de aplicación y básicamente se asocia con riego de alta frecuencia y bajo caudal, como el riego por goteo (7).

Relación: uniformidad de distribución del agua y la fertigación

La aplicación de fertilizante a través del sistema de riego, tiene una serie de exigencias importantes en relación a la eficiencia de fertilización, destacándose las siguientes:

Oportunidad de aplicación. Se refiere a la aplicación de nutrientes en cantidad y en el momento apropiado, de acuerdo al desarrollo fisiológico de la planta, existiendo un gran paralelismo entre la necesidad de agua y de nutrientes exigidos por las plantas.

Localización de fertilizantes en la zona de absorción. Este punto es referido a la aplicación del fertilizante-agua cerca de la zona de absorción de la raíz y aplicarlos de una

forma disponible (P,K, principalmente).

Uniformidad de distribución. Consiste en asegurar en el sistema de riego una distribución homogénea del agua, desde el primer hasta el último emisor dentro de cada uno de los bloques o parcelas de riego (7).

Es importante entender que la uniformidad con que inyectamos el químico, nunca excederá al que el sistema de irrigación tiene, razón por la que es recomendable contar con un sistema bien diseñado y mantenerlo en óptimas condiciones de operación (4).

La uniformidad de aplicación de fertilizante es aproximadamente igual a la uniformidad de distribución de agua, así que una aceptable uniformidad de descarga del emisor es prerequisite para inyectar fertilizante. Es importante entonces, contar para los sistemas de microirrigación, en que se realicen aplicaciones de fertilizante y quiera llevarse a cabo una fertigración eficiente, para que esta sea aprovechada al máximo, de una operación eficiente del sistema de riego, así como de una alta uniformidad de distribución, siendo excelente un 90% o mas, ya que el principal propósito de la fertigración en microriego es suplir de agua y fertilizante a la planta con frecuencia y a bajos volúmenes, de acuerdo con su evapotranspiración y a sus requerimientos nutricionales. Es esencial por tanto, que la uniformidad de distribución del agua por el sistema, sea conocido, particularmente por que la

duración de riego y su frecuencia está basado por este factor al momento del cálculo (12,15,24).

Por que las necesidades totales de agua de los cultivos, se obtiene añadiéndole a las necesidades reales de agua, aquellas aplicaciones complementarias que involucra los siguientes puntos:

- Necesidades de lavado del suelo para corregir la salinidad existente.
- Uniformidad del riego (7).

La uniformidad de distribución es una medida del buen funcionamiento de la instalación de riego, y es una medida que rara vez se realiza (22).

Forma práctica de realizar la comprobación de uniformidad de distribución de agua por el sistema de riego.

Primer paso:

La inspección de uniformidad empieza con una observación visual de la uniformidad de distribución, identificando zonas secas o sobreirrigadas.

Comprobación de caudal de los goteros.- Todos los goteros no pueden salir idénticamente iguales de la fábrica, puede haber diferencias, pero mínimas, para ello debe exigir garantía en su uniformidad a la compañía diseñadora del sistema, de forma que su coeficiente de variación no sea mayor

de 5%.

Variación entre los goteros de una misma línea.- La variación permitida es de una diferencia de mas o menos 10% en gasto, dentro de una misma línea de emisores (5).

Segundo paso:

- Poner en marcha el sistema de riego a la presión de operación.
- Escoger 4 líneas de un sector de riego o bloque de riego, recomendando elegir una línea al principio y una línea al final, y las dos líneas faltantes al azar, dentro de un bloque de riego.
- Escoger 4 goteros de cada una de las líneas (elegidas), procurando que estén repartidos los goteros en la cuarta parte de la longitud de cada una de las líneas. (Fig.1)
- Recoja y mida en la probeta cada uno de los goteros el agua vertida durante 10 min.
- Anotar la cantidad de los gastos y la ubicación en el campo del bloque de riego.

Cálculos:

- . Sacar la media de los 4 goteros (de los 16) que dieron menor gasto. Q_{min} .
- . Sacar la media de los 2 goteros (de los 16) que dieron mayor gasto. Q_{max} .

- . Sacar la media de los 16 goteros. Q_{med} .
- C.U. = $100 \cdot \frac{1}{2}(Q_{min.}/Q_{med} + Q_{med.}/Q_{max.})$

Donde:

C.U. = Coeficiente de uniformidad.

- Si la instalación no reúne un C.U. de 90%, significa que:
- . Está mal diseñado.
 - . Tenemos problemas de taponamiento (22).

Otro procedimiento a seguir, para comprobar la uniformidad de distribución en el sistema, es proporcionado por el Dr. Fedro S. Zazueta.

Medir para cada subunidad de riego, las descargas de 18 emisores seleccionados al azar y el coeficiente de uniformidad (C.U.) está dado por:

$$C.U. = 100 (1 - D.E/M)$$

Donde:

C.U. = Coeficiente de uniformidad (%)

D.E. = Desviación estándar de las descargas de los emisores (lph)

M = Media de las descargas de los emisores (lph)

En donde la desviación estándar entre la media es el coeficiente de variación de los datos y se obtiene con la raíz cuadrada del resultado obtenido de la suma de los cuadrados de

las diferencias del gasto de cada gotero menos la media y dividido entre 17 (n-1). (24).

Interpretación:

C.U. (%)	Resultado
> 90	Excelente
80-90	Buena
70-80	Regular
60-70	Pobre
< 60	Inaceptable

Estas pruebas se realizan cada 3 meses o máximo, cada ciclo del cultivo.

Los beneficios de la fertigación bajo sistema presurizado, no se logran si no se tiene un coeficiente de uniformidad de buena a excelente. Es importante entender entonces que una buena uniformidad de distribución reduce directamente la eficiencia de aplicación de fertilizante en la fertigación. Es por eso que si no se cumple con el requisito de tener una alta uniformidad de aplicación (mayor a 85%) se debe tomar en cuenta que estamos aplicando desuniformemente y que algunas áreas estarán mas sobrefertilizadas que otras (8,18,22).

Problemas que hacen disminuir el coeficiente de uniformidad.

Si se quiere mejorar en el sistema de riego el

coeficiente de uniformidad, hay que determinar bien a que se debe el problema. Los problemas mas comunes de taponamiento se deben a:

1. Tamaño de los conductos hidráulicos en los emisores (más pequeños que el tamaño de los contaminantes). Según el diámetro de la sección de paso, los goteros y sistemas integrados se clasifican:
 - Muy sensibles a obturaciones diámetro < 0.7 mm
 - Sensibles diámetro $0.7 < = < 1.5$ mm
 - Poco sensibles diámetro 1.5 mm (22)
2. Baja velocidad del agua en varias partes del sistema (< 1.5 m/seg).
3. Que las aguas y aplicaciones de productos contengan contaminantes.

El primer y segundo punto dependen de las características de diseño, ya que simplemente el régimen del gotero tiene un riesgo de taponamiento; en un régimen laminar hay más riesgo de obturaciones que en un régimen turbulento, así como también la falta de presión mínima adecuada en algunas secciones de riego, hace que la velocidad del agua sea menor a 1.0 m/seg y ocasione un sedimento de las partículas de contaminantes en los emisores.

Acciones.

Los problemas de taponamiento pueden clasificarse según

el origen del material que produce las obturaciones y estos son: físico, químico y biológico y su tratamiento de agua pueden ser preventivos o de limpieza, y se llaman:

- 1.- Clorinación = Combatir bacterias
- 2.- Acidificación = Contra precipitados químicos
(21,22,24).

Algunas aplicaciones de agua, requieren de químicos para corregir o prevenir el desarrollo de bacterias o precipitados químicos que originen taponamientos al sistema de riego. Estas aplicaciones son consideradas parte de la quemigación (3).

Un análisis del agua de riego para Calcio, Magnesio y Hierro, así como de pH, carbonatos y bicarbonatos, es importante para predecir con certeza el problema de precipitación química. Cuadro 2 (14).

Acidificación y clorinación.

La inyección de ácidos se utiliza para bajar el pH del agua y para efecto de limpieza del sistema. Bajar un pH en el agua de riego, puede ser necesario para reducir el potencial de precipitación de Calcio y aumentar la efectividad de la fertigación. También hace más efectivo el tratamiento de problemas de taponamiento biológico cuando se usa clorinación.

Si los problemas de precipitación de Calcio son frecuentes en el sistema, es necesario disminuir el pH para solubilizar estos precipitados y poderlos lavar.

Realizar una titulación sobre el agua de riego, nos proporciona el tratamiento de ácido que hay que aplicar. Es por eso que para el cálculo del ácido, es necesario llevar el pH original del agua hacia el que nosotros necesitamos para limpieza, y debe hacerse la valoración en el agua de riego que tenga las condiciones de campo y con la que realmente trabajaremos (2,24).

Burgueño (1992), menciona que el agua de riego no responde en forma lineal a la aportación de ácidos, sino que sigue una curva característica denominada curva de neutralización, que es la resistencia que opone el agua al variar su pH con la adición de ácidos. Es por esa razón, que por debajo del valor de 5.5 pequeñas adiciones de ácido, provocan modificaciones importantes en el pH. Fig. 2, pero, cada agua tendrá su curva característica y se deberá obtener de forma experimental (laboratorio) (2).

Si no contamos con los datos de titulación, se puede suponer que los materiales son bicarbonatos y utilizar la concentración de Ca y Mg para estimar las bases y está dadas por:

$$\text{Bases: } 0.05 \text{ Ca} + 0.083 \text{ Mg}$$

Donde:

- Bases = Meq de bases aprox. en el agua de riego.
 Ca = Concentración de Ca (ppm).
 Mg = Concentración de Mg (ppm).

Para calcular el tratamiento de ácido se usa:

$$Ta = F \frac{B}{3.78}$$

Donde:

Ta = Tratamiento de ácido en cc de ácido/100 lt de agua.

F = Factor de ácido

H₂O₄ Ac. Sulfúrico = 8.7

HCl Ac. Clorhídrico = 29.6

H₃PO₄ Fosfórico 83% = 6.8

B = Cant. de bases meq/lt.

Existen alternativas para inhibir formación de sarros, tales como kelatos y secuestradores. Un material muy usado es hexametáfosfato de Sodio, el cual es capaz de inhibir bicarbonato de Calcio en la solución en una relación de 1:100.

También, para el mantenimiento de la tubería y emisores del sistema de riego con probabilidades de tener problemas de taponamiento bacteriano, se requiere de una inyección de un bioicida.

Se conoce que una técnica económica y práctica para el manejo de problemas bacterianos de Hierro y Azufre, es añadir

Cloro al agua de riego y tiene el principal propósito de:

- 1.- Precipitar Fierro del agua de riego.
- 2.- Matar bacterias ofensivas.

Las formas comunes de Cloro utilizado son: Cloro gaseoso y Cloro como: hipoclorito de Calcio ó hipoclorito de Sodio, que al diluirse en el agua forma ácido hipocloroso actuando como bioicida. El tratamiento puede ser según el problema. Cuadro 1. El Cloro al disolverse en el agua de riego forma ac. hipocloroso (HCl) e hipoclorito (OCl). Ambos compuestos son bioicidas y a su cantidad total se le llama Cloro libre. Las cantidades relativas de ac. hipocloroso e hipoclorito va a depender del pH y la temperatura del agua, y a medida que aumentan estos factores, se da una conversión de ac. hipocloroso a ac. hipoclorito. Esta característica química no es deseable, ya que el ac. hipocloroso es de 40 a 80 veces más efectivo que el hipoclorito. Es importante entonces mantener un pH por abajo de 7.0 para que el tratamiento de Cloro sea efectivo (24).

Ya que la fertigación en los sistemas de riego se logra a través de la inyección de la solución, facilitando su control, se verán las principales características de las bombas inyectoras, así como los criterios de elección para cada una de ellas, de acuerdo a las necesidades y propósitos que se quiera lograr con la inyección.

Equipos electromecánicos para quemigación (fertigación)

Los químicos pueden ser aplicados como una administración precisa de los niveles de concentración, ó como una aplicación por bulto del químico a inyectar, pudiéndose variar los niveles de concentración en este último.

Una administración precisa de los niveles de concentración, requiere de una estricta inyección por el sistema y es más complicado que la inyección por bulto. La inyección al sistema tiene que ser específicamente calibrado con el gasto del sistema y ser operado bajo condiciones existentes como: variaciones en la presión de operación, gasto del sistema, tiempo y temperatura, ya que todos estos factores pueden influir en la calibración del sistema.

La inyección por bulto, simplemente involucra a la inyección del volumen deseado ó cantidad del químico a través del sistema, mientras que la tasa de inyección no necesita ser controlada precisamente.

Algunas aplicaciones de químicos necesitan tasas de concentraciones constantes y que estas sean mantenidas, en particular la fertigación.

Es posible establecer dentro de la selección adecuada del equipo de inyección, un programa regular de mantenimiento y una adecuada operación para asegurar el éxito del sistema de

fertigación (4).

Las bombas y otros equipos para la quemigación, deben tener varias características especiales para que puedan ser utilizadas con los sistemas de riego. Dentro de las características deseables de una bomba de este tipo deben ser:

- 1.- Resistir a los productos químicos utilizados.
- 2.- Capaz de mantener una tasa de inyección constante o en proporción al flujo que pasa por el sistema de riego.
- 3.- Inyectar las soluciones con alta precisión.
- 4.- Capaz de trabajar sobre un rango amplio de presiones y flujos.
- 5.- Calibrables mientras estén operando.
- 6.- Bajo costo.

Existen varios tipos de dispositivos usados para la inyección de químicos (quemigación) en el riego (24), Fig.3, pero de todos estos equipos para la quemigación, Nakayama (1986), menciona que los equipos disponibles para la fertigación incluye: inyector Venturi, tanques fertilizantes e inyectores de diafragma pistón de desplazamiento positivo (5).

Amaros Castañer (1991), define los siguientes equipos para fertigación:

- . Tanques de fertilización
- . Fertilizador tipo Venturi

. Inyectores

Actualmente, la tendencia es la instalación de bombas inyectoras, ya que tiene que ser más rigurosas las proporciones de productos a incorporar (1).

A continuación se mencionan los principales aspectos de los equipos de fertirrigación.

Tanques de fertilización.

Es un equipo que funciona mediante la presión de la red de riego, y tiene una pérdida de carga mínima de 3 m.

Se define como un depósito conectado en paralelo a la red de riego, el depósito herméticamente cerrado debe soportar la presión de operación de la red. Su fabricación puede ser de plástico reforzado, metálico o fibra de vidrio. El material debe resistir corrosión de las posibles mezclas, sus volúmenes varían entre 20 y 200 lt.

En el interior del tanque se coloca el fertilizante, generalmente en forma de solución líquida aunque a veces en forma granular o sólida y su instalación se realiza en paralelo sobre la conducción principal del sistema, con dos tomas: una de entrada y otra de salida; por la toma de entrada pasa parcialmente el agua de riego (5-10%), la toma de salida se instala separadamente de la primer toma, entre una válvula

cuyo objeto es crear una diferencia de presión del orden de 1-5 m. Fig.4, Fig.5.

Para tener una mezcla uniforme del fertilizante, lo más indicado es, que la toma de entrada al tanque debe aplicar el agua en su parte inferior y la toma de salida debe salir mezclada en la parte superior del tanque. Fig. 4, Fig.5. (6,21,22,24).

Conecciones importantes:

- * válvula de vaciado del tanque (parte inferior)
- * Purgador, tubería de salida.
- * Medidor de gasto.

Ventajas y desventajas del tanque fertilizador.

Ventajas:

- . Bajo precio (De 100-150 Dlls/tanque).
- . No necesita energía eléctrica para funcionar.
- . No tiene partes movibles.

Desventajas:

- . La concentración de nutrientes no es constante, afectando la uniformidad de aplicación con respecto al tiempo.
- . Reponer el fertilizante del tanque en cada riego.
- . Al no ser un sistema continuo, dificulta el automatismo de la fertigación.

(7,21).

Fórmula del tanque:

V = Volumen del tanque (lt).

Q = Caudal que circula por el tanque (lph).

Ao = Cantidad inicial de fertilizante en el tanque (kg).

T = Tiempo de riego transcurrido desde el comienzo de la fertilización (hr).

A = Cantidad de fertilizante que permanece en el tanque durante el tiempo (kg).

$$-qt/v$$

$$A = A_o.e$$

Despejando "tiempo" tenemos:

$$t = -v \ln(A/A_o)/q$$

Despejando "volumen" tenemos:

$$v = -qt/\ln(A/A_o)$$

Estas fórmulas teóricas han sido comprobadas experimentalmente con suficiente aproximación.

Donde q/v se denomina coeficiente de agotamiento del tanque. Ejemplo: Coeficiente de agotamiento de 0.2 ($q= 20$ l/h, $v= 100$ lts.) se necesitan 80 hrs para que el contenido en fertilización del tanque se reduzca al 20% del inicial ($A/A_o = 20\%$ o 0.20) (5,21).

Procedimiento para mejorar la uniformidad de fertilización del tanque.

1.- Disminuir el coeficiente de agotamiento del tanque (q/v)

y esto se puede conseguir de dos maneras:

a)- Aumentando el volumen del tanque (v), encareciendo la instalación.

b)- Disminuir " q " (gasto), que se consigue accionando la válvula que crea la diferencia de presión entre la entrada y la salida del tanque; sin embargo, estas válvulas no tienen la precisión necesaria.

Es importante tomar en cuenta que la disminución excesiva del coeficiente de agotamiento (q/v) puede ocasionar que la mezcla del agua-fertilizante no se realice adecuadamente.

- 2.- Colocar varios tanques en serie (Fig.5, Cuadro 6a y b).
- 3.- Variar el tiempo de riego en cada sector, con la siguiente complicación en la automatización.
- 4.- Utilizar fertilizante sólido soluble en vez de fertilizante líquido. El fertilizante sólido se coloca en exceso y el agua de riego lo va disolviendo. La solución se mantiene constante, próxima al límite de solubilidad, con lo que el agua de riego que sale del tanque mantiene una concentración teóricamente constante. En la práctica, esta constancia no se obtiene realmente.
- 5.- Emplear "tanques de desplazamiento". El más sencillo consta con la entrada de agua en la parte superior del tanque, provistas de un deflector que disminuye la turbulencia. La

salida se sitúa en el fondo y el agua de riego, actúa como un embolo que empuja el fertilizante líquido "teóricamente" sin mezclarse con el. En otros modelos hay un diafragma que impide la mezcla en la interfase agua-fertilizante. Fig. 5, a y b) (21).

Fedro S. Zazueta (1992), menciona que la manera en que la concentración de la solución que se inyecta de un tanque fertilizador pueda ser constante, es utilizar una bolsa en el tanque, lo que evita el mezclado de agua (24).

Fertilizador tipo Venturi.

Consiste fundamentalmente en un tubo por el que circula el agua, provisto de un estrechamiento, que es muy brusco al inicio, pero la ampliación hasta la sección o diámetro original es gradual, este efecto es llamado Venturi, el cual modifica las presiones (1,23).

En la zona de estrechamiento, lleva conectada una tubería cuyo otro extremo se introduce en un depósito con la solución a inyectar, situada a la presión atmosférica.

La instalación se realiza en paralelo con la tubería de riego. Una válvula realiza una diferencia de presión que dirige parte del agua al circuito inyector, Fig.5c. Dicha válvula se omite aprovechando cualquier elemento del cabezal que origine pérdidas por fricción, que ocasione el diferencial

de presión necesario (Fig.5a), esto causa en el Venturi un rápido aumento de la velocidad del agua, lo que origina una succión que introduce la solución fertilizante en la red.

En el circuito del inyector se instala otra válvula para controlar la cantidad de fertilizante succionado. A diferencia del tanque, la concentración del fertilizante es constante; sin embargo, la cantidad de fertilizante no es proporcional al volumen de agua de riego, siendo un inconveniente para la automatización.

El flujo de fertilizante inyectado a la red estará en relación directa a la presión del agua de riego del sistema a la entrada del Venturi, con una presión mínima de 1.5 bars. Varía el caudal para cada uno de los modelos, los gastos más usuales van desde 50 hasta 2 000 lt/h. El gasto mínimo que debe pasar a través del aparato depende de su capacidad y varía desde 1 m³/hr para los modelos de 1" a más de 20 m³/h para algunos de 2" de alta capacidad de succión.

La pérdida de carga que origina un inyector Venturi es del 10 a 30% de la presión de la tubería donde se instalan. Hay modelos que producen una pérdida de carga entre 30 y el 50%. Esta es la principal razón por la que en muchos casos es necesario instalar antes del Venturi un pequeño equipo de bombeo, para evitar estas pérdidas de carga en el sistema. Fig. 5 b y d (17,21,22).

Para calibrar el diámetro y tipo de inyector que necesitamos, se realiza los siguientes pasos:

- 1.- Flujo total de agua en el sistema de riego (l/m)
- 2.- Dosis máxima de fertilizante ó del producto químico a utilizar (l/h).
- 3.- Diferencia de presión del sistema:
 - a) - Máxima presión del sistema (Kg/cm²).
 - b) - Mínima presión requerida para la operación del sistema (Kg/cm²).
 - c) - Obtener el diferencial de presión:

$$(a-b)$$
 - d) - Obtener el porcentaje de diferencia de presión:

$$\frac{a}{b} \times 100 = \%$$

Si este porcentaje en diferencia de presión es de 20% ó más, se puede utilizar la derivación directamente, sin tener que utilizar un equipo que proporcione presión extra (motobomba).

En el Cuadro 3, se muestra el porcentaje de diferencia de presión mínimo para lograr la succión para cada uno de los modelos Venturi existentes en una compañía distribuidora, así como la succión máxima en l/h (2.6 l/h-1982 l/h).

Para mayor información se muestran los Cuadros 4 y 5 para una selección del Venturi más óptima. Es importante hacer mención que la calibración para la succión en este catálogo, está realizado en base a agua, y si nuestro producto es mucho

más denso, necesitaremos un mayor diferencial de presión para lograr la succión, ó un modelo que nos succione el doble de la dosis que nosotros requerimos. Ejem:

ac. sulfúrico	Da = 1.98 , 2.0
agua	Da = 1.00

(**)

Si el porcentaje de diferencia de presión no es 20%, es necesario calcular la presión que debe proporcionar el equipo de bombeo, para el funcionamiento del Venturi, entonces se realiza:

$$H = (H + H') (1 - pc)$$

Donde:

Pc = La pérdida de carga del Venturi en tanto por uno.

H = La presión de la red.

H' = La presión a suministrar por el equipo de bombeo.

De donde se deduce que:

$$H' = H (pc / (1 - pc))$$

Ventajas y desventajas del fertilizador tipo Venturi.

Ventajas:

- Inyección barata. (Inyector 300 Dlls + Bomba que proporcione presión 570 Dlls).
 - No necesita energía eléctrica.
 - Aplica concentraciones constantes de fertilizante.
 - Resistente a corrosión.
- ** Catálogo compañía particular.

Desventajas:

- Los de materiales de plástico o polipropilenos se rompen frecuentemente por golpes o vibraciones (19).

Precauciones:

- 1.- Los datos de caudal proporcionado por los catálogos de los fabricantes suelen referirse a agua pura. Los fertilizantes de mayor densidad dan lugar a caudales menores.
- 2.- Si por cualquier causa el depósito de fertilizante se queda sin líquido, el inyector continúa trabajando inyectando aire en la red. Para evitar esto hay que colocar un dispositivo que cierre la tubería.
- 3.- No se debe usar el inyector si el agua sale directamente del pozo o tiene un gasto de más de 50 lps.
- 4.- No funciona cuando hay aire en el agua de riego.
- 5.- Requiere que se instale en donde el flujo sea laminar, o donde se tenga una trayectoria recta en la tubería de riego.
- 6.- En caso de aplicar un fertilizante ácido o un producto acidificante para posteriormente aplicar el fertilizante y evitar precipitados, debe considerarse:
 - a)- La descarga del inyector Venturi no debe ser de

material de fierro, debe ser de material anticorrosivo.

b)- Es muy peligroso cuando baja la presión por alguna causa, ya que el Venturi deja de trabajar y el agua se disuelve al tanque de almacenamiento, que si en este caso es ácido, la reacción es violenta y peligrosa.

c)- La descarga del inyector Venturi debe ir en el centro del diámetro de la tubería, con esto disminuimos el riesgo de alguna corrosión sobre el material (21,**).

Dosificadores de fertilizante.

Son mecanismos que toman el fertilizante disuelto o líquido sin presión y lo inyectan en la red de riego a una presión superior a la del agua de riego, se distinguen dos tipos de dosificadores:

- * Bombas de motor ó eléctricas

- * Bombas de accionamiento hidráulico

Bombas de motor eléctricas ó de combustión interna.

Consisten en bombas de motor accionadas eléctricamente y de motor de combustión.

Bombas centrífugas.- Consiste en una bomba pequeña que inyecta la solución directamente desde el tanque, son de bajo

** Comunicación personal. Noriega J.R. Asesor particular de viñedos.

costo y pueden calibrarse mientras operan. La calibración depende de la presión del sistema y no se puede utilizar para controlar flujos pequeños con precisión (24).

En general, los caudales varían según los modelos, 20 lt/h hasta 600 lt/h; y además, para cada modelo se puede regular el gasto, modificando la carrera del pistón. La presión de inyección varía según modelos desde 5-15 atm (21).

Ventajas y desventajas de las bombas de motor (eléctricas ó de combustión interna).

Ventajas:

- La principal ventaja es la posibilidad de regular el caudal de inyección, y el de inyección de concentraciones constantes de fertilizante.

Desventajas:

- Necesita suministro eléctrico
- Alto precio (600 Dlls)
- Tiene materiales y piezas corrosivas

En su instalación será imprescindible colocar los automatismos que impidan la inyección de fertilizantes cuando no se esté regando; ya que no solo se tendrá una pérdida de dinero, sino un peligro de obturaciones en los emisores. (21).

Bombas de accionamiento hidráulico.

Funcionan con la energía del agua de la red de riego. Su accionamiento consiste en una cámara que se impulsa al reducirse su volumen y que se llena y vacía alternadamente. Cuando la cámara se llena, el dosificador succiona abono de un depósito y cuando se vacía, lo inyecta a la red. La presión necesaria para la inyección debe ser superior a 2 atm generalmente.

Estas se dividen en:

Bombas de pistón.- Consisten de un cilindro en el cual la solución química entra y sale impulsada por un pistón. Son de alta precisión y pueden trabajar a muy altas presiones, independientemente de la presión contra la que bombean hacia la red de riego. Son de un costo muy elevado y algunas no pueden ser calibradas cuando están funcionando. El flujo que producen no es continuo.

Bombas de diafragma.- Consisten en una cámara con un lado formado por un diafragma flexible. El diafragma se desplaza produciendo la acción positiva, son muy resistentes a productos químicos y generalmente se pueden calibrar mientras operan. La calibración, generalmente no es lineal y depende de la presión contra la que se bombea. Son de costo mediano a alto.

Bombas mixtas.- Estas bombas combinan un pistón con un diafragma. El diafragma separa dos cámaras, una de las cuales es la que bombea la solución, y la segunda es la que contiene un líquido, a la vez que es el cilindro de una bomba de pistón. Cuando el pistón se mueve, comprime el fluido en la segunda cámara, haciendo flexionar el diafragma y produciendo una acción positiva sobre la solución del químico. En general, son bombas de alta precisión, tienen una calibración lineal independiente de la temperatura, además que pueden trabajar a muy altas presiones. Son de costo muy elevado y se puede requerir que sean detenidas para su calibración.

La instalación de los dosificadores se realiza colocándose en paralelo con la tubería de riego, preferiblemente entre dos puntos donde haya una cierta diferencia de presión (regulador de presión, filtros, etc.). Algunos modelos necesitan una presión mínima de 2 atm, lo que puede ser un inconveniente, sobre todo en riegos de muy baja presión.

Pueden trabajar hasta con presión de 8 atm. El circuito que proporciona el agua a presión para accionar el dosificador, continúa en una tubería de drenaje, por la que se pierde un volumen de agua de aproximadamente del doble de fertilizante inyectado.

Cada "embolada" inyecta un volumen constante, pero variando el ritmo de emboladas se puede modificar el caudal

inyectado. Para ello, se regula la válvula del circuito de accionamiento: cuando más abierto esté, mayor es la presión y más rápido el ritmo de emboladas. Además, colocando en dicho circuito una válvula volumétrica, se puede interrumpir la aplicación de fertilizante cuando se ha inyectado el volumen deseado. Fig. 8a y b, Fig. 9a (7,8,21,22).

Ventajas y desventajas de las bombas de accionamiento hidráulico.

Ventajas:

- No necesitan mas fuente de energía que la presión de la red.
- Se puede regular el caudal, normalmente entre 20 y 300 lt/h, para caudales mayores se pueden instalar varios dosificadores, aunque también hay modelos que llegan a 1 200 lt/h.
- Son fácilmente portátiles.
- No provoca pérdida de carga en la red de riego.

Desventajas:

- Necesitan una presión mínima de 2 atm.
- Precio elevado. (700 Dlls)
- Algunos, su mecanismo o partes no resisten la corrosión de ciertos productos fertilizantes.

Criterios de elección

Como se ha visto, existe gran variedad de equipos para

aplicar fertilizante a la red de riego. En este apartado consideraremos los criterios para elegir entre ellos.

La elección está determinada de acuerdo a:

Precio.- El tanque y el inyector Venturi son baratos. Los dosificadores, tanto eléctricos como hidráulicos son más caros. En cada caso en concreto habrá que realmente valorar el costo de las diferentes alternativas.

Fuente de energía.- Los dosificadores eléctricos solo pueden instalarse cuando se disponga de ésta fuente de energía. Los tanques de fertilización, inyectores Venturi y dosificadores hidráulicos aprovechan la presión hidráulica de la red de riego para su funcionamiento.

Presión disponible.- Algunos dosificadores hidráulicos necesitan presiones del orden de 2 atm.

Automatización.- Es muy fácil en los dosificadores eléctricos, realizando una programación por tiempo que no exige que se visite a diario la instalación. Los demás sistemas también se pueden dosificar por tiempo, utilizando electroválvulas, para ello se requiere disponer de energía eléctrica, cuya falta es la causa más frecuente de elegir estos sistemas de fertirrigación.

Si la automatización se hace sin energía eléctrica hay

que recurrir al empleo de válvulas volumétricas ó conformarse con fertirrigar siempre que se riegue. En este caso, es necesario visitar la instalación una vez en cada riego. En el caso del tanque, dicha visita es necesaria, además, para reponer el fertilizante del tanque. La automatización del fertilizado con el tanque fertilizador se complica por la falta de homogeneidad de la concentración aplicada.

Capacidad del sistema.- El sistema elegido debe poder inyectar un caudal del orden de 700 ppm (0.7 litros de solución por metro cúbico de agua de riego) aunque conviene disponer de una mayor capacidad para algún tratamiento especial como aplicación de ácidos ó nematicidas.

Concentración.- La concentración del tanque fertilizador es decreciente con el tiempo, lo que constituye su mayor inconveniente. Los demás sistemas mantienen la concentración constante si el gasto de riego no varía.

Otros criterios.- Otras cuestiones a tomar en cuenta son: que los materiales o piezas de las bombas no sean corrosivas ó frágiles. La manejabilidad ó posibilidad de mover el equipo de aplicación a distintos puntos de la red de riego y que su servicio de mantenimiento sea fácil (21).

Aunque la mayoría de los elementos pueden ser inyectados a través del sistema de riego por goteo, los mayormente aplicados son N y K. En general los cultivos necesitan en

gran cantidad de N y K (Nitrógeno y Potasio) comparado relativamente con otros elementos; la fertigación provee al sistema la capacidad de suministrar los requerimientos de estos elementos a los cultivos en diferentes estaciones durante el ciclo.

Las recomendaciones de la Universidad de Florida, han considerado las proporciones del fertilizante a inyectar y del fertilizante a aplicar en el suelo antes de realizar la plantación, su recomendación es aplicar en preplantación lo que necesite el cultivo durante su ciclo de Fósforo y micronutrientes, y del 20 al 40% de Nitrógeno y Potasio (16).

Frecuencia de inyección.

Las inyecciones que se dan al inicio del ciclo de cultivo, son aplicaciones de cantidades pequeñas de nutrientes, incrementando las tasas de aplicación cuando incrementa la tasa de desarrollo del cultivo (16). Es por eso que la influencia de la temperatura en el desarrollo fenológico de los cultivos es importante, tanto en la velocidad de crecimiento de la planta como en la rapidez de maduración de la fruta. Estas diferentes etapas de desarrollo de la planta, nos determina una diferencia significativa en el consumo de agua por las plantas, así como en la velocidad de asimilación de nutrientes, y la cantidad exacta de agua aplicada al cultivo es calibrada por su evapotranspiración durante sus distintas etapas de desarrollo (3).

Es importante entonces, entender que la aplicación del agua y aplicación de fertilizante están íntimamente unidos. Cambios en uno de los programas estará afectando la eficiencia del programa general de fertigación.

La frecuencia de inyección de nutrientes, también está dada como menciona Houchmunth por los requerimientos de nutrientes por el cultivo, así como de la disponibilidad del elemento en el suelo.

En suelos arenosos, la frecuencia de inyección será alta para los elementos como Nitrógeno y Potasio, mientras que en suelo arcilloso estos elementos son aplicados con menos frecuencia. Cook y Sanders (1991), especifican que una aplicación diaria ó semanal es preferible en aplicaciones de Nitrógeno, que las aplicaciones bisemanales o mensuales. Sin embargo, una inyección frecuente no afecta al cultivo de tomate en suelo arcilloso (16).

Fertilizantes

Los requerimientos de la fertilización están dados por:

- a)- Experiencia local y recomendaciones de Centros de Investigación. Cuadro 7.
- b)- Análisis de suelo.- Nos determina cuales nutrientes están disponibles en el suelo para las plantas, requiriendo de un muestreo representativo, un análisis preciso y una

interpretación adecuada.

Algunos suelos contienen menor, algunos mayor cantidad de los elementos requeridos por las plantas, especialmente los microelementos. Esta diferencia entre la cantidad del elemento que es proporcionado por la fertilidad del suelo y la cantidad que el cultivo requiere, es proporcionado por el fertilizante.

c)- Análisis de planta.- Se determinan los requerimientos de los nutrientes en base a los niveles óptimos nutricionales ya especificados para esa planta en particular.

Son básicamente 2 tipos de análisis de tejido de la planta. Uno involucra un análisis completo de laboratorio, ofrecido por la mayoría de los laboratorios comerciales. Un sistema alternativo de análisis de tejido de la planta para Nitrógeno y Potasio, puede ser la utilización de su savia, como un análisis rápido y constan principalmente de 2 kits colorimétricos; un kit con un electrodo específico para detectar nitratos y otro kit con un electrodo para determinar específicamente Potasio. (3,16,24).

Selección de los fertilizantes.

Siempre que se practique la fertigación deben buscarse las características esenciales de los fertilizantes. La selección de estos fertilizantes para la fertigación a través

del sistema de riego, se da de acuerdo a los siguientes factores:

- 1.- Respuesta y efecto (cultivo).
- 2.- Fuentes del nutriente.
- 3.- Interacción con el agua.
- 4.- Distribución resultante en el suelo.
- 5.- Cantidad que se debe aplicar.
- 6.- Frecuencia de aplicación.
- 7.- Rápida asimilación de la planta.
- 8.- Distribución uniforme.
- 9.- Mínima acumulación de sales en el terreno.

Como se observa, los factores que se toman en cuenta para la selección de los fertilizantes en la fertigación, vienen relacionados directamente con las características de uniformidad de aplicación, operación del sistema y programación de riegos (duración y frecuencia), así como el desarrollo de la planta y las características del suelo (24).

Características que deben cumplir los fertilizantes en la fertigación.

Para un manejo eficiente de los fertilizantes en el agua de riego, los datos básicos considerados son: solubilidad, compatibilidad y pureza.

Solubilidad.- Los fertilizantes aportados al agua de riego deben componer una verdadera solución nutritiva que no

presente riesgo de precipitarse, varía con la temperatura de la solución, es por eso importante que se conozcan las condiciones de trabajo en campo, tanto para inyectarse como para preparar la solución. Cuadro 8.

Compatibilidad.- Es importante que se conozca la compatibilidad entre los productos con los que se preparan soluciones madres, la utilización de productos incompatibles entre sí o con elementos que se encuentren en el agua de riego, producen reacción entre ellos con la formación de compuestos insolubles, provocando precipitados dentro del sistema, ocasionando taponamientos de los emisores o filtros. Cuadro 9.

Pureza.- Las impurezas en la solución fertilizante, ya sea del agua o de los productos químicos, provocan obturaciones en los sistemas de riego. Esto reduce la eficiencia tanto de riego como de fertilización, con los correspondientes efectos negativos sobre la producción de los cultivos. Es por eso que se exige pureza en los productos (7,21,24).

McNab, menciona el temor que se tiene a la solubilidad de los fertilizantes en la fertigación; sin embargo, la habilidad de disolver el fertilizante en el agua, no es todo para tener un buen indicador del potencial de la fertigación ya que hay otro componente, que sería el movimiento del fertilizante en el suelo y pone como componentes móviles la urea y el nitrato,

y los componentes de menor movilidad, el Amonio, el Potasio y el Fósforo (15).

Clases de fertilizantes.

Fertilizantes sólidos o líquidos de formulación simple.- Son los de mayor uso, ya que el agricultor los conoce más por su empleo en otros cultivos, sus características son:

- Se ajustan mejor a las fórmulas fertilizantes, ya que ofrecen una mayor variabilidad.
- Son más económicos por unidad de fertilizante.

Fertilizantes líquidos complejos.- Contiene en su fórmula múltiples combinaciones de fertilizantes, sus características son:

- Tienen muy poco problema de obturaciones (comparado con las anteriores).
- Necesitan menos volúmenes de agua para su preparación.

Fertilizantes cristalinos solubles.- Para aplicar estos fertilizantes necesitan ser pasados a formas líquidas antes de su aplicación, sus característica son:

- Se obtienen mezclas muy uniformes.
- Producen reacciones ácidas al ser disueltos.
- Existen numerosas formulaciones, algunos enriquecidos con microelementos.

Fertilizantes complejos líquidos ácidos.- Pueden ser

utilizados sin previa disolución, sus características son:

- Admite mayores concentraciones (por su reacción).
- Permite la recuperación rápida de los nutrientes en situaciones necesarias.

Con los fertilizantes líquidos, nos ahorramos la necesidad de disolver el fertilizante en el agua de riego y los inconvenientes de una disminución en la temperatura que nos produce los fertilizantes nitrogenados, ó bien, el tener que saber la mayor ó menor solubilidad de cada uno de los productos fertilizantes. También tiene la ventaja de poder aplicar el fertilizante líquido directamente sin disolver al sistema de riego, lo que disminuye el tiempo de aplicación y ésta disminución en el tiempo de riego es primordial cuando la lluvia evita la necesidad de regar, pero queremos continuar con el programa de fertilización.

Para disolver el fertilizante sólido, tendremos que aplicar agua, por lo tanto, un volumen mayor a inyectar haciendo aumentar el tiempo de aplicación; son de menor costo por unidad de fertilizante (1,10).

Houchmout, coincide con la mayoría de los autores citados en este trabajo, en que los fertilizantes utilizados para la fertigación, tiene que ser solubles en agua. Otra característica importante que es poco tomada en cuenta y que es mencionada por este autor, es el alto contenido del nutriente requerido que debe tener el fertilizante,

recomendando los siguientes fertilizantes para su aplicación en el agua de riego, y son: El nitrógeno puede ser aplicado por las fuentes de urea, nitrato de amonio, nitrato de potasio y nitrato de calcio; el potasio puede ser administrado como nitrato de potasio, sulfato de potasio, o cloruro de potasio; y finalmente, el fósforo, se aplica en forma de ácido fosfórico o como fosfato de amonio o de potasio.

La inyección de fósforo debe ser realizada cuidadosamente, con una acidificación del agua de riego antes y durante la aplicación, para minimizar las precipitaciones químicas en aguas duras (16).

Características químicas alteradas en el agua.

En general, al disolver cualquier fertilizante (sólido o líquido) en el agua de riego, afectamos sus características químicas. Las principales características alteradas son acidez (pH) y la conductividad eléctrica (C.E.).

Conductividad eléctrica.- Al agregar distintas sales fertilizantes al agua de riego, aumentamos su contenido salino, por lo tanto, su conductividad eléctrica. Salinizar el agua de riego es empeorar su calidad desde el punto de vista del efecto osmótico. Es importante entonces determinar la dosis máxima de fertilizante (gr/lt, Kg/m³), y saber la calidad del agua de riego que utilizamos. Cuadro 2.

La relación para determinar la dosis máxima de fertilizante se hará: A mejor agua de riego, mayor será la concentración del fertilizantes que podamos utilizar y contrariamente, con agua de mala calidad. La aplicación del fertilizante tendrá que ser con la mínima dosis posible, con el fin de no elevar demasiado la conductividad eléctrica (C.E.), y lo más ideal es que la concentración de fertilizante no eleve la conductividad eléctrica del agua de riego a más de 1 mmhos/cm, lo que nos lleva a fraccionar lo más posible la fertilización, llegando a ser diaria (1,10,24).

Con riego por goteo, se han logrando favorables resultados con conductividades eléctricas hasta de 4-5 mmhos/cm; sin embargo, Amaros Castañer pone como máximo tope de C.E. de 3 mmhos/cm la suma de agua más fertilizante (1,10).

Acidez (pH).- Al aplicar fertilizante aumentamos el pH del agua de riego, con lo que corremos el riesgo de provocar obturaciones por precipitados cálcicos (10).

Los precipitados más comunes que provocan obturaciones, son los bicarbonatos de calcio o sulfatos de calcio y estos se desincrustan disminuyendo el pH en la red de riego. Es así que manteniendo una acidez adecuada respecto a la cantidad de calcio que contenga el agua, prevenimos estos riesgos, y esto se logra utilizando fertilizantes acidificantes o llevar a cabo un programa de aplicaciones de soluciones ácidas (1,10).

Ejemplo real de fertigación.

Cultivo: Tomate

Lugar: San Quintín, Baja California

Programa:

Dosis:

N 550 kg/ha $\text{NH}_4 \text{NO}_3$

P 300 kg/ha 0-52-00

K 186 kg/ha 12-02-43, 12-00-43, 13-00-46

Nitrógeno (Nitrato de amonio) (33.5-00-00)

Fechas	Días	ppm	kg/ha totales	kg/ha/ /día
Trasplante-15 días	15	50	47.65	3.18
16 - 25 días	10	75	47.65	4.76
26 - 41 días	15	100	95.30	6.35
42 - 71 días	30	125	238.23	7.94
72-111 días	40	100	254.12	6.35
112-120 días	8	50	25.408	3.17

Multiplicando los kg/hr/día por las hectáreas de cada block de riego, nos da la dosificación en Kg/ha a aplicar de nitrato de amonio.

Fósforo (0-52-0) $D_a = 1.67$

ppm	Días aplicados	Lt/ha totales	Lt/ha/día
500	14	176.23	12.59
600	12	181.26	15.10

700	10	176.23	17.62
800	9	181.23	20.14
900	8	181.23	22.65
1000	7	176.23	25.17

Lo pretendido es determinar en cuánto tiempo podemos aplicar los 300 kg/ha recomendados, sabiendo que a menor tiempo de aplicación, aumenta la concentración a aplicar de ácido fosfórico (decisión local).

Potasio (12-00-43, 13-00-43, 13-00-46)

La aplicación será durante 48 días a una concentración de 77 ppm con 3.86 kg/ha/día, más 21.44 ppm de Nitrógeno que se deberán tomar en cuenta en la aplicación de nitrato de amonio, durante los últimos 48 días del ciclo.

Cálculo:

Conversión de ppm (partes por millón) a sacos/hora.

$$\frac{\text{ppm a aplicarse}}{1\ 000\ 000} \times \text{lph} = \text{kg totales}$$

$$\frac{\text{kg totales}}{\text{pureza del fertilizante}} = \text{kg reales}$$

$$\frac{\text{Kg reales}}{\text{kg del saco fertilizante}} = \text{sacos/hora}$$

Determinación de lph (litros por hora) para un sistema de riego por goteo.

Primero hay que determinar el número de surcos existentes en 100 m y esto se logra:

$$\text{Núm.de surcos/100 m} = \frac{100}{\text{Distancia entre surco}}$$

Este número de surcos se multiplica por 100 m y obtenemos los metros lineales de manguera de riego que tenemos en 1 ha.

(metros lineales de manguera) x (No. de goteros en 1 m)
x (gasto del gotero).

El gasto del gotero debe ir en lph.

Esto nos proporciona los lph/ha.

Determinar el gasto del pozo en lph y dividir entre el valor obtenido:

$$\frac{Q \text{ pozo}}{Q \text{ ha}} = \text{Ha.}$$

El resultado serán las ha que podrán ser regadas al mismo tiempo, esto será igual a un bloque de riego o sección de riego.

Ejemplo de cálculos:

Queremos mantener una aplicación de 40 ppm de Nitrógeno, y la fuente de Nitrógeno es Nitrato de Calcio (15.5-00-00) con peso del saco de 50 lbs.

La característica del sistema de riego y plantación son:

Distancia entre surco = 1.6 m

Separación del gotero = 0.50 m

Gasto del gotero = 1.6 lph

Q pozo = 110 lps = 396 000 lph

Obtener los sacos por hora a aplicar de nitrato de calcio a la inyección?

Iniciamos por calcular los lph

62.5 surcos en 100 m

62.5 x 100 = 6 250 m

6 250 x 2 x 1.6 = 20 000 lph

396 000 lph

----- = 19.8 = 20 ha
20 000 lph/ha

Ya teniendo los lph, los sustituimos en la fórmula:

40 ppm
----- x 20 000 = 0.8 kg totales
1 000 000

0.8
----- = 5.16 kg reales
0.155

5.16
----- = 0.22 sacos/ha
22.7 kg

Como tengo 20 ha en un bloque de riego, es igual a 4.4 sacos/hora, a continuación, lo que se hace es multiplicar por un número entero hasta que nos de cantidad entera.

4.4 x 5 = 22; esto nos indica que debemos aplicar 22

sacos de nitrato de calcio cada 5 horas de riego.

Es importante que al dosificador ó inyector esté calibrado para que se termine la mezcla de la disolución de un volumen constante (200 lts o menor) exactamente en una hora.

Ajustes al programa de fertigación durante el desarrollo del cultivo.

Las determinaciones de las necesidades hídricas de los cultivos, que es la cantidad de agua que utilizan para un desarrollo óptimo, sin limitaciones ni excesos, es tan importante como el cálculo de las demandas de nutrientes, en un programa de fertigación (7).

Se realiza un programa inicial de fertigación para predecir bien las demandas de agua y fertilizante, durante el período crítico, ya que la instalación de riego debe satisfacer estas demandas, aunado a:

- Previo análisis de suelo. Nos servirá para determinar la cantidad de fertilizante que será aplicado al suelo en presembrado y la cantidad que será aplicada mediante el riego, durante el ciclo fenológico del cultivo.

- Tener un buen manejo físico del fertilizante, ya que conocemos las necesidades totales por período y sus fuentes.

- Poder predecir la producción (21).

Necesidades de agua.

El consumo de agua por los cultivos no debe verse como un valor absoluto, sino como una serie de datos, que definen las necesidades específicas de agua, a lo largo del ciclo vegetativo del cultivo, y dependen en cada momento de muchos factores, condiciones meteorológicas, características del suelo, estado fisiológico, etc. Estos son los principales factores que obligan a ajustar el programa inicial de fertirrigación (7).

Se utiliza para el ajuste de las necesidades de agua, el concepto de evapotranspiración, el cual define al agua que pasa a la atmósfera directamente del suelo (evaporación) y que es perdida también desde los estomas de la planta (transpiración). Sus fórmulas nos proporcionan valores en mm/día ó mm/mes; para riegos de alta frecuencia, las fórmulas deben proporcionar valores diarios ó para un período de tiempo menor a un mes, por su condición de alta frecuencia en aplicación (21,24).

Estas fórmulas involucran, principalmente, factores climatológicos como: temperatura, humedad, radiación y evaporación, pero todas incluyen un coeficiente del cultivo que varía de acuerdo al desarrollo de este, el cual nos proporciona la evapotranspiración del cultivo (ETc), a la cual todavía se le realizan correcciones por condiciones locales de manejo, que vendrá a ser la cantidad real de agua que se va a aplicar (21).

La humedad en el suelo, es otro parámetro de ajuste, que también servirá para poder manejar un programa de riego acorde a las necesidades climáticas y fisiológicas.

En riego por goteo, la instalación de los tensiómetros se realiza en relación a la línea regante, 15 cm de separado, tanto de la línea como del emisor, y a profundidades de 12, 18 y 24 pulgadas.

La distribución debe ser uniforme en un bloque de riego, de acuerdo al sistema recomendando como mínimo 3 series de tensiómetros a 3 diferentes profundidades.

La importancia esencial, es la calibración de los rangos de valores que aporta el tensiómetro para nuestro campo en particular, ya que estos valores corresponden a distintos contenidos de humedad en el suelo, de acuerdo a su textura. Pero en general, los valores de 10-15 cbars, corresponde a contenidos de humedad aprovechable de las diferentes texturas de suelo (3,7,21,24).

Nutrición.

Los análisis de la planta, pueden ser considerados como un medio clásico del control de la nutrición. Sin embargo, no es evidente que la hoja sea la mejor opción, sobre todo para vegetales que producen una biomasa importante en un corto lapso, ya que varía muy lentamente respecto a la velocidad de crecimiento.

Burgueño (1994), menciona que los trabajos de Roujchenco, investigador del Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Esc. Nac. Sup. de Agr. de Toulouse (en Sat) Francia, manejó desde hace 10 años una metodología rápida y simple, para el seguimiento de la nutrición vegetal, mediante un análisis de la savia de los tejidos conductores de las plantas.

Según Morard, la cantidad total de un elemento contenido en el jugo vegetal, refleja las condiciones de absorción y la fracción iónica, representando el excedente ó la reserva de donde el vegetal se auxilia según sus necesidades. Es por esta razón, que los cultivos manejados en forma intensiva (acolchado, riego por goteo y fertigación) que tienen una gran capacidad de síntesis de biomasa, elaboran su equivalente en peso fresco cada 2 días.

El muestreo debe realizarse 3 horas después del amanecer, en general de 9 a 11 de la mañana como máximo. El número de plantas muestreadas, debe ser de acuerdo a la especie vegetal y de las succulencias del tejido conductor; pero en general, deben ser representativos de la mayoría de la población del bloque, en cuestión de desarrollo y coloración, y que la muestra no sea menor de 30 plantas/bloque (3).

CONCLUSIONES

1.- La fertigación se puede adoptar a cualquier tipo de riego, pero son muchas más las ventajas obtenidas con el sistema de riego presurizado.

2.- Los beneficios obtenidos de la fertigación bajo sistema presurizado, se logran si el coeficiente de uniformidad de distribución de riego cumple con un mínima de 90%.

3.- Con la fertigación se logran ahorros en los costos de fertilización, que van de un 25% hasta un 50%.

4.- Para resolver un problema de baja uniformidad en el sistema de riego y elevar la eficiencia de la fertigación, se realizan acciones preventivas o correctivas, y la primer aplicación se realiza para evitar los posibles taponamientos que nos podría originar una baja uniformidad de distribución en el sistema al momento de las aplicaciones de fertilizante, y la segunda aplicación es cuando el problema está presente en el sistema de riego, ocasionándonos una baja eficiencia de aplicación.

Ambas se basan principalmente en clorinación y acidificación, dependiendo del origen del problema (biológico, químico y físico).

5.- No se puede decir que una bomba inyectora es mejor que otra, simplemente dependerá del régimen de aplicación que se requiera al inyectar el químico en la quemigación, y de las condiciones presentes en el campo para su instalación.

6.- Para la fertigación, el régimen de inyección tendrá que ser de una concentración constante durante el período de la aplicación.

7.- Para elegir una bomba inyectora, hay que tomar en cuenta: precio, fuente de energía, presión disponible, capacidad del sistema, régimen de concentraciones y automatización.

8.- La solubilidad, compatibilidad y pureza de los fertilizantes, son características básicas que deben cumplir para esta práctica de fertigación.

9.- Las características químicas, principalmente afectadas al solubilizar los fertilizantes en el agua de riego son acidez (pH) y conductividad eléctrica (C.E.).

10.- La conductividad eléctrica puede elevarse hasta 4-5 mmhos/cm en la solución agua más fertilizante, en aplicaciones con riegos de alta frecuencia, sin tener bajas en rendimientos del cultivo.

11.- Mantener una acidez adecuada en la mezcla agua más fertilizante (menor ó) en el sistema de riego, respecto a la

cantidad de Calcio que contiene el agua, nos ayuda a prevenir riesgos posteriores.

12.- Los principales ajustes que se realizan al programa inicial de fertigación es: Necesidades de agua (E.T.), necesidades nutricionales, humedad en el suelo (Bars) y deben ser llevados a cabo cada 15 días como máximo; por la alta frecuencia de manejo en microirrigación.

13).- Las muestras foliares y los valores de los tensiómetros para manejo de la humedad en el suelo, se ajustarán para cada bloque de riego en particular. Es importante tener dentro de un bloque de riego, uniformidad en las fechas de siembra o transplante, para no tener un manejo desuniforme de las secciones de riego.

LITERATURA CITADA

- 1).-Amaros M.C. 1991. Riego por goteo en cítricos. Manual práctico. Ed. Mundi-prensa. España. p. 26-28.
- 2).-Burgueño H. Edgar Quero. 1992. La fertigación, los elementos minerales de la fertilización y su relación suelo-planta, dosificación y tiempo de aplicación de los elementos fertilizantes. Centro de investigación de química aplicada. Saltillo, Coahuila. p. 278-279.
- 3).-Burgueño H. 1994. La fertigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico. Extracción de los nutrientes por los cultivos de tomate y bell pepper en el Valle de Culiacán, Sin. Los análisis de savia. Bursaga, S.A. de C.V.
- 4).-Clark G.A. et. al. 1995. Injecting chemicals into microirrigation system. Seminario Internacional de Platicultura. Uso de la platicultura para la producción intensiva de hortalizas. 27-28 de Febrero. Hermosillo, Sonora, México.
- 5).-Cuenca H.R. 1989. Irrigation system design an engineering aproach. Edit by Prentice-Hall Inc. a division of simon and shuster englewood cliffs. New Jersey. p. 346-348.
- 6).-Doerg T.A. et. al. 1992. Nitrogen fertilizer management in Arizona. College of Agriculture the University of Arizona. p. 52-54.
- 7).-Domínguez V.A. 1992. Fertigación. Ed. Mundi-prensa. España. p. 217-227.
- 8).-Esteve G.J. 1986. Apuntes sobre riego localizado. España. Publicaciones del ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- 9).-Fuentes y et. al. 1990. Manuales de capacitación. Curso elemental de riego. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España. p. 83-134.
- 10).-Gimenez M.M. y Valverde D.R. 1993. Abonos líquidos ácidos para fertigación por goteo. Fertilización FESA, Fertilizantes españoles S.A. Boletín No. 106, España. p.57-68.

- 11).-Gurovich L.A. 1991. Fertilización sobre Nitrógeno y Potasio en la vid. I Seminario Internacional sobre Fertilización de la Vid. Hermosillo, Sonora. p. 120-122.
- 12).-Guzmán I.J.R. 1991. Efecto de los macro y microelementos en la fertilización del melón (Cucumis melo L.). Seminario de la Universidad de Sonora. Depto. de Agricultura y Ganadería p. 4-7.
- 13).-Haward M.R. 1982. Cultivos hidropónicos, nuevas técnicas de producción. Ed. Mundi-prensa. Madrid, España. p. 18-23.
- 14).-Houchmuth G.J. 1992. Fertilizer management for drip-irrigated vegetables in Florida. Hort-technology. 2(1). p. 27-323.
- 15).-Houchmuth G.J. and Clark. 1991. Fertilizer application and management for micro (or drip) irrigated in Florida. Special series report. Florida cooperative report. p. 39.
- 16).-Houchmuth G.J. 1995. Fertilizer management with drip irrigation for vegetables. Seminario Internacional de Plasticultura. Uso de la plasticultura para la producción intensiva de hortalizas. 27 y 28 de Feb. Hermosillo, Son., México.
- 17).-Lamont W.J. Jr. Jan/mar. 1992. Introduction to drip irrigation of vegetable crop and the short course. Hort-technology, 2(1) p. 27-32.
- 18).-López R.J. et. al. 1992. Riego Localizado. Ed. Mundi-prensa, Madrid (España). p. 203-214.
- 19).-McNab S. 1993. Efficient fertilizer application. The Australian grapegrower and wine marker. No. 359. p. 49-50.
- 20).-Phene C.J. et. al. Jan/mar. 1992. Two hundred tons per hectare of processing tomatoes can reach it? Hort-technology, 2(1). p. 16-21.
- 21).-Pizarro F. 1990. Riegos localizados de alta frecuencia, goteo, microaspersión, exudación. Ed, Mundi-prensa. 2da. Ed. Madrid (España). p. 16-21.
- 22).-Rodrigo L.J. et. al. 1992. Riego localizado. Ed. Mundi-prensa. Regadíos center. Centro nacional de regadíos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. IRYDA. España. p. 75-87, 189-202.
- 23).-Sotelo, A.S. 1976. Hidráulica general. Volumen I. Fundamentos. Ed. Limusa. 2da. reimpresión. México. p. 323-325.

24) .-Zazueta R.S.F. 1992. Microirrigación. ICFA,
International Inc. p. 7,20-7,25, 6,1-6,26.

APENDICE

Cuadro 1. Tratamiento de Cloro recomendado para distintos problemas.

Problema	Dosis
Algas	1-2 ppm continuo 10-20 ppm intermitente
Bacterias	1 + ppm, varía con muchos factores
Lamas	0.5 ppm
Precipitación de Fe ⁺⁺	0.64 veces el contenido de Fe ⁺⁺
Precipitación de Mn ⁺⁺	1.3 veces el contenido de Mn ⁺⁺
Sulfuro de Hidrógeno	4-9 veces el contenido de H ₂ S

Fuente (24).

Cuadro 2. Niveles de concentración en elementos minerales que permiten la utilización del agua en sistemas de riego por goteo sin ningún problema para el sistema y las plantas.

pH	C.E mmhos.	Na	Ca	Mg	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄
6.5-8.0	0.7-2	3	5	4	0.2	0.1	2	4	1
Zn	Cu	Fe	Mn	B	RAS				
1	0.2	0.5	0.2	1.0	5				

Fuente (3).

Cuadro 3. Modelos de inyectores y conjuntos.

Modelo	Tamaño Ent./Salida	% Mínimo de Diferencia para Succión	Flujo Motriz, L/M @50 Lbs/Pulg ² 3.5 Kg/cm ²	Succión Máxima @50 Lbs/Pulg ² 3.5 Kg/cm ²	Conjunto de Desviación & Succión	Conjunto de Línea de Solución Solo
384	Tubo de 1/2"	25%	8 L/M	2.6 L/M	k-184A	K-184
484	Tubo de 1/2"	18%	13 L/M	64 L/H	K-184A	K-184
484A	Tubo de 3/4"	18%	13 L/M	64 L/H	K-184B	K-184
584	Tubo de 3/4"	18%	24 L/M	94 L/H	K-184B	K-184
878	Tubo de 1"	16%	45 L/M	227 L/H	K-181A	K-181
885X	Tubo de 1"	32%	45 L/M	530 L/H	K-181A	K-181
1078	Tubo de 1"	16%	64 L/M	284 L/H	K-181A	K-181
1583	1 1/2" Hose	18%	129 L/M	681 L/H	---	K-183
1583A	Tubo de 1 1/2"	18%	129 L/M	681 L/H	K-183A	K-183
2081	Tubo de 2"	18%	382 L/M	1892L/H	---	K-282
2081A	Tubo de 2"	18%	382 L/M	1892L/H	K-282A	K-282

Fuente (*).

* Folleto Compañía particular distribuidora de Inyectores Venturi.

Cuadro 4. Operación de los inyectores (*).

CUADRO DE OPERACIÓN DE LOS INYECTORES

Líquido Motriz (Agua)/Líquido Succionado (Agua)

(INGLES)

Presión de Funcionamiento a b		Capacidad de Succión de los Inyectores Mazzei Baja Condiciones Variables de Operación													
		Modelo 484		Modelo 584		Modelo 878		Modelo 1078		Modelo 1583		Modelo 2081		Modelo 885-X	
Ent. del inyector Lbs/Pulg ²	Salida del inyector Lbs/Pulg ²	Flujo Motriz GPM	Líquido Succionado GPH	Flujo Motriz GPM	Líquido Succionado GPH	Flujo Motriz GPM	Líquido Succionado GPH	Flujo Motriz GPM	Líquido Succionado GPH	Flujo Motriz GPM	Líquido Succionado GPH	Flujo Motriz GPM	Líquido Succionado GPH	Flujo Motriz GPM	Líquido Succionado GPH
20	0	2.30	18	4.3	26	8.2	63	11.9	80	23.9	180	72.0	510	8.5	120
	5	2.30	18	4.2	23	8.2	63	11.9	75	22.9	170	72.0	510	8.0	100
	10	2.15	11	4.0	13	7.9	45	11.0	50	21.6	120	72.0	500	7.6	45
	12	2.10	8	3.9	9	7.6	38	10.7	37	21.1	95	66.5	330	7.5	20
	15	2.05	2	3.8	2	7.5	10	10.4	20	20.4	45	63.6	160		
	(PS a Desc. Succión)	2.03	(16)	3.7	(16)	7.3	(17)	10.2	(17)	20.0	(16.5)	61.7	(17)	7.4	(14)
30	0	2.70	18	5.2	26	9.7	60	13.8	75	27.6	180	83.0	505	10.1	135
	5	2.70	18	5.2	26	9.7	60	13.8	75	27.6	180	83.0	505	10.0	120
	10	2.70	18	5.0	23	9.7	60	13.8	75	27.0	172	83.0	505	9.8	90
	15	2.65	13	4.8	18	9.5	52	13.3	60	26.1	135	82.0	460	9.2	50
	20	2.55	7	4.6	9	9.2	30	12.8	38	25.3	85	78.0	300	9.0	0
	(PS a Desc. Succión)	2.50	(24)	4.5	(25)	9.0	(25)	12.3	(25)	24.5	(25)	75.0	(26)	9.0	(20)
40	0	3.10	18	5.8	25	10.8	60	15.6	75	31.1	180	92	500	11.2	140
	5	3.10	18	5.8	25	10.8	60	15.6	75	31.1	180	92	500	11.2	135
	10	3.10	18	5.8	25	10.8	60	15.6	75	31.1	180	92	500	11.1	125
	15	3.10	18	5.7	25	10.8	60	15.6	75	30.7	180	92	500	10.9	95
	20	3.00	16	5.5	20	10.8	60	15.3	72	30.2	160	91	500	10.7	55
	(PS a Desc. Succión)	2.95	(32)	5.2	(32)	10.2	(34)	14.2	(34)	28.1	(32.5)	84	(34)	10.2	(27)
50	0	3.40	17	6.4	25	12.0	60	17.1	75	34.2	180	101	500	12.3	140
	10	3.40	17	6.4	25	12.0	60	17.1	75	34.2	180	101	500	12.3	135
	15	3.40	17	6.4	25	12.0	60	17.1	75	34.2	180	101	500	12.2	130
	20	3.40	17	6.3	25	12.0	60	17.1	75	34.0	180	101	500	12.1	100
	25	3.40	17	6.2	24	11.9	60	17.0	75	33.6	175	101	500	11.9	70
	(PS a Desc. Succión)	3.30	(41)	5.9	(41)	11.4	(42)	15.8	(43)	31.4	(41)	94	(41)	11.3	(34)
60	0	3.70	17	6.9	25	13.0	60	18.5	75	37.0	180	111	500	13.4	140
	10	3.70	17	6.9	25	13.0	60	18.5	75	37.0	180	111	500	13.4	140
	20	3.70	17	6.9	25	13.0	60	18.5	75	37.0	180	111	500	13.3	130
	25	3.70	17	6.9	25	13.0	60	18.5	75	37.0	180	111	500	13.1	110
	30	3.70	17	6.9	25	13.0	60	18.5	75	37.0	180	111	500	12.8	80
	(PS a Desc. Succión)	3.50	(48)	6.4	(50)	12.3	(51)	17.3	(51)	34.4	(49.5)	103	(50)	12.6	(41)
70	0	3.95	17	7.4	25	14.0	60	19.8	75	40.5	180	120	500	14.4	140
	10	3.95	17	7.4	25	14.0	60	19.8	75	40.5	180	120	500	14.4	140
	20	3.95	17	7.4	25	14.0	60	19.8	75	40.5	180	120	500	14.4	140
	30	3.95	17	7.4	25	14.0	60	19.8	75	40.5	180	120	500	14.2	110
	35	3.95	17	7.4	25	14.0	60	19.8	75	40.5	180	120	500	13.9	85
	(PS a Desc. Succión)	3.71	(56)	6.9	(58)	13.3	(60)	18.8	(60)	38.0	(57)	112	(58)	13.4	(46)
80	0	4.20	17	7.8	25	14.9	60	21.7	75	43.0	180	128	500	15.2	140
	20	4.20	17	7.8	25	14.9	60	21.7	75	43.0	180	128	500	15.2	140
	30	4.20	17	7.8	25	14.9	60	21.7	75	43.0	180	128	500	15.2	130
	35	4.20	17	7.8	25	14.9	60	21.7	75	43.0	180	128	500	15.1	115
	40	4.20	17	7.8	25	14.9	60	21.7	75	43.0	180	128	500	14.9	90
	(PS a Desc. Succión)	4.01	(65)	7.3	(66)	14.2	(67)	20.5	(67)	40.8	(66)	120	(67)	14.5	(55)
100	0	4.70	17	8.9	25	16.6	60	24.3	75	48.0	180	144	500	17.0	140
	20	4.70	17	8.9	25	16.6	60	24.3	75	48.0	180	144	500	17.0	140
	40	4.70	17	8.9	25	16.6	60	24.3	75	48.0	180	144	500	16.9	140
	50	4.70	17	8.9	25	16.6	60	24.3	75	48.0	180	144	500	16.7	100
	60	4.70	17	8.9	25	16.6	60	24.3	75	48.0	180	144	500	16.5	50
	(PS a Desc. Succión)	4.46	(82)	8.4	(83)	15.9	(86)	23.0	(86)	45.6	(83)	136	(84)	16.2	(70)

PSI = Lbs/Pulg²

GPH = galones por hora

GPM = galones por minuto

Flujo Motriz = flujo de agua a través del inyector

Cuadro 5. Continuación.

CUADRO DE OPERACIÓN DE LOS INYECTORES

Líquido Motriz (Agua)/Líquido Succiónado (Agua)

(METRICO)

Presión de Funcionamiento a D		Capacidad de Succión de los Inyectores Mazzei Baja Condiciones Variables de Operación													
		Modelo 484		Modelo 584		Modelo 870		Modelo 1078		Modelo 1583		Modelo 2081		Modelo 885-X	
Ent del inyector kg/cm ²	Salida del inyector kg/cm ²	Flujo Motriz L/M	Líquido Succiónado L/H	Flujo Motriz L/M	Líquido Succiónado L/H	Flujo Motriz L/M	Líquido Succiónado L/H	Flujo Motriz L/M	Líquido Succiónado L/H	Flujo Motriz L/M	Líquido Succiónado L/H	Flujo Motriz L/M	Líquido Succiónado L/H	Flujo Motriz L/M	Líquido Succiónado L/H
1.4	.00	8.7	68.1	16.3	98.4	31.0	238.5	45.0	302.8	90.5	681.3	272.5	1930.	32.2	454.2
	.35	8.7	68.1	15.9	87.1	31.0	238.5	45.0	283.9	86.7	643.5	272.5	1930.	30.3	378.5
	.70	8.1	41.6	15.1	49.2	29.9	170.3	41.6	189.3	81.8	454.2	272.5	1892.	28.8	170.3
	.84	7.9	30.3	14.8	34.1	28.8	143.8	40.5	140.0	79.9	359.6	251.7	1249.	28.4	75.7
	1.1	7.8	7.6	14.4	7.6	28.4	37.9	39.4	75.7	77.2	170.3	240.7	605.	0.0	0.0
	kg/cm ² a Carga Succión		(1.1)		(1.1)		(1.1)		(1.1)		(1.1)		(1.1)		(1.1)
2.1	.00	10.2	68.1	19.7	98.4	36.7	227.1	52.2	283.9	104.5	681.3	314.2	1911.	38.2	511.0
	.35	10.2	68.1	19.7	98.4	36.7	227.1	52.2	283.9	104.5	681.3	314.2	1911.	37.9	454.2
	.70	10.2	68.1	18.9	87.1	36.7	227.1	52.2	283.9	102.2	651.0	314.2	1911.	36.3	340.7
	1.1	10.0	49.2	18.2	68.1	36.0	196.8	50.3	227.1	98.6	511.0	310.4	1741.	34.8	189.3
	1.4	9.7	26.5	17.4	34.1	34.8	113.6	48.4	143.8	95.8	321.7	295.2	1135.	34.1	0.0
	1.8		0.0		0.0		0.0		0.0	92.7	0.0	285.8	151.	0.0	0.0
kg/cm ² a Carga Succión		(1.6)		(1.7)		(1.7)		(1.7)		(1.7)		(1.7)		(1.8)	(1.4)
2.8	.00	11.7	68.1	22.0	94.6	40.9	227.1	59.0	283.9	117.7	681.3	348.2	1892.	42.4	529.9
	.35	11.7	68.1	22.0	94.6	40.9	227.1	59.0	283.9	117.7	681.3	348.2	1892.	42.4	511.0
	.70	11.7	68.1	22.0	94.6	40.9	227.1	59.0	283.9	117.7	681.3	348.2	1892.	42.0	473.1
	1.1	11.7	68.1	21.6	94.6	40.9	227.1	59.0	283.9	116.2	681.3	348.2	1892.	41.3	359.6
	1.4	11.4	80.6	20.8	75.7	40.9	227.1	57.9	272.5	114.3	605.6	344.4	1892.	40.5	208.2
	1.8	11.2	41.6	20.4	49.2	39.7	170.3	56.8	196.8	113.6	397.4	336.9	1532.	39.4	64.3
2.1	10.8	11.4	20.1	18.9	39.4	75.7	54.9	113.6	108.3	170.3	329.3	906.	0.0	0.0	
kg/cm ² a Carga Succión		(2.2)		(2.2)		(2.3)		(2.3)		(2.3)		(2.2)		(2.3)	(1.8)
3.5	.00	12.9	64.3	24.2	94.6	45.4	227.1	64.7	283.9	129.4	681.3	382.3	1892.	46.6	529.9
	.70	12.9	64.3	24.2	94.6	45.4	227.1	64.7	283.9	129.4	681.3	382.3	1892.	46.6	511.0
	1.1	12.9	64.3	24.2	94.6	45.4	227.1	64.7	283.9	129.4	681.3	382.3	1892.	46.2	492.1
	1.4	12.9	64.3	23.8	94.6	45.4	227.1	64.7	283.9	128.7	681.3	382.3	1892.	45.8	378.5
	1.8	12.9	64.3	23.5	90.8	45.0	227.1	64.3	283.9	127.2	662.4	382.3	1892.	45.0	265.0
	2.1	12.5	56.8	23.1	71.9	45.0	208.2	64.0	249.8	124.9	529.9	374.7	1551.	43.5	113.6
2.5	12.3	30.3	22.7	41.6	44.3	132.5	62.8	177.9	122.3	340.7	367.1	1154.	0.0	0.0	
2.8	11.9	3.8	22.3	7.6	43.5	45.4	60.9	60.6	120.0	56.8	359.6	208.	0.0	0.0	
kg/cm ² a Carga Succión		(2.8)		(2.8)		(2.9)		(3.0)		(2.8)		(2.8)		(2.8)	(2.3)
4.2	.00	14.0	64.3	26.1	94.6	49.2	227.1	70.0	283.9	140.0	681.3	420.1	1892.	50.7	529.9
	.70	14.0	64.3	26.1	94.6	49.2	227.1	70.0	283.9	140.0	681.3	420.1	1892.	50.7	529.9
	1.4	14.0	64.3	26.1	94.6	49.2	227.1	70.0	283.9	140.0	681.3	420.1	1892.	50.3	492.1
	1.8	14.0	64.3	26.1	94.6	49.2	227.1	70.0	283.9	140.0	681.3	420.1	1892.	49.6	416.4
	2.1	14.0	64.3	26.1	94.6	49.2	227.1	70.0	283.9	140.0	681.3	420.1	1892.	48.4	302.8
	2.5	13.8	60.6	25.4	75.7	49.2	227.1	69.6	272.5	138.5	613.2	416.4	1665.	48.1	170.3
2.8	13.6	45.4	25.0	56.8	48.8	196.8	68.9	227.1	135.5	473.1	412.6	1551.	47.7	22.7	
3.7	13.2	18.9	24.6	26.5	47.7	102.2	67.0	132.5	132.5	246.0	405.0	75.7	0.0	0.0	
kg/cm ² a Carga Succión		(3.3)		(3.5)		(3.5)		(3.5)		(3.4)		(3.5)		(2.6)	(2.6)
4.9	.00	15.0	64.3	28.0	94.6	53.0	227.1	74.9	283.9	153.3	681.3	454.2	1892.	54.5	529.9
	.70	15.0	64.3	28.0	94.6	53.0	227.1	74.9	283.9	153.3	681.3	454.2	1892.	54.5	529.9
	1.4	15.0	64.3	28.0	94.6	53.0	227.1	74.9	283.9	153.3	681.3	454.2	1892.	54.5	529.9
	2.1	15.0	64.3	28.0	94.6	53.0	227.1	74.9	283.9	153.3	681.3	454.2	1892.	53.7	416.4
	2.5	15.0	64.3	28.0	94.6	53.0	227.1	74.9	283.9	153.3	681.3	454.2	1892.	52.6	321.7
	2.8	15.0	64.3	27.6	87.1	53.0	227.1	74.6	265.0	151.4	624.5	454.2	1892.	52.2	208.2
3.2	14.8	56.8	27.3	64.3	52.2	215.7	73.8	227.1	149.1	511.0	450.4	1816.	51.5	75.7	
3.5	14.6	34.1	26.9	41.6	51.9	170.3	73.1	151.4	146.9	321.7	442.8	1400.	0.0	0.0	
3.9	14.2	7.6	26.5	15.1	51.1	83.3	72.3	75.7	144.2	75.7	431.5	454	0.0	0.0	
kg/cm ² a Carga Succión		(3.9)		(4.0)		(4.2)		(4.2)		(4.0)		(4.0)		(3.3)	(3.3)
5.6	.00	15.9	64.3	29.5	94.6	56.4	227.1	82.1	283.9	162.8	681.3	484.5	1892.	57.5	529.9
	1.4	15.9	64.3	29.5	94.6	56.4	227.1	82.1	283.9	162.8	681.3	484.5	1892.	57.5	529.9
	2.1	15.9	64.3	29.5	94.6	56.4	227.1	82.1	283.9	162.8	681.3	484.5	1892.	57.5	492.1
	2.5	15.9	64.3	29.5	94.6	56.4	227.1	82.1	283.9	162.8	681.3	484.5	1892.	57.2	435.3
	2.8	15.9	64.3	29.5	94.6	56.4	227.1	82.1	283.9	162.8	681.3	484.5	1892.	56.4	340.7
	3.2	15.9	64.3	29.1	90.8	56.4	227.1	82.1	283.9	162.0	662.4	484.5	1892.	56.0	246.0
3.5	15.9	64.3	28.8	75.7	56.0	227.1	81.0	268.7	160.9	567.8	484.5	1892.	55.3	113.6	
3.9	15.7	45.4	28.4	53.0	55.6	189.3	80.2	230.9	159.0	473.1	480.7	1741.	54.9	0.0	
4.2	15.4	22.7	28.0	30.3	54.9	113.6	79.5	159.0	157.1	246.0	469.3	1211.	0.0	0.0	
4.6	15.2	0.0	27.6	3.8	54.1	34.1	78.3	49.2	155.2	56.8	465.6	416.	0.0	0.0	
kg/cm ² a Carga Succión		(4.5)		(4.6)		(4.7)		(4.7)		(4.6)		(4.7)		(3.8)	(3.8)
7.0	.00	17.8	64.3	33.7	94.6	62.8	227.1	92.0	283.9	181.7	681.3	545.0	1892.	64.3	529.9
	1.4	17.8	64.3	33.7	94.6	62.8	227.1	92.0	283.9	181.7	681.3	545.0	1892.	64.3	529.9
	2.8	17.8	64.3	33.7	94.6	62.8	227.1	92.0	283.9	181.7	681.3	545.0	1892.	64.0	529.9
	3.5	17.8	64.3	33.7	94.6	62.8	227.1	92.0	283.9	181.7	681.3	545.0	1892.	63.2	378.5
	4.2	17.8	64.3	33.7	94.6	62.8	227.1	92.0	283.9	181.7	681.3	545.0	1892.	62.5	189.3
	4.6	17.6	64.3	33.3	83.3	62.8	227.1	91.6	283.9	181.7	624.5	545.0	1892.	62.1	94.6
4.9	17.4	49.2	32.9	60.6	62.5	215.7	90.8	246.0	180.5	511.0	541.3	1779.	61.3	0.0	
5.3	17.2	30.3	32.6	45.4	62.1	170.3	90.1	208.2	177.9	340.7	537.5	1266.	0.0	0.0	
5.6	17.0	3.8	32.2	15.1	61.3	90.8	88.6	113.6	176.0	132.5	529.9	681.	0.0	0.0	
kg/cm ² a Carga Succión		(5.7)		(5.8)		(6.0)		(6.0)		(5.8)		(5.9)		(4.9)	(4.9)

L/H = litros por hora

L/M = litros por minuto

Flujo Motriz = flujo de agua a través del inyector

Cuadro 6. Necesidades de nutrientes.

CULTIVO	RENDIMIENTO	KGS/HA.		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
<u>Extensivo</u>				
Ajonjolí	1.5 ton/ha	140	60	100
Algodón	6 pacas/ha	200	75	150
Cártamo	3 ton/ha	120	50	120
Cebada	5 ton/ha	160	60	160
Frijol	3 ton/ha	120*	40	80
Garbanzo	3 ton/ha	120*	50	100
Girasol	4 ton/ha	200	50	150
Maíz	8 ton/ha	240	100	240
Sorgo	6 ton/ha	220	70	180
Trigo	6 ton/ha	175	70	200
<u>Hortalizas</u>				
Apio	150 ton/ha	280	160	750
Brócoli	20 ton/ha	100	40	90
Calabacita	1,00 cajas/ha	90	20	120
Calabazas	20 ton/ha	180	50	250
Espárrago	3 ton/ha	100	50	120
F.ejotero	10 ton/ha	180*	40	200
Lechuga	40 ton/ha	100	40	200
Melón	1,000 cajas/ha	200	60	400
Pepino	1,000 cajas/ha	100	30	120
Repollo	60 ton/ha	260	70	250
Sandía	40 ton/ha	200	50	400
Tomate	50 ton/ha	180	50	340
Papa	30 ton/ha	250	100	500
<u>Frutales</u>				
Durazno	20 ton/ha	100	40	120
Naranja	40 ton/ha	250	50	300
Nogal	2 ton/ha	200	80	250
Uva industrial	30 ton/ha	120	50	200
<u>Forrajeros</u>				
Alfalfa	800 pacas/año/ha	500*	100	500
Rye Grass	2.5 ton.ganado/ha	200	80	200
Sorgo forrajero	80 ton/ha.2 cortes	300	120	250
Z. Bermuda	2.5 ton.ganado/ha	220	50	180

* Folleto Compañía particular Distribuidora de Inyectores Venturi.

Cuadro 7. Características de los principales productos utilizados en fertirrigación.

PRODUCTOS	RIQUEZAS DE NUTRI				SOLUBILIDAD en g/l		DENSIDAD	INDICE DE SAL	ACIDEZ (A) O BASICIDAD (B)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	OTROS	0 °C	20 °C			
					en g/l				
NITROGENADOS:									
Sulfato de amonio	21			22 S	700			110 A	
Urea	46				1033			85 A	
Nitrato de amonio	33.5				2190			59 A	
Nitrato cálcico	15			30 Ca	1220			20 B	
Acido nítrico	13							26 A	
Solución nitrogenada 20	20							57,3	
Solución nitrogenada 32	32							70,1	
Solución de nitrato de Mg	7			6 Mg				42,6	
FOSFATADOS:									
Acido fosfórico 55%	40								
Acido fosfórico 75%	54							38 A	
POTASICOS:									
Sulfato de potasio			50	18 S	75	120		46,1	
Solución de potasa			10	3 S				18,8	
BINARIOS Y TERNARIOS:									
Fosfato monoamónico	12	61			225	400		65 A	
Fosfato diamónico	21	53				450			
Fosfato de urea	17	44				620			
Fosfato monopotásico	13	51	34		148	230		8,4	
Nitrato de potasio	4	8	46		130	335		73,6	
Solución ternaria clara	8	4	10					29,2	
Solución ternaria clara	8	4	10					16,4	
Solución binaria clara	0	20	10					26 B	

Cuadro 7. Continuación

PRODUCTOS	RIQUEZAS DE NUTRI			SOLUBILIDAD en g/l		DENSIDAD	INDICE DE SAL	ACIDEZ (A) O BASICIDAD (B)	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	OTROS	0 °C				20 °C
SECUNDARIOS Y MICROELEMENTOS									
Sulfato de magnesio				16 MgO y 13S	155	700			
Sulfato de hierro			36 Fe		140	260			
Sulfato de cobre			25 Cu			200			
Sulfato de manganeso			32 Mn			900			
Sulfato de zinc			23 Zn			750			

Fuente (7).

Cuadro 8. Compatibilidad química de la mezcla de fertilizantes.

N I T R A T O D E A M O N I O I C C C C C C C C C C	U R E A C L L C C C C C C C	S U L F A T O D E A M O N I O C C C C C C C C I	S U P E R F O S F A T O T R I P L E C L C C C C C C I	S U P E R F O S F A T O S I M P L E L C C C C C C I	F O S F A T O D I A M O N I C O C C C C C C I	F O S F A T O M O N O A M O N I C O C C C C C C I	C L O R U R O D E P O T A S I O C C C C	S U L F A T O D E P O T A S I O C I	N I T R A T O D E P O T A S I O .	N I T R A T O D E C A L C I O
--	--	--	---	--	---	---	--	--	---	---

C = Compatible

I = Incompatible

L = Ligeramente compatible

Fuente (21).

Cuadro 9. Salinidad de los productos a las concentraciones normales en fertirrigación.

PRODUCTOS	CONCENTRACION g/l	pH	CONDUCTIVILIDAD mmhos/cm
Nitrato de amonio 33.5% N	2	5,4	2,8
	1	5,6	0,9
	0,5	5,6	0,8
	0,25	5,9	0,5
Urea 46% N	3	6,3	0,1
	1	5,8	0,07
	0,5	5,7	0,07
	0,25	5,6	0,05
Sulfato de amonio 21%	1	5,5	2,1
	0,5	5,5	1,1
	0,25	5,5	0,5
Solución 20% N	1	6,4	1,3
	0,5	6,8	0,7
	0,25	6,9	0,4
Solución 32% N	2	7,2	2,3
	1	7,1	1,1
	0,5	6,6	0,6
	0,25	6,1	0,3
Acido fosfórico 54% P ₂ O ₅	1	2,6	1,7
	0,5	2,8	1,0
	0,25	3,1	0,5
Acido fosfórico 40% P ₂ O ₅	1	2,3	1,7
	0,5	2,5	1,1
	0,25	2,7	0,6
Fosfato monoamónico cristalino (M.A.P.) 12-61-0	1	4,9	0,8
	0,5	5,0	0,4
	0,25	5,3	0,2

Fuente (7).

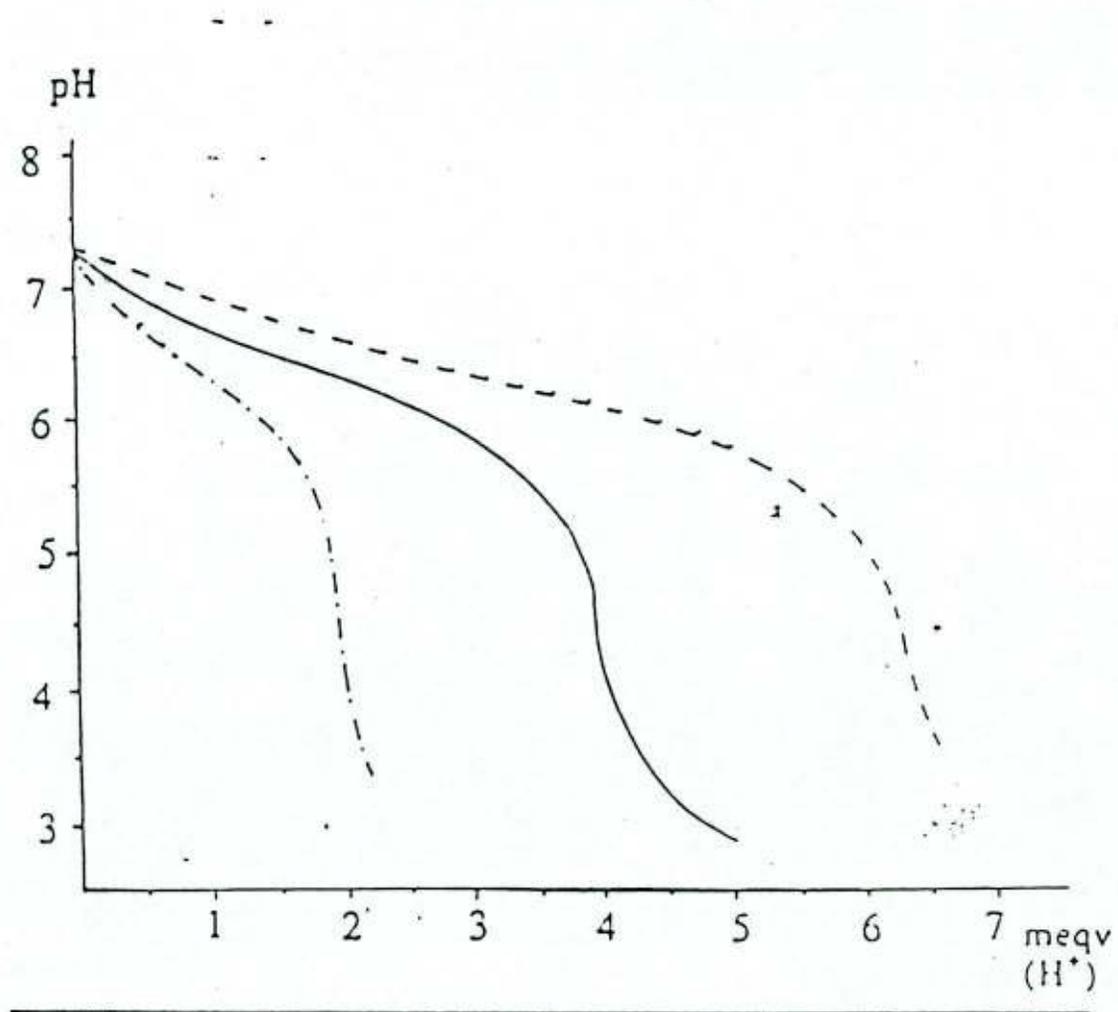
CURVAS DE NEUTRALIZACION DE TRES AGUAS.

Figura 2. Curva de neutralización de 3 diferentes aguas.

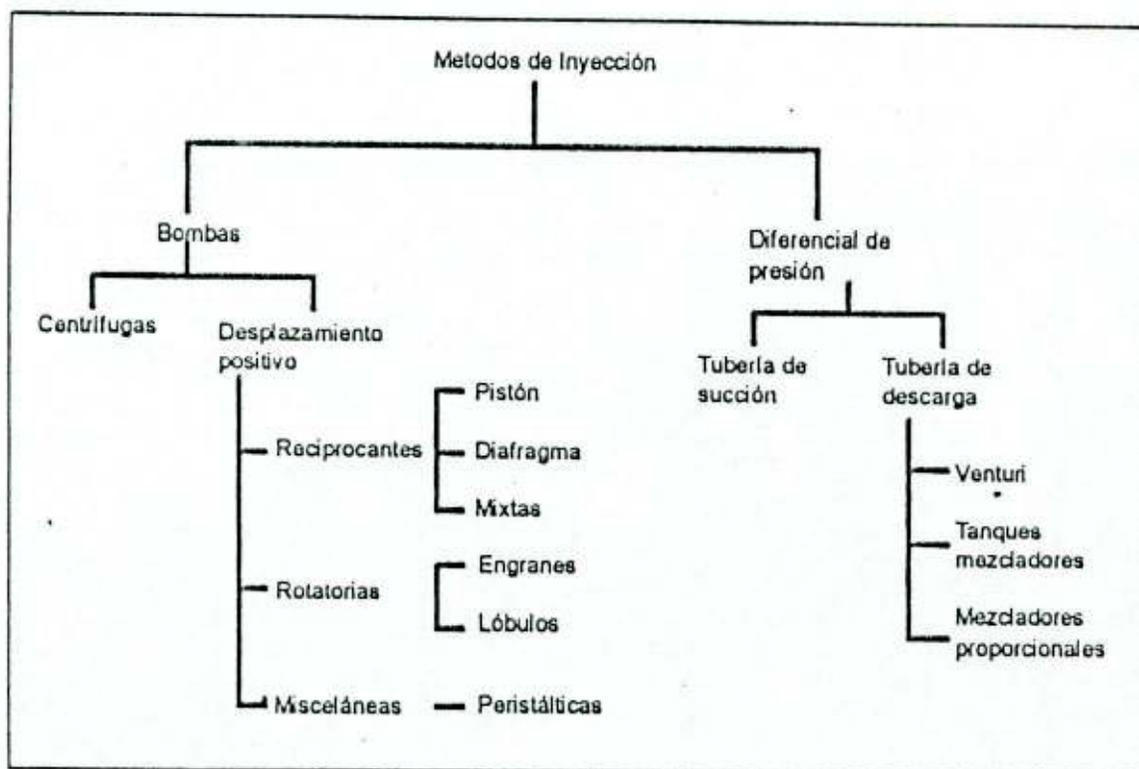


Figura 3. Tipos de dispositivos usados para la inyección de químicos.

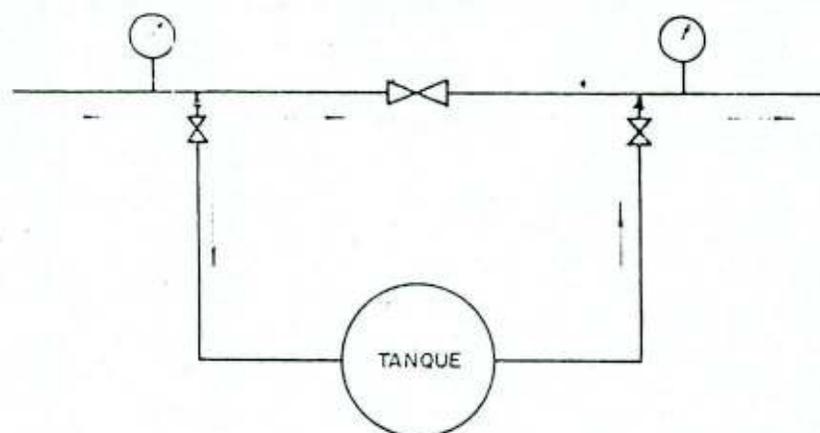
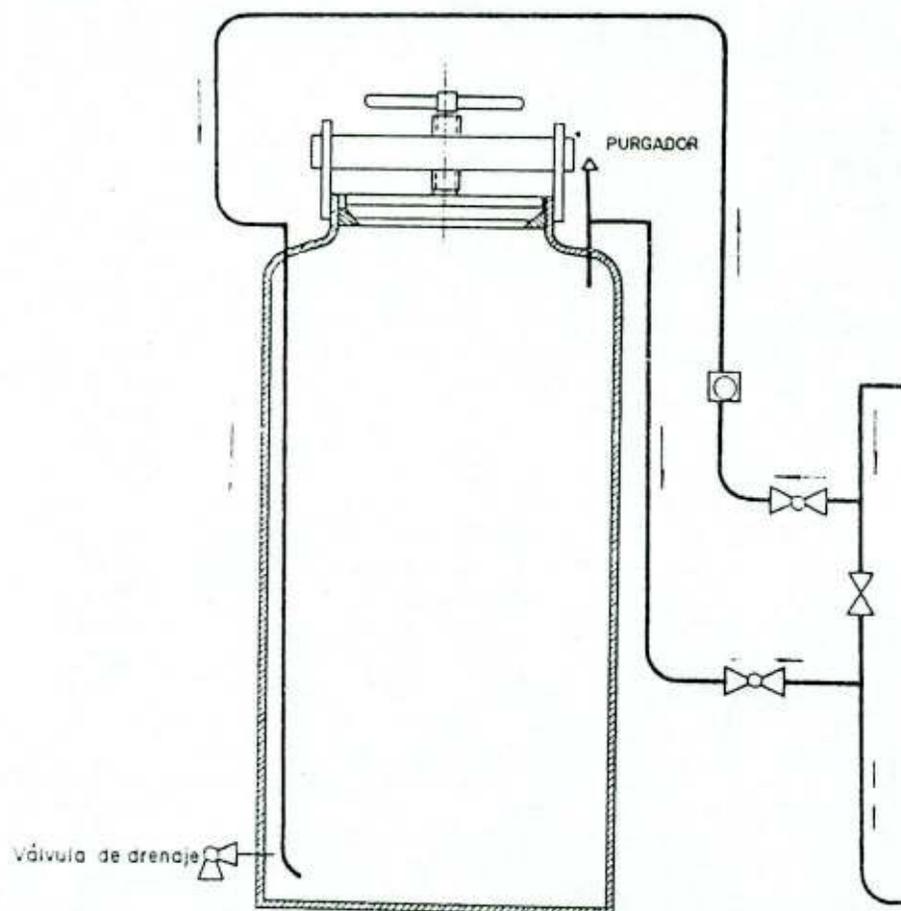


Figura 4. Tanque fertilizador. a) Partes que lo constituyen.
b) Instalación.

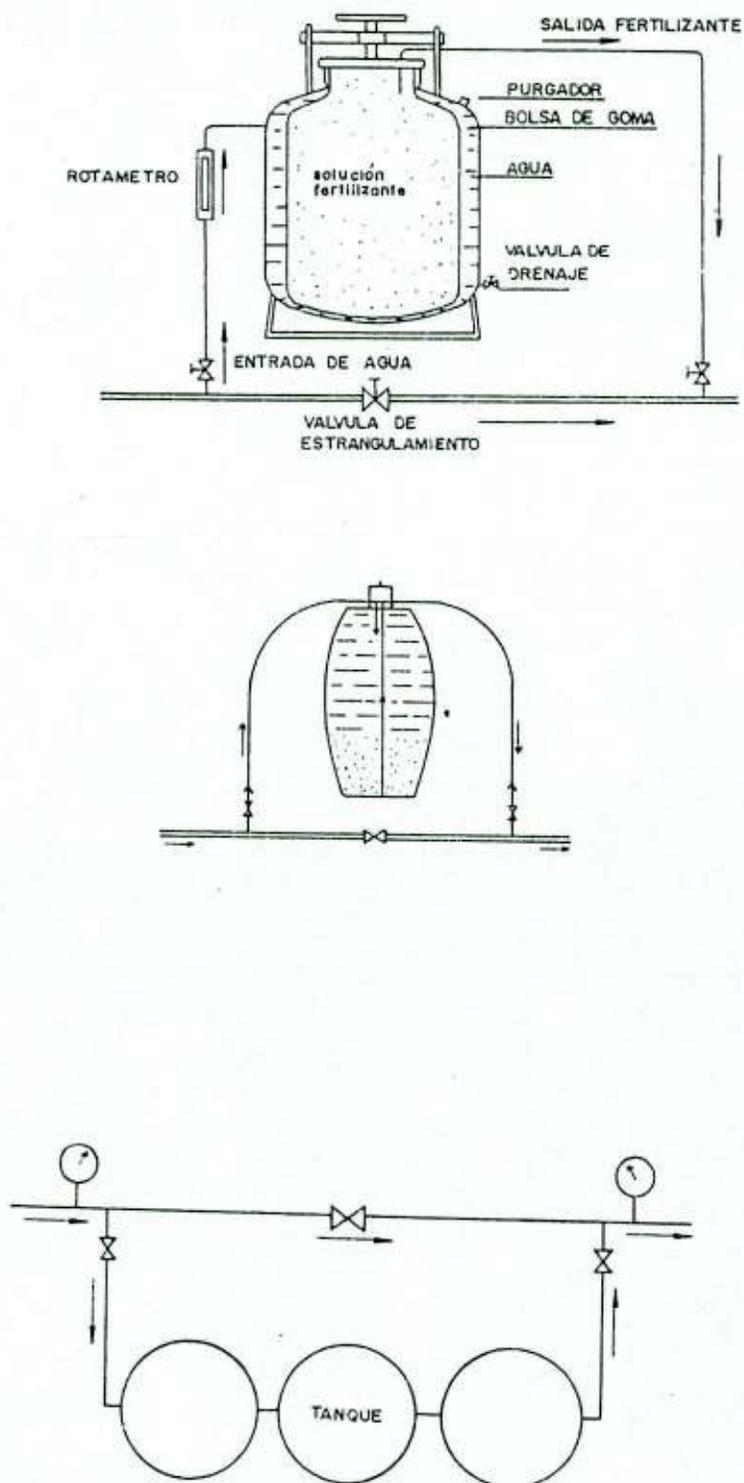


Figura 5. Diferencia entre el tanque fertilizador (a) y el tanque de "desplazamiento" (b). Muestra de tanques en serie instalados en paralelo (c).

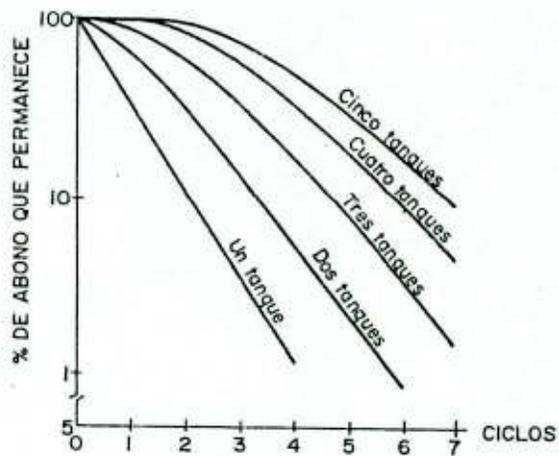
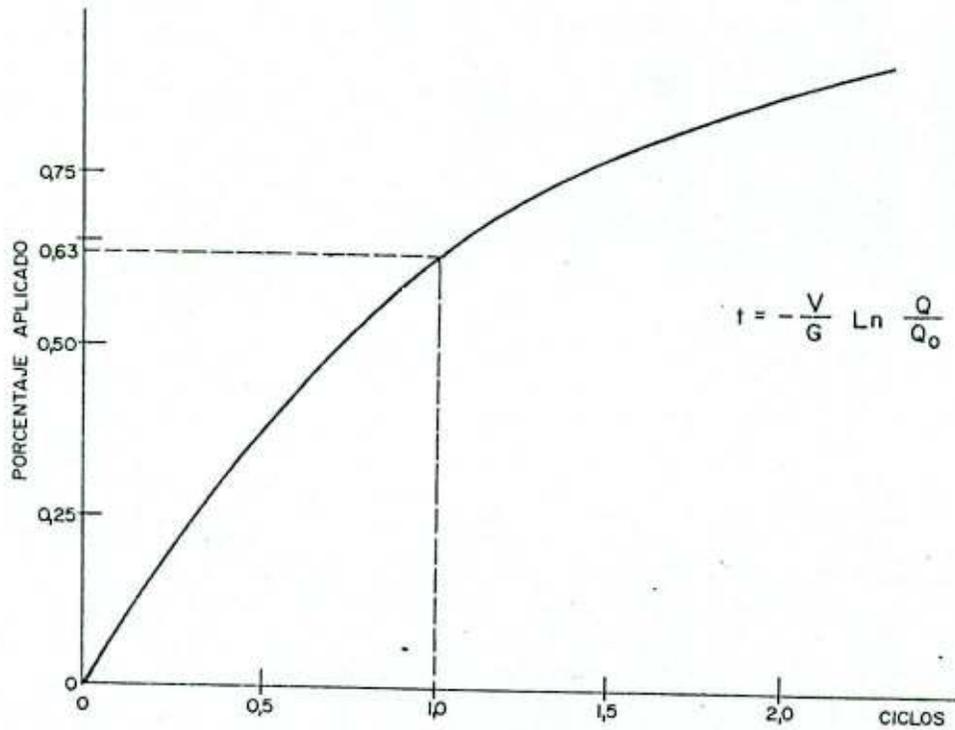
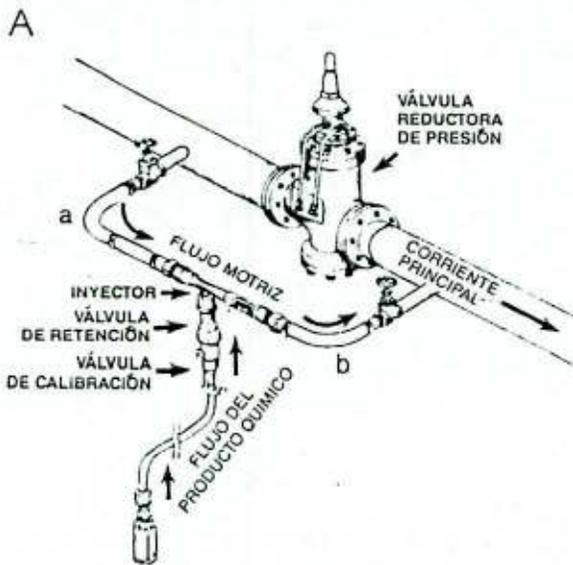
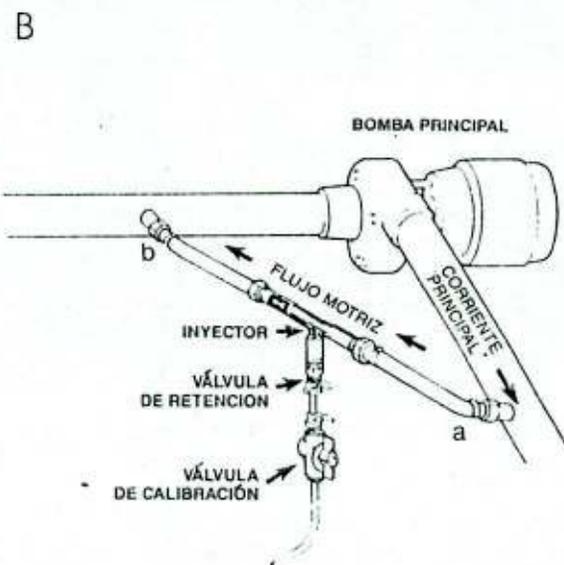


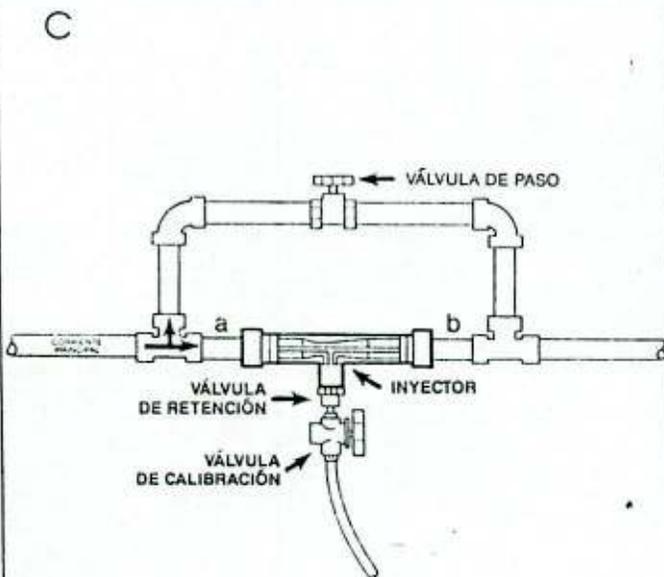
Figura 6. Curva del porcentaje de aplicación según el ciclo de riego, para un tanque (a) y para varios tanques en serie (b).



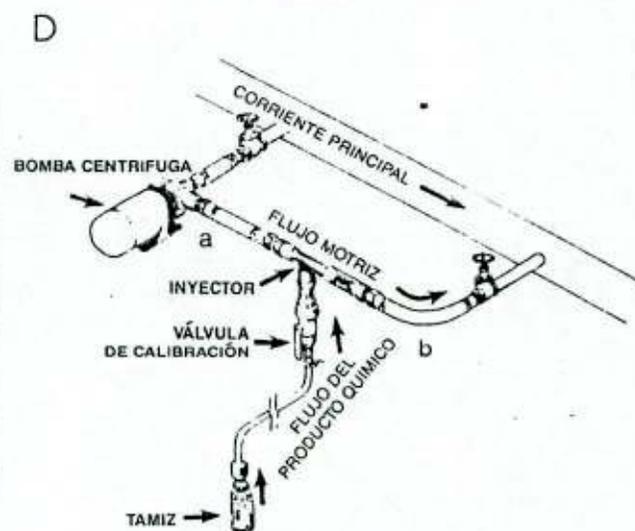
Colocación del inyector a ambos lados de un punto de restricción del flujo, tal como una válvula de paso o una válvula reguladora, las cuales producen una diferencia de presión que permite que el inyector genere un vacío.



Colocación el inyector aprovechando la diferencia de presión que causa en el sistema una bomba principal o de refuerzo. La tubería se instala yendo del tubo de salida al tubo de admisión de dicha bomba.



Inyector instalado en la línea principal, con una válvula de paso en una línea de diversión.



Se instala en conjunto con una bomba centrífuga, la cual incrementa la presión a través del inyector. Esto causa una diferencia de presión, produciendo vacío para la inducción del producto químico corriente abajo a partir de la bomba.

Figura 7. Inyector tipo Venturi.

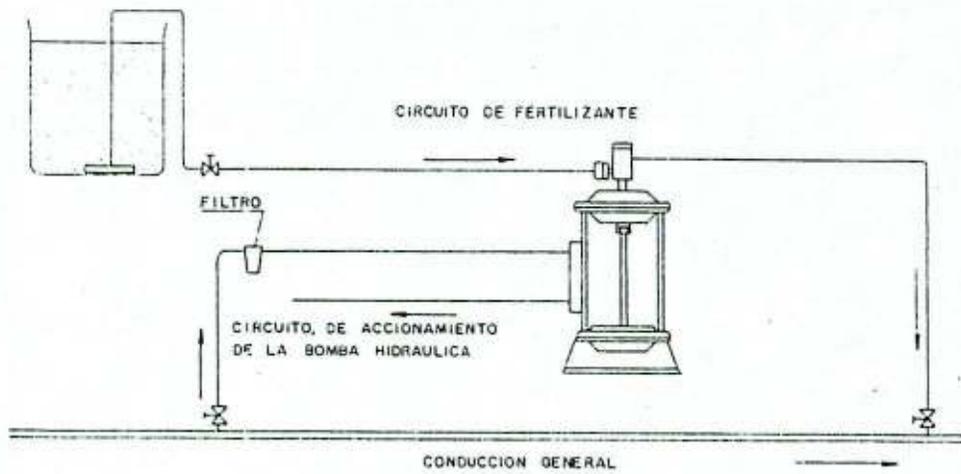
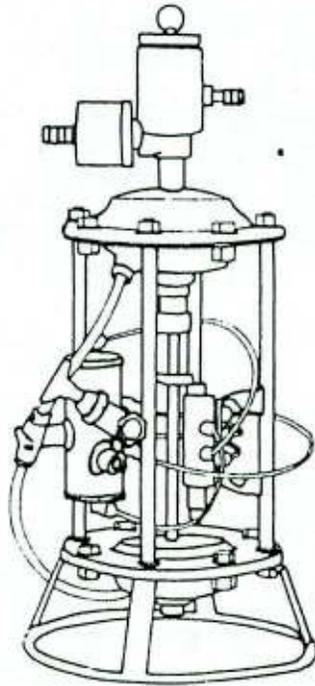


Figura 8. Bomba de accionamiento hidráulico. a) Bomba TMB.
b) Instalación.

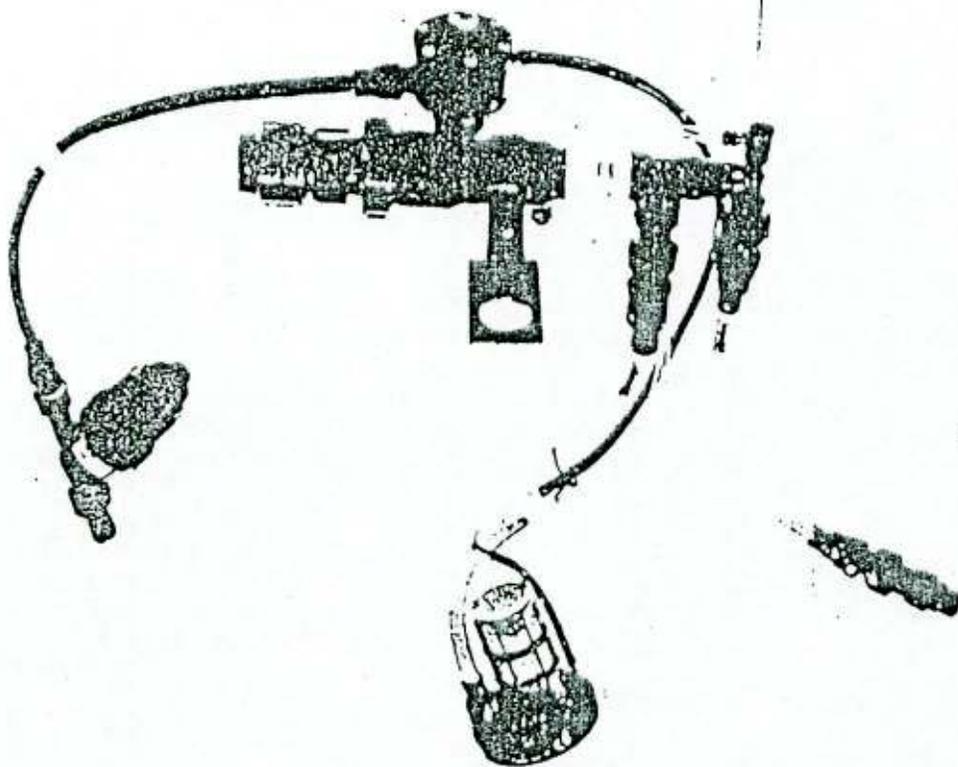


Figura 9. Bomba de accionamiento hidráulico AMIAD.