



MANUAL DE FERTIRRIGACIÓN



Financia:
**Fondo Nacional de
Desarrollo Regional (FNDR)
Gobierno Regional de Atacama
Comisión Nacional de Riego (CNR)
(Departamento de Proyectos)**

Oficina Técnica Huasco, 1998

**INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
GGGGGGGG
CENTRO REGIONAL
DE INVESTIGACION
INTIHUASI**

Colina San Joaquín s/n
Apartado Postal 36-B
Teléfono (56) (51) 22-3290
Fax (56) (51) 22-7060
La Serena, Chile.

e-mail: info@intihuasi.inia.cl

El Convenio de Programación “Desarrollo Integral de Riego del Valle del Huasco”, suscrito entre el Gobierno Regional de Atacama y los Ministerios de Obras Públicas y Economía, Fomento y Reconstrucción, contempla entre sus objetivos propiciar las condiciones necesarias para lograr un desarrollo integral sostenido del sector agrícola en el valle del Huasco.

En este contexto, el Gobierno Regional de Atacama y la Comisión Nacional de Riego (Departamento de Proyectos) acordaron financiar en la Provincia del huasco el proyecto “Estudios de Validación de Tecnologías de Riego”, que ejecuta el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, a través de su Centro Regional de Investigación, Intihuasi.

Este proyecto contempla una serie de actividades de difusión y transferencia de tecnologías, entre las que se cuenta la elaboración de Cartillas Divulgativas, destinadas a proporcionar conocimientos específicos de utilidad para trabajo agrícola.

FERTIRRIGACION

Autor : **Leoncio Martínez Barrera**
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
Departamento de Recursos Naturales

Editora : **Ana María Lafuente Zuleta**
Periodista
Departamento de Recursos Naturales

Impresión : **CROMOgraf Ltda.**

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCION
 - 1.1 Descripción
 - 1.2 Ventajas de la fertirrigación
 - 1.3 Desventajas e inconvenientes
 - 1.4 Sistemas de riego aptos para fertirrigación

2. ¿COMO FUNCIONA UN SISTEMA DE FERTIRRIGACION?

3. REQUERIMIENTO DE NUTRIENTES

4. ¿QUE FERTILIZANTES SE PUEDEN USAR A TRAVES DE LA FERTIRRIGACION?
 - 4.1 Pureza de los fertilizantes
 - 4.2 Fertilizantes más utilizados

5. PREPARACION DE SOLUCIONES
 - 5.1 Efecto de enfriamiento de la solución
 - 5.2 Compatibilidad de productos
 - 5.3 Test de compatibilidad y solubilidad
 - 5.4 Preparación de la solución

6. SISTEMAS DE INYECCION DE FERTILIZANTES
 - 6.1 Inyector Venturi
 - 6.1.1 Modelos disponibles
 - 6.1.2 Instalación
 - 6.1.3 Operación
 - 6.1.4 Selección del modelo apropiado
 - 6.2 Dosatrón
 - 6.3 Bombas inyectoras auxiliares
 - 6.3.1 Bombas de membrana
 - 6.3.2 Bombas centrífugas
 - 6.4 Estanques presurizados
 - 6.5 Inyección por succión positiva

7. CALCULO Y CALIBRACION DE INYECTORES
 - 7.1 Cálculo de inyectores
 - 7.2 Calibración de los inyectores

8. LIMPIEZA Y MANTENCION DEL SISTEMA
 - 8.1 Hipoclorito
 - 8.2 Acidos
 - 8.3 Sulfato de cobre

9. COSTOS DE UN SISTEMA DE FERTIRRIGACION

10. NORMAS DE SEGURIDAD

1 1. LITERATURA CONSULTADA

ANEXOS I. EJERCICIO PRACTICO

ANEXOS II. TABLA DE EQUIVALENCIAS Y TRANSFORMACIONES

ANEXO III. GLOSARIO

1. INTRODUCCION

Durante los últimos 15 años, los sistemas de riego presurizados han experimentado un rápido crecimiento en el país, especialmente desde la entrada en vigencia de la Ley 18.450 de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje, hecho ocurrido en Enero de 1986.

De acuerdo a información proporcionada por el VI Censo Nacional Agropecuario (INE, 1997), durante la temporada agrícola 1996/97 había en Chile 91.834.5 hectáreas regadas con sistemas presurizados de alta eficiencia, de los cuales el 67% correspondía a sistemas localizados (goteo, micro-aspersión, microjet, cinta) y el 33% a aspersión.

Gracias a la información proporcionada por empresas relacionadas con ingeniería de riego y la tendencia observada en los proyectos presentados a la Comisión Nacional de Riego durante el presente año, es posible estimar que la superficie total regada por sistemas presurizados al finalizar este siglo será del orden de 100.000 hectáreas.

Tradicionalmente se ha asociado el empleo de riegos localizados de alta frecuencia al ahorro significativo de agua, la disminución de la erosión, el aumento de la superficie cultivable por eliminación de acequias y el uso de suelos con limitaciones por textura, salinidad, pedregosidad, profundidad o relieve.

Además de lo señalado en el párrafo anterior, en la actualidad se considera el control del agua y los fertilizantes a voluntad como la principal ventaja, ya que es posible obtener mayores cosechas por unidad de superficie y productos de gran calidad en comparación a los sistemas de riego tradicionales.

Este Manual de Fertirrigación constituye un documento técnico de consulta y aprendizaje que servirá a agricultores, técnicos y profesionales de sector agrícola a familiarizarse con esta técnica que adquiere mucha importancia por las exigencias de calidad y competitividad de los mercados.

El texto hace referencia principalmente al riego localizado, pero los mismos principios pueden ser aplicados a sistemas de riego por aspersión, especialmente en pivotes centrales, donde la fertirrigación es un elemento de manejo importante para obtener buenas producciones.

1.1 Descripción

Fertirrigación o Fertigación, es el proceso mediante el cual los fertilizantes o elementos nutritivos que necesita una planta son aplicados junto con el agua de riego. Cuando además de fertilizante se aplica otro tipo de productos químicos como herbicidas, insecticidas, fumigantes de suelo, acondicionadores de suelo

(enmiendas) y compuestos que permiten el buen funcionamiento de los sistemas de riego presurizados (goteo, microjet y microaspersión), se usa el termino "quemigación".

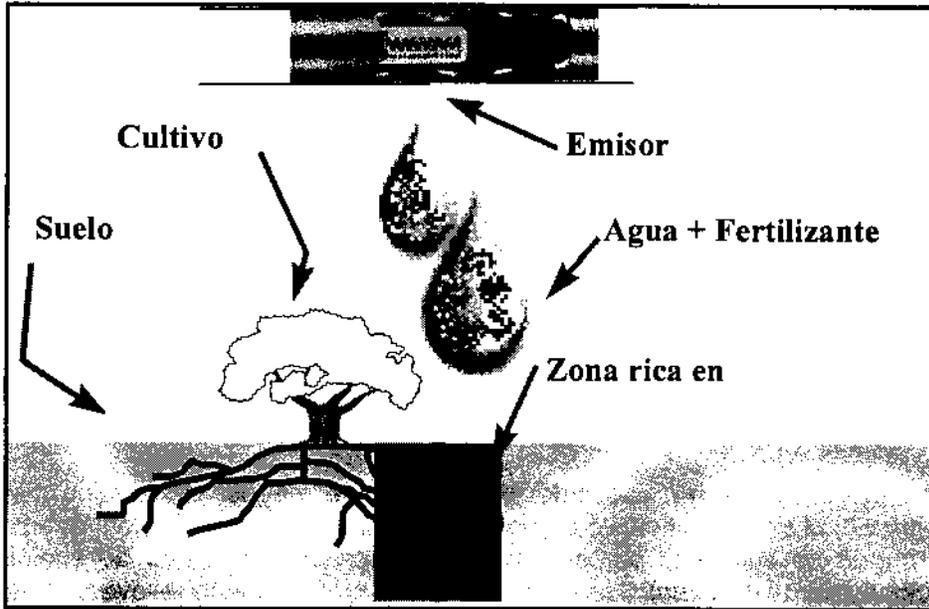


Figura N° 1. Esquema de la fertirrigación en el riego localizado

1.2 Ventajas de la fertirrigación

Entre las ventajas que presenta la aplicación de fertilizantes a los cultivos, por medio de un sistema de riego, se encuentran las siguientes:

- **Mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes.** Una mayor cantidad de fertilizante es utilizado por la planta en relación al total del fertilizante aplicado. Existe una mejor distribución y uniformidad, mejor penetración en el suelo y menores pérdidas por volatilización debido a que penetra en el suelo disuelto en el agua de riego.
- **Adaptación del programa de fertilización a diferentes etapas de desarrollo del cultivo.** Las aplicaciones de fertilizante pueden hacerse al ritmo que el cultivo lo necesita en las fases de crecimiento vegetativo, floración, cuajado y postcosecha. Los fertilizantes pueden ser aplicados a través de mecanismos automáticos que permiten un alto control del agua y de los fertilizantes.

- **Uso de suelos marginales.** Suelos pedregosos o muy arenosos que se caracterizan por una baja fertilidad natural, pueden ser cultivados sin problema y obtenerse de ellos altas producciones.
- **Ahorro de trabajo y comodidad.** Se requiere menor mano de obra en la aplicación de fertilizantes y la aplicación es independiente de la hora del día y estado de ánimo del trabajador.
- **Reducción de la compactación del suelo.** No se utiliza maquinaria agrícola, por lo tanto se reduce la compactación que el exceso de tráfico provoca al suelo.
- **Reducción del daño mecánico al cultivo.** Existe una baja probabilidad de daño mecánico al cultivo tales como poda de raíces, rotura de hojas o quiebre de ramillas.
- **Posibilidad de utilizar fertilizantes líquidos y gaseosos.** La fertilización tradicional requiere de productos formulados en forma sólida para facilitar su manejo. Hay productos como amoníaco anhidro (NH_3) que se comercializa en forma de gas. El amoníaco reacciona en forma instantánea con el agua formando el ion amonio (NH_4^+) que es retenido por el complejo de intercambio. También es posible utilizar soluciones líquidas formuladas especialmente para diferentes fases de desarrollo del cultivo.

1.3 Desventajas e inconvenientes

La mayoría de los inconvenientes asociados a la fertirrigación no se deben al método en si, sino más bien a un manejo incorrecto o al desconocimiento que existe acerca de los aspectos de la nutrición de las plantas.

Los principales inconvenientes son:

- **Obturaciones.** Obturaciones por precipitados causados por incompatibilidad de los distintos fertilizantes entre si o con el agua de riego o bien debidas a una dilución insuficiente.
- **Dosificación.** Las aplicaciones de fertilizantes y otros productos deben ser bien dosificadas para no producir daño al cultivo. Un exceso de productos químicos puede inducir toxicidad afectando los futuros rendimientos.

Para minimizar el riesgo de operación inadecuada, se requiere que el operador posea un nivel de educación equivalente a enseñanza media completa. Esto

facilitará la capacitación, la comprensión de manuales de operación y de las instrucciones dadas por profesionales asesores.

También se requiere de supervisión superior permanente y rigurosa con el objetivo de maximizar la eficiencia del uso de fertilizantes y el buen funcionamiento de los equipos.

1.4 Sistemas de riego aptos para la fertirrigación

Desde el punto de vista del abastecimiento de agua a las plantas, todos los métodos de riego son buenos si el agua es aplicada en el volumen y la frecuencia que las plantas requieren. Si una planta necesita por ejemplo 100 litros al día (chirimoya), da lo mismo si se aplica con un balde, una manguera, un regador de jardín, por goteo o aspersión. El problema comienza cuando se debe regar muchos árboles por día, en ese caso se debe recurrir a algún método de riego apropiado.

La diferencia fundamental entre los diversos métodos de riego es su eficiencia, es decir, la cantidad de agua utilizada directamente por la planta en relación al total de agua aplicada al potrero. La Tabla N° 1 muestra la eficiencia promedio de diferentes métodos de riego.

Los métodos de riego gravitacionales son menos eficientes y en promedio, por cada 100 litros de agua aplicados al potrero, alrededor de 40 a 50 son efectivamente utilizados por la planta, el resto se pierde por escurrimiento superficial y/o percolación profunda. Por el contrario, los métodos de riego presurizados son más eficientes y se aprovecha casi la totalidad del agua aplicada.

Los fertilizantes tienen un costo importante y perder la mitad de todo lo que se aplica es un verdadero derroche de dinero. En lo que a uso y aplicación de fertilizantes se refiere, se debe ser muy eficiente y ojalá no desperdiciar nada. Es por este motivo que la fertirrigación sólo se practica comercialmente en métodos de riego presurizados en donde existe la seguridad de aprovechar al máximo todo el insumo.

Tabla N°1
Eficiencia de los métodos de riego

Tipo	Método de riego	Eficiencia (%)
Gravitacional	Tendido	30
	Surcos	45
	Bordes	50
	Tazas	65
	Surcos en contorno	65
Presurizado	Aspersión	75
	Micro-aspersión	85
	Goteo	90
	Cinta	90

(Fuente: Reglamento Ley 18,450)

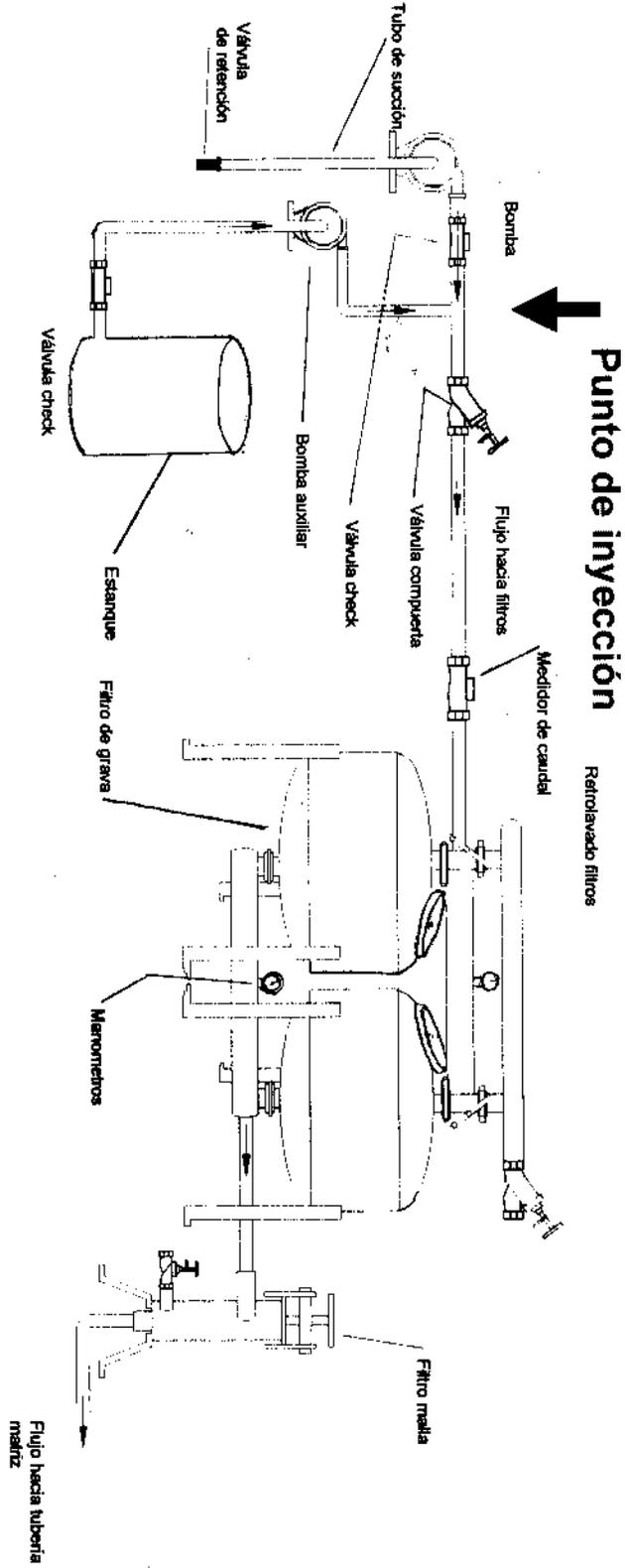
El riego localizado, ya sea goteo, cinta, micro-aspersión o micro-jet brinda la oportunidad óptima para la aplicación de fertilizantes y agroquímicos a través del sistema de riego. Las raíces se desarrollan intensivamente en un volumen reducido de suelo, en donde el agua y los nutrientes se encuentran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

2. ¿CÓMO FUNCIONA UN SISTEMA DE FERTIRRIGACION?

En el esquema que se muestra en la Figura N°2, se observa como el proceso se inicia en el cabezal, en donde se mezcla los fertilizantes y el agua de riego.

La solución formada por agua y algún fertilizante se prepara en un balde o tambor, esta recibe el nombre de "solución madre" que es inyectada al sistema de riego. La mezcla de agua y solución madre recibe el nombre de "solución fertilizante" y es la que circula por las tuberías. Posteriormente la solución es localizada en el suelo muy cerca de las raíces, la cual da lugar a otra solución (solución suelo), que alimenta la planta.

Figura N°2. Esquema de un cabezal de riego presurizado tipo señalando el punto de inyección de la solución madre y el flujo del fertilizante



3. REQUERIMIENTO DE NUTRIENTES

En nutrición vegetal, los elementos necesarios para el desarrollo de todos los cultivos se agrupan en 3 categorías de acuerdo a la cantidad requerida.

- **Macronutrientes.** Carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre.
- **Micronutrientes.** Hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno, cloro.
- **Elementos menores o trazas.** Cobalto, sodio, silicio.

Todos estos elementos excepto el oxígeno, hidrógeno y carbono, son absorbidos casi exclusivamente por las raíces e ingresan al sistema vascular por medio del agua.

Los requerimientos de macronutrientes, especialmente nitrógeno, fósforo y potasio esta determinado por la especie vegetal, por el período fonológico y por el nivel de producción esperado. La Figura N° 3 muestra las curvas de absorción de nitrógeno, fósforo (expresado como P205) y potasio (expresado como K20) para el limonero (Amoros, 1993).

Para conocer la cantidad de fertilizante a aplicar y la distribución a lo largo de la temporada de cultivo es necesario disponer de información validada a las condiciones locales. En la mayoría de los casos, no es posible conseguirla, sin embargo, es factible utilizar información bibliográfica desarrollada para otras zonas con altas probabilidades de éxito. La Tabla N° 2 muestra la extracción de los principales macronutrientes en función de la producción obtenida para las principales hortalizas.

La cantidad de nutrientes que requiere un cultivo puede ser suministrada por un fertilizante, por el suelo y por el agua de riego. Es conveniente evaluar el aporte de nutrientes por el suelo y el agua de riego. Para ello se debe obtener una muestra de suelo o agua según corresponda y enviarla a un laboratorio químico para su análisis.

El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), entre otros, proporciona este servicio a los agricultores. Para mayores informaciones contáctese con la oficina de INIA más próxima a su localidad.

La Tabla N° 3 muestra una recomendación general de fertilización para hortalizas en función de la producción esperada.

Tabla N°2. Extracciones medias de algunos cultivos hortícolas expresadas en base a la producción (ton/ha) (Domínguez, 1996)

Cultivo	Nivel de cosecha (ton/ha)	N (kg/ton)	P ₂ O ₅ (kg/ton)	K ₂ O (kg/ton)	MgO (kg/ton)
Ajo	6-15	8.0-13.0	4.0-6.0	8.0-15.0	s/i
Alcachofa	12-30	8.0-10.0	1.5-4.0	12.0-20.0	1.3-1.6
Berenjena	35-80	3.0-4.0	0.6-1.0	4.0-5.0	0.4-0.8
Cebolla	25-50	2.5-4.0	1.0-1.5	3.0-4.5	0.8-1.0
Coliflor	15-30	4.0-5.0	1.0-1.8	4.0-7.0	0.4-0.7
Espárrago	6-10	10.0-20.0	3.0-5.0	15.0-30.0	1.0-2.0
Espinaca	15-60	1.6-4.5	0.5-1.5	3.0-5.0	0.3-0.4
Frutillas	25-50	2.0-3.0	1.0-1.5	4.0-5.0	0.4-0.5
Lechuga	18-50	2.0-3.5	0.6-1.2	4.0-5.0	0.3-0.5
Melón	25-70	3.4-6.0	0.8-2.7	4.5-10.0	1.0-2.5
Pepino	40-300	1.0-1.6	0.7-0.9	2.6-3.2	0.2-0.5
Pimentón	35-100	3.5-4.5	0.8-1.2	4.0-7.0	0.5-0.9
Porotos verdes	10-30	12.0-20.0	3.0-6.0	12.0-25.0	2.0-3.0
Repollo	25-50	6.0-7.0	1.0-2.0	7.0-8.0	0.7-0.9
Sandía	20-50	3.0-4.0	0.8-1.5	4.0-5.0	1.0-2.0
Tomate	25-200	2.5-4.0	0.5-1.0	3.0-7.0	0.4-1.0
Zanahoria	25-35	3.0-5.0	1.2-1.6	6.0-7.0	0.5-0.8

Tabla N°3. Recomendaciones generales de fertilización (kg/ha/ton) para hortalizas en función de la producción esperada (toneladas) (Domínguez, 1996)

Cultivo	Nivel de cosecha (ton/ha)	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)
Ajo	6-15	60-200	60-120	100-200
Alcachofa	12-30	200-400	60-120	60-300
Berenjena	35-80	200-400	90-160	150-400
Cebolla	20-50	60-220	60-150	60-200
Coliflor	15-30	150-250	80-120	210-240
Espárrago	6-10	120-200	50-100	100-200
Espinaca	15-60	60-180	30-90	50-150
Frutilla	25-50	100-240	50-100	150-300
Lechuga	18-50	60-180	30-90	50-150
Melón	15-70	150-350	50-150	100-450
Pepino	40-300	60-500	50-200	80-700
Pimentón (aire libre)	35-50	150-200	50-150	100-270
Pimentón (invernadero)	70-120	250-350	90-200	150-600
Porotos verdes	10-30	60-100	30-60	50-100
Repollo	25-50	100-200	60-120	100-200
Sandía	20-50	80-300	60-200	80-400
Tomate (aire libre)	45-80	150-250	40-150	80-300
Tomate (invernadero)	80-200	250-600	100-200	300-750
Zanahoria	25-35	80-160	30-100	100-250

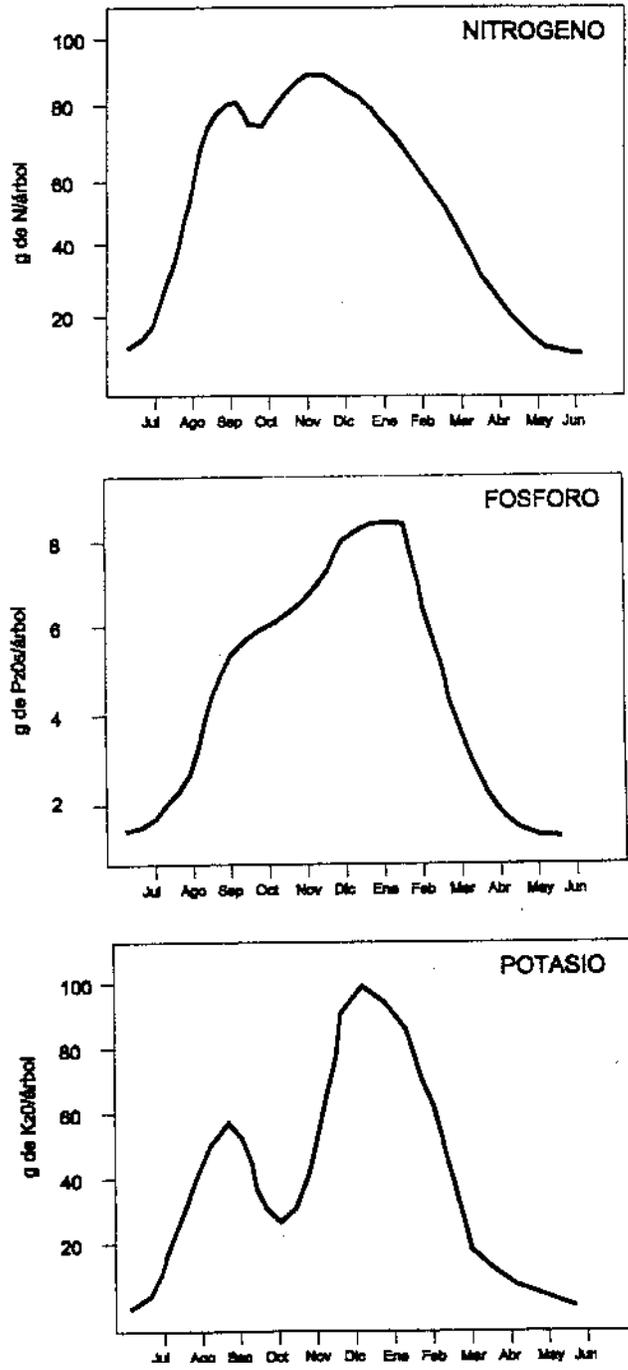


Figura N°3. Curva de extracción de nitrógeno, fósforo y potasio para limonero (Amoros, 1993)

4. ¿QUÉ FERTILIZANTES SE PUEDEN USAR A TRAVES DE LA FERTIRRIGACION?

En teoría pueden utilizarse en los sistemas de riego localizados todo tipo de fertilizantes, de preferencia los que sean más solubles. Por lo tanto es importante conocer la composición química de los productos y su solubilidad en agua.

La solubilidad de varios, tipos de fertilizantes debe ser considerada en fertirrigación. La Tabla N° 4 posee información importante de los fertilizantes más utilizados.

Tabla N°4
Solubilidad de diversos tipos de fertilizantes

TIPO DE FERTILIZANTE	SOLUBILIDAD (g/lt)
FERTILIZANTES NITROGENADOS	
Nitrato de Amonio	180
Sulfato de Amonio	710
Nitrato de Calcio	1020
Nitrato de Sodio	730
Urea	1000
FERTILIZANTES FOSFATADOS	
Acido Fosfórico	460
Fosfato monoamónico	230
Fosfato diamónico	430
Superfosfato normal	20
Super fosfato doble	40
FERTILIZANTES POTÁSICOS	
Cloruro de Potasio	350
Nitrato de Potasio	130
Sulfato de Potasio	120
MICRONUTRIENTES	
Sulfato de Cobre	320
Cloruro cúprico	710
Yeso	2.41
Sulfato de Fierro acidificado	160
Sulfato en Magnesio	710
Sulfato de Manganeso	1000
Sulfato de Zinc	750
Fe-EDDHA	90
Fe-DTPA	220

Algunos fertilizantes se disuelven muy bien como es el caso de la urea, el nitrato de calcio, el nitrato de sodio. Otros son de mediana solubilidad como: cloruro de potasio, fosfato diamónico y nitrato de amonio.

Los menos solubles son el Sulfato de calcio, el superfosfato triple, superfosfato normal y sulfato de hierro. Los productos de baja solubilidad no deben ser utilizados en fertirrigación. La combinación de dos o más tipos de fertilizantes puede hacer decrecer la solubilidad.

4.1 Pureza de los fertilizantes

Los productos que se comercializan en general no son químicamente puros ya que en el proceso de fabricación del producto, este se recubre con compuestos químicos para evitar la hidratación. Cuando los fertilizantes se hidratan (absorben humedad) se "aterroñan" o forman "panes", como se observa en la Figura N° 4, muy difíciles de quebrar y la solubilidad decrece por debajo de los valores indicados en la Tabla N° 4.



Figura N°4. Fertilizante hidratado

Los productos más utilizados para evitar la hidratación son: tierra de diatomeas, sílica hidratada y un tipo de arcilla denominada atapulgita. Estos compuestos por ser insolubles pueden obstruir los emisores (goteros, microaspersores, etc), por lo tanto, se debe aplicar la inyección de los fertilizantes previo al sistema de filtros. De esta forma, las impurezas no pasarán a las tuberías y mangueras.

4.2 Fertilizantes más utilizados

A continuación se describe las características de los fertilizantes más utilizados en fertirrigación. De acuerdo a normas internacionales, el nombre de cada compuesto va seguido de un paréntesis con tres números. El primero indica el contenido de nitrógeno en porcentaje (%), el segundo indica el contenido de fósforo en la forma de P₂O₅ (%) y el tercero el contenido de potasio en la forma de K₂O (%). Tomemos como ejemplo el nitrato de calcio. Los números son [15.5-0-0] que indican el contenido de nitrógeno : 15.5%, fósforo (0%) y potasio (0%). Este fertilizante no contiene fósforo ni potasio.

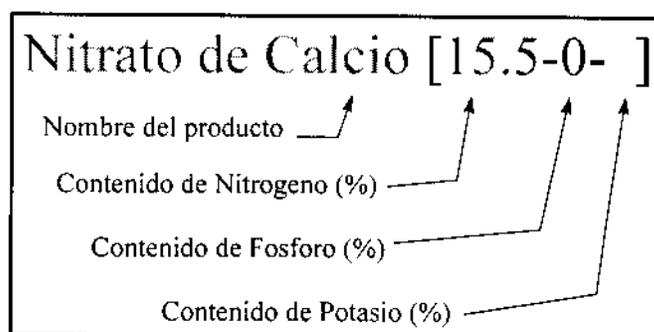


Figura N°5. Forma de describir a los fertilizantes

NITRATO DE AMONIO (NH₄NO₃) [34-0-0]. Este fertilizante se comercializa en diferentes grados de pureza. Utilizar solamente aquel que contiene 34% de nitrógeno ya que esta libre de compuestos insolubles. Aproximadamente el 50% del nitrógeno se encuentra en forma nítrica de rápida absorción por parte de la planta y el resto en forma amoniacal.

SULFATO DE AMONIO ((NH₄)₂SO₄) [21-0-0]. Este compuesto tiene un 21 % de nitrógeno y 23% de azufre. Se caracteriza por su reacción ligeramente acidificante

del suelo. Por su contenido en sulfato puede presentar problemas en aguas ricas en sulfatos.

NITRATO DE CALCIO $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ [15.5-0-0]. Aunque prácticamente abandonado en los programas de fertilización tradicional debido al alto costo de la unidad de nitrógeno, este producto es utilizado en fertirrigación por su aporte de calcio cuando este elemento es necesario.

NITRATO DE SODIO (Salitre sódico) (NaNO_3) [16-0-0]. El salitre de sodio es un producto de bajo costo y presenta ciertas impurezas insolubles. No se recomienda su utilización en suelos de pH superiores a 7.5.

NITRATO DE POTASIO (Salitre potásico) (KNO_3) [15-0-14]. El salitre potásico posee un 15% de nitrógeno y un 14% de potasa. Este fertilizante no se disuelve completamente dejando impurezas no solubles en el fondo del recipiente.

UREA $(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)$ [46-0-0]. La urea se comercializa como fertilizante granulado con un 46% de nitrógeno, es de alta solubilidad y fácil de manejar lo que la hace un producto muy utilizado en fertirrigación. La urea baja la temperatura del agua en el proceso de mezcla y disolución. Este producto no saliniza el agua, por lo que resulta apropiado en el caso de aguas y suelos salinos.

Existe en forma perrada y en forma cristalina. Ambas pueden utilizarse en fertirrigación. Hay que tener en cuenta el contenido de *biuret*, que es más alta en la primera (1%). La urea cristalizada posee menor contenido de *biuret*, es más soluble y contiene menos impurezas por lo que resulta de mayor costo.

ACIDO FOSFORICO (H_3PO_4) [0-51-0]_{verde} [0-54-0]_{blanco}. El H_3PO_4 contiene entre un 51 y 54 % de P_2O_5 . Aquel que posee un contenido de 51% es de color verde, debido a las impurezas que le otorgan ese color. El de 54% es de color blanco. La mezcla de agua en ácido fosfórico libera calor el cual se disipa en corto tiempo. El ácido fosfórico blanco es utilizado preferentemente en la preparación de soluciones nutritivas para el uso en sistemas de riego localizados, pero su uso se ve limitado por su disponibilidad y precio.

FOSFATO DIAMONICO $(\text{NH}_4)_2\text{HP}_4$ [16-48-0]. Con una concentración alta de nitrógeno y P_2O_5 , tiene una reacción ligeramente alcalina, por lo tanto es necesario adicionar ácido nítrico para bajar el pH. La dosis adecuada es de 0.9 litros de ácido por kilo de fosfato diamónico.

CLORURO DE POTASIO (KCl) [0-0-60]. En general es una fuente en potasio de bajo costo y es el fertilizante más popular aplicado a través de fertirrigación en Europa y Estados Unidos. No se recomienda su uso en suelos con alto contenido

de cloruros, especialmente en especies altamente susceptibles como paltos, frutillas, pimentones y otros. La Tabla N° 5 muestra la tolerancia de diferente especies al cloruro.

Tabla N°5.

Tolerancia relativa de algunas especies al Cloruro (Fuente Tanji, 1990)

Especie	Susceptibilidad
Frutillas, cebollas, lechugas	Muy susceptible
Trébol, maíz, zapallo italiano, pimentón	Moderadamente susceptible
Espinaca, alfalfa, zapallo de guarda, tomate, brócoli, zanahoria, apio, arveja	Moderadamente tolerante
Trigo, remolacha azucarera, cebada, sorgo	Tolerante

NITRATO DE POTASIO (KNO_3) [13-0-44]. El nitrato de potasio es de alto costo pero otorga beneficios al agricultor por ser un producto que contiene nitrógeno y potasio en forma simultánea. Esta es la segunda fuente de potasio en importancia después del cloruro de potasio (KCl) es muy utilizada debido a que no contiene iones cloruros.

SULFATO DE POTASIO (K_2SO_4) [0-0-50]. El K_2SO_4 es una fuente en potasio y azufre. No es un producto popular en fertilización debido a su relativa baja solubilidad en comparación al cloruro de potasio y nitrato de potasio. La solubilidad en agua es de 120 gramos/litro

ACIDO SULFURICO (H_2SO_4) [0-0-0]. El ácido sulfúrico no es un fertilizante, por eso su ley es 0-0-0 (no contiene nitrógeno, fósforo ni potasio). Se encuentra en forma líquida con una densidad de 1.83 kg/lit cuando esta concentrado. El ácido sulfúrico es un líquido claro y transparente, no tiene olor. Se utiliza para reducir el pH del agua de riego. Cuando se mezcla con agua libera una apreciable cantidad de calor.

El ácido sulfúrico es un compuesto químico extremadamente peligroso y se requiere mucho cuidado en su manipulación, transporte y almacenaje. Los tambores de almacenaje deben ser herméticos para evitar filtraciones o evitar el contacto del líquido en alguna fuente de agua.

5. PREPARACION DE SOLUCIONES

Una vez determinado el tipo de fertilizante y la cantidad a emplear, se debe preparar la solución en un balde. El volumen de agua a utilizar está en relación a la solubilidad del producto.

Para preparar una solución se debe seguir los siguientes pasos:

- 1° Agregar agua a un balde o estanque hasta la mitad del total de solución a preparar.
- 2° Adicionar el fertilizante.
- 3° Agitar vigorosamente hasta que todo el producto se encuentre disuelto.
- 4° Agregar agua hasta completar el volumen necesario y agitar nuevamente.
- 5° Inyectar la solución al sistema de riego.

El esfuerzo que se requiere para agitar una solución en un balde no es la misma que en un estanque. En este último caso, se podría requerir un agitador mecánico según lo muestra la Figura N° 6 para conseguir un buen grado de homogeneidad de la solución.

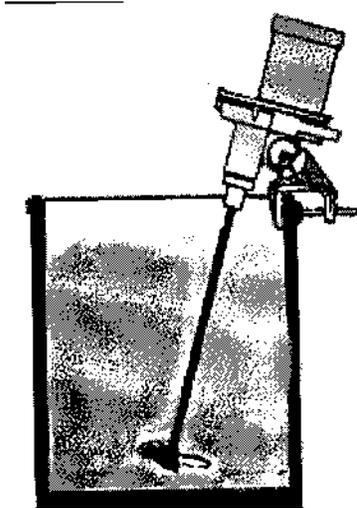


Figura N°6. Agitador mecánico

Aquellos productos de baja solubilidad se deben preparar en mayor volumen de agua. Si no se dispone de un balde o estanque, dividir el fertilizante en dos porciones o más y disolver por separado.

5.1 Efecto de enfriamiento de la solución

Muchos fertilizantes absorberán calor desde el agua en el momento de preparar la solución madre. Este efecto se observa al bajar rápidamente la temperatura del agua al momento de adicionar el fertilizante. Una solución de baja temperatura no causa problemas, por lo tanto, puede ser inyectada al sistema de riego. Un bajo volumen de agua a baja temperatura se mezclará en un volumen grande de agua de riego a temperatura ambiente, por lo tanto, la combinación resultante estará también templada.

El problema de enfriamiento de la solución está asociado a la solubilidad del fertilizante en agua, que es función de la temperatura, consecuentemente puede ser difícil disolver todo el fertilizante esperado. En este caso será necesario preparar la mezcla varias horas antes de ser utilizada y agitarla vigorosamente. Otra alternativa es entibiar el agua o reducir la cantidad de fertilizante a ser preparada.

Los fertilizantes que bajan la temperatura del agua son: urea, nitrato de amonio, nitrato de calcio, nitrato de potasio.

5.2 Compatibilidad de productos

Cuando se mezcla dos o más tipos de fertilizantes en una misma solución, es posible la reacción de los compuestos que los forman.

En general no se debe mezclar fertilizantes con alto contenido de calcio (nitrato de calcio) con ácido fosfórico. La reacción química de ambos productos puede formar fosfato de calcio el cual obstruye los emisores.

Tampoco se recomienda aplicar cualquier tipo de ácido (nitrítico, sulfúrico o fosfórico) junto a hipoclorito de sodio ya que puede haber desprendimiento de gases tóxicos.

En general se debe seguir las recomendaciones de los fabricantes señaladas en los envases de los diferentes productos, en caso de duda, realizar un test de compatibilidad.

5.3 Test de compatibilidad y solubilidad

El test de compatibilidad y solubilidad consiste en colocar él o los fertilizantes a utilizar en un balde con la misma agua que usa para regar y observar la ocurrencia de precipitados o turbidez. Estos fenómenos deberán aparecer en un tiempo de

una o dos horas, si hay turbidez, la inyección de esa mezcla en el sistema de riego podría causar el taponamiento en los goteros. Se recomienda utilizar una dilución aproximada a la esperada en las líneas de goteo.

Ejercicio : Una solución de fertilizante se aplica a una tasa de 25 litros/hora en un sistema de riego que trabaja a un caudal de 12.33 litros/segundo. Hacer un cálculo de dilución para estimar la concentración de la solución en las líneas de goteo.

Solución: Para hacer el cálculo de dilución, es necesario trabajar en las mismas unidades, por lo tanto, parece ser fácil transformar la tasa de inyección de 25 litros/hora a litros/segundo. Para ello se debe multiplicar el caudal en litros/hora por el factor 0.000277 (ver Anexo 1)

$$25 \text{ litros / hora} \times 0.000277 = 0.0069 \text{ litros / segundo}$$

El paso siguiente es dividir el caudal del sistema, en este caso 12.33 litros/segundo por el caudal de inyección de fertilizante.

$$\frac{12.33 \text{ litros / segundo}}{0.0069 \text{ litros / segundo}} = 1786$$

Respuesta: La razón de dilución es 1:1786 Esto significa que 1cc de solución fertilizadora mezclada en 1786 cc de agua. Es la misma proporción de mezcla que ocurrirá dentro del sistema.

Previo al inicio del test de compatibilidad y solubilidad, es conveniente hacer pequeñas pruebas y observar la formación de residuos insolubles. Es posible que ocurra uno de las tres situaciones siguientes:

- El fertilizante al disolverse no deja residuos. Esta es la situación deseada que no siempre ocurre.
- Se forma un precipitado (concho) que se deposita en el fondo. En este caso se debe inyectar sólo la solución transparente y por ningún motivo inyectar el concho. Este procedimiento evitará la inyección de compuestos que puedan producir taponamiento de los goteros.
- Se forma espuma en la superficie, con la adición de productos químicos especiales para este efecto, arrastrando hacia la superficie los compuestos utilizados para evitar hidratación. La remoción de la espuma es el método para eliminar los compuestos insolubles.

Para evitar el efecto negativo del agente químico acondicionador, se recomienda el uso de productos especialmente formulados para ser utilizados en fertirrigación. Estos son de gran solubilidad y no presentan problemas de formación de precipitados insolubles. Estas características están claramente indicadas en la etiqueta del producto, como se muestra en la Figura N° 7.



Figura N° 7. Etiqueta de un fertilizante especialmente formulado para fertirrigación

Si el producto a utilizar se comercializa en forma líquida (Ej. ácido fosfórico), éste puede ser inyectado directamente al sistema de riego. También esta la posibilidad de diluirlo para preparar una solución madre junto a otros productos. Si el fertilizante se comercializa en polvo o granulado, se debe disolver previamente en agua.

5.4 Preparación de la solución

En la preparación de la solución se debe utilizar el volumen de agua necesario para disolver todo el fertilizante. La Tabla N°1 es de mucha utilidad para estimar el volumen de agua requerido dada una cierta cantidad de fertilizante a disolver. La Ecuación N° 1 ayuda a calcular este volumen de agua.

$$V_{\text{agua}} = \frac{W_{\text{disolver}}}{S_{\text{producto}}} \times 1200 \quad (1)$$

Donde :

V_{agua} = Mínimo volumen de agua requerido para solubilizar una determinada cantidad de fertilizante (lt)

W_{disolver} = Cantidad de fertilizante a disolver (kg)

S_{producto} = Solubilidad del producto (g/lt). Este valor se obtiene de la Tabla N°2

1200 = Numero que considera el cambio de unidades (gramos a kilos) e involucra un factor de seguridad para compensar el efecto del cambio de la temperatura de la solución madre en la solubilidad del compuesto.

Ejercicio: Se desea aplicar 3 kilos de nitrato de calcio. La solubilidad de este compuesto es 1.202 kg por litro de agua. ¿Cuánta agua se requiere como mínimo para disolver esta cantidad de fertilizante?

Solución: Aplicando directamente la Ecuación N°1 y reemplazando los valores correspondientes se tiene:

$$V_{\text{agua}} = \frac{3}{1202} \times 1200$$

Respuesta : El volumen de agua mínimo, necesario para preparar la solución madre es 3.0 litros.

6. METODOS DE INYECCION

Los métodos de inyección son básicamente cuatro: Uso de inyector que utiliza la presión del agua en la red de cañerías (inyector tipo Venturi, Dosatrón), uso de bombas auxiliares, uso de estanques herméticos a presión y la inyección por succión positiva en el chupador de la bomba. A continuación se describe cada tipo.

6.1 Inyector Venturi

El Venturi es un dispositivo hidráulico con forma de dos embudos unidos por la parte más angosta (Figura N° 8). El agua al pasar por la "garganta" aumenta rápidamente su velocidad. Esto provoca una presión negativa en la sección 2 que es aprovechada para inyectar una solución madre en ese punto.

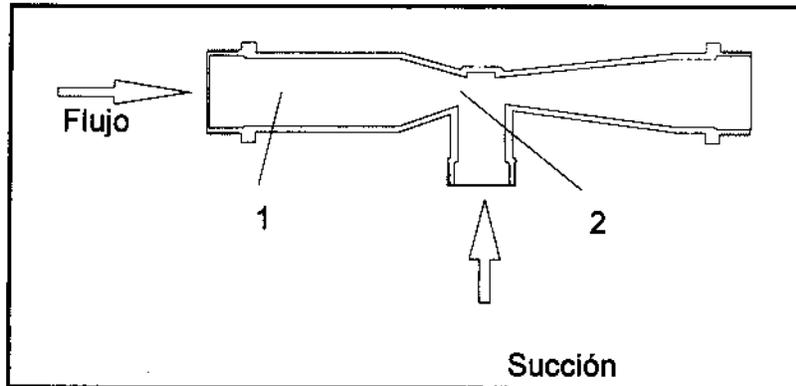


Figura N°8. Esquema de un inyector tipo Venturi

6.1.1 Modelos disponibles

Inyectores tipo Venturi hay de diversos tamaños de acuerdo a las necesidades, como se ilustra en la Figura N° 9. El modelo a utilizar está en función de:

- Caudal de succión deseado (litros/hora)
- Caudal que pasa por el inyector (litros/minuto)
- Pérdida de carga que produce al sistema (m.c.a)
- Forma o modalidad de instalación.

La Tabla N°6 muestra información relevante para ser utilizada en la selección apropiada del modelo a utilizar y es válida para inyectores marca MAZZEI INYECTOR CORPORATION de Bakersfield, California. Esta marca está disponible en Chile a través de tiendas especializadas en equipos de riego.

El caudal de succión señalado para cada modelo es sólo de referencia y dependerá de la diferencia de presión que exista entre la entrada y salida del inyector. Como la tasa de succión es relativamente baja en comparación al caudal principal, el inyector se debe instalar en una desviación lateral de la tubería matriz tal como aparece en la Figura N°10.

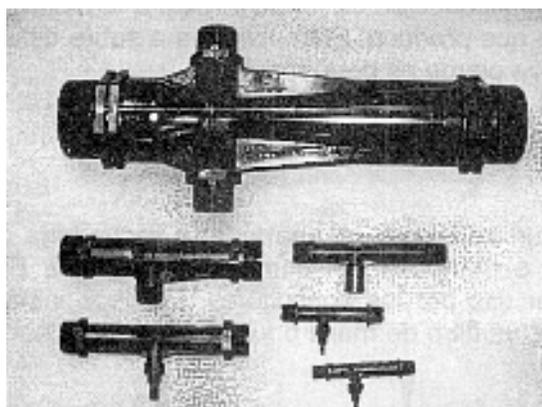


Figura N° 9. Inyectores tipo Venturi en diferentes tamaños

Tabla N° 6

Información para seleccionar el inyector apropiado

(Fuente : Mazzei In ector Corporation, Bakersfield, California).

Modelo N°	Tamaño/Tipo Entrada/Salida	Flujo por el Inyector		Flujo de succión		Relación de Caudales
		(gpm)	(lt/min)	(gph)	(lt/h)	
283	1/2" Hilo Ext.	0.5	1.9	6	22.7	1: 5.00
287	1/2" Hilo Ext.	0.9	3.4	8	30.3	1: 6.75
384	1/2" Hilo Ext.	2.1	7.9	10	37.9	1:12.96
484	1/2" Hilo Ext.	3.4	12.9	17	64.3	1:12.00
484-A	3/4" Hilo Ext.	3.4	12.9	17	64.3	1:12.00
584-C	1/2" Hilo Ext.	5.4	20.4	25	94.6	1:12.96
584	3/4" Hilo Ext.	5.4	20.4	25	94.6	1:12.96
878	1" Hilo Ext.	12	45.4	60	227.1	1:12.00
1078	1" Hilo Ext.	17	64.3	75	283.9	1:13.60
1583	1 1/2" Manguera	34	128.7	180	681.3	1:11.33
1583-A	1 1/2" Hilo Ext.	34	128.7	180	681.3	1:11.33
2081	2" Manguera	101	382.3	300	1135.5	1:20.20
2081-A	2" Hilo Ext.	101	382.3	300	1135.5	1:20.20
384-X	1/2" Hilo Ext.	2.1	7.9	35	132.5	1: 3.60
885-X	1" Hilo Ext.	12	45.4	140	529.9	1: 5.15
1585-X	1 1/2" Hilo Ext.	36	136.3	350	1324.8	1: 6.15
2083-B	2" Manguera	29	109.8	1130	4277.1	1: 1.55
2083-BA	2" Manguera	29	109.8	1130	4277.1	1: 1.55

(gpm = galones por minuto, gph = galones por hora, lt/min = litros/minuto, lt/h = litros/hora)

No se recomienda su instalación en forma directa a la tubería matriz por el exceso de pérdida de carga que produce. Esto obligaría a sobre dimensionar la bomba ya que la presión que se pierde es permanente.

6.1.2 Instalación

En general, el Venturi se instala en una tubería secundaria utilizando una válvula de tipo compuerta o mariposa, tal como lo muestra la Figura N°10 y es 1 alternativa de mayor uso por los agricultores. En otras instalaciones, ésta puede ser reemplazada por un filtro de malla o una válvula reguladora de presión (Figura N°1 1 y N°1 2).

Si no se desea alterar significativamente la presión de todo el sistema de riego, se puede utilizar una bomba centrífuga para generar la diferencia de presión, ésta puede estar instalada en la tubería secundaria (Figura N°13) o como parte del sistema de bombeo (Figura N°14).

El flujo principal debe dividirse en dos, pasando uno de ellos por el inyector (flujo secundario). La diferencia de presión entre la entrada y salida del inyector determina el flujo a través de este dispositivo y el caudal de succión.

Cuando la válvula reguladora esta completamente cerrada, todo el flujo se conduce a través del inyector y en ese caso la succión es máxima. El problema asociado a esta situación es la enorme pérdida de carga inducida al sistema lo que hace imposible el buen funcionamiento del riego. Si la válvula esta completamente abierta, la diferencia de presión entre los puntos 1 y 2 es mínima, por lo tanto el flujo secundario es muy bajo y el flujo de succión cero.

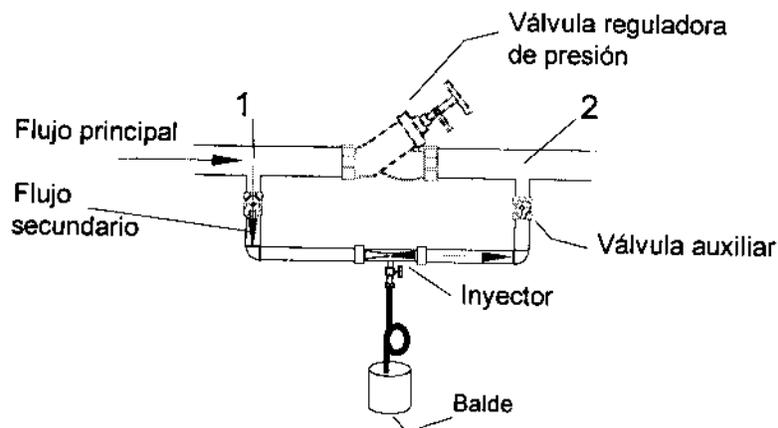


Figura N°10. Esquema de instalación de un inyector Venturi

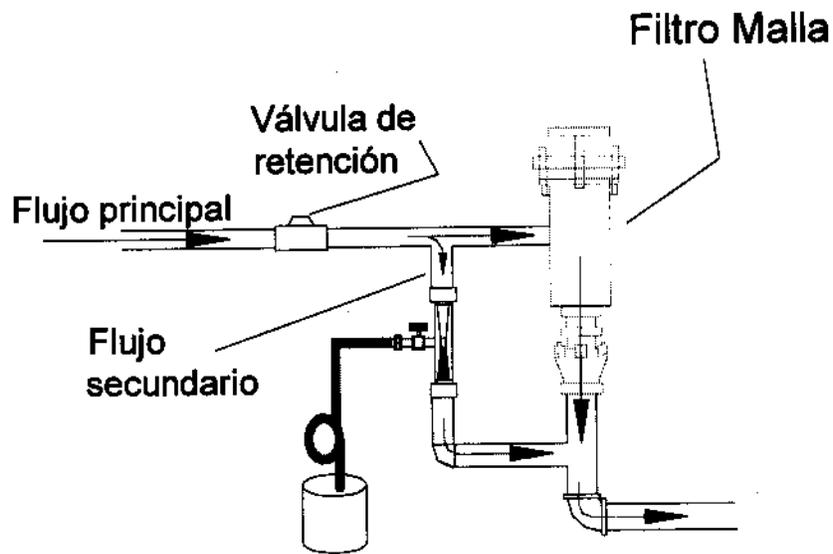


Figura N°11. Filtro de malla utilizado para inducir flujo a través del Venturi

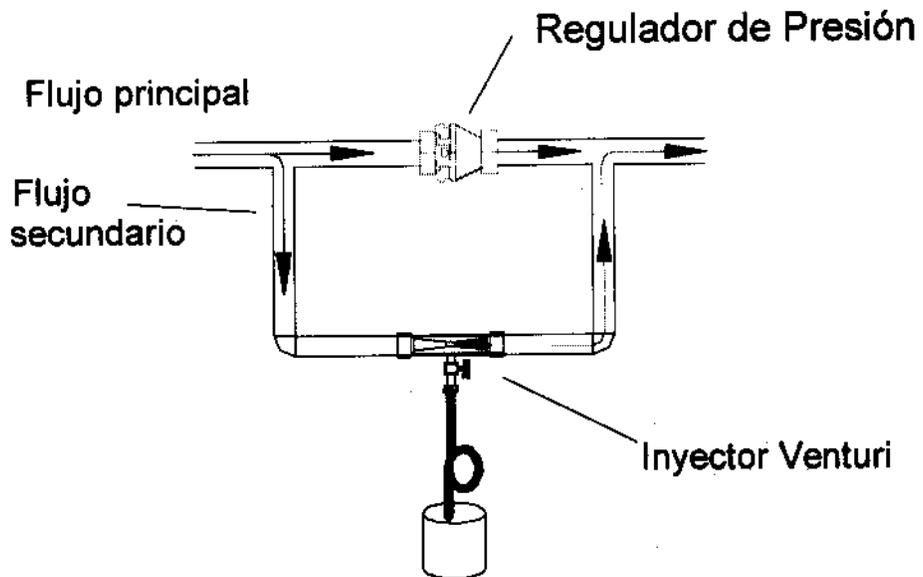


Figura N°12. Regulador de presión utilizado para inducir flujo a través del Venturi

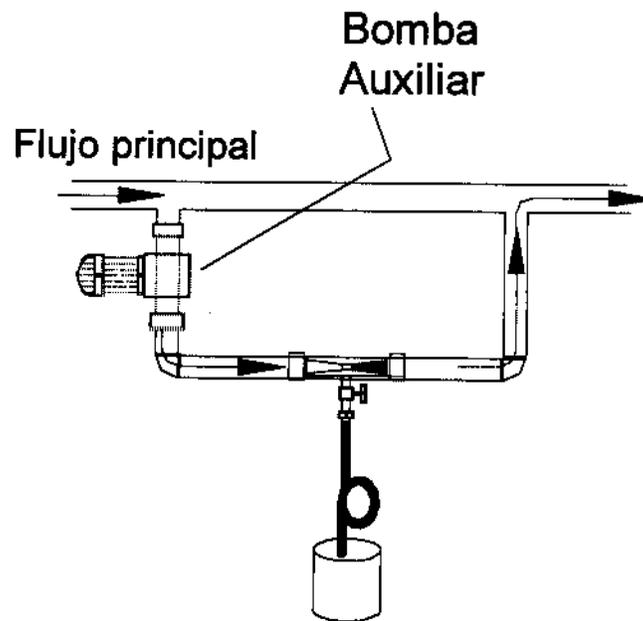


Figura N°13. Uso de bomba auxiliar en la tubería secundaria 5.1.3 Operación del inyector

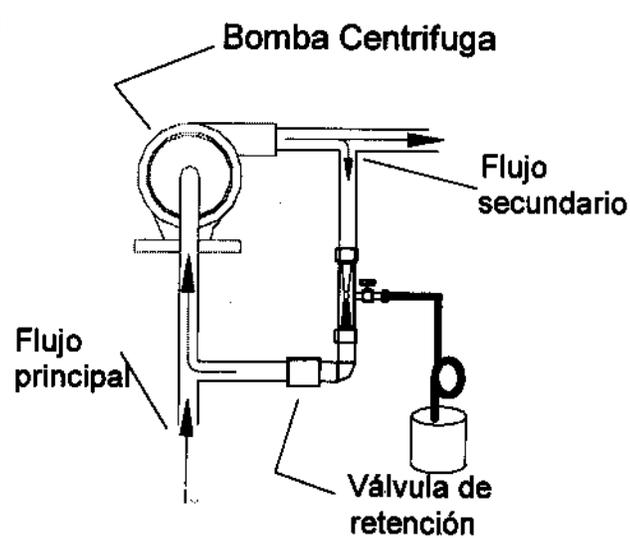


Figura N°14. Instalación del Venturi en el sistema de bombeo

6.1.3 Operación

La operación del inyector comienza con la apertura de las dos válvulas auxiliares una instalada a la entrada y la otra a la salida del Venturi. Para lograr succión se debe cerrar parcialmente la válvula reguladora de presión hasta que se haya conseguido el flujo de succión propio del dispositivo (Tabla N° 6). El cierre de la válvula mas allá de ese punto, sólo provocará la disminución de la presión en el sistema de riego.

Cuando se desea que el sistema termine de operar, basta con abrir totalmente la válvula reguladora de presión y cerrar totalmente una de las válvulas auxiliares.

La pérdida de energía (H_f) que provoca la instalación y operación del Venturi debe ser calculada en forma precisa durante el proceso de diseño del sistema de riego, para ello se debe consultar la hoja técnica del producto ya que la pérdida de carga la constituye la diferencia de presión entre la entrada y salida del dispositivo. Efectuar este proceso en forma descuidada puede producir el mal funcionamiento del Venturi provocando una excesiva pérdida de carga o nula succión.

6.1.4 Selección del modelo apropiado

La selección del modelo apropiado requiere de tres parámetros que deben ser considerados por el proyectista:

- Presión de entrada
- Presión de salida
- Caudal de succión

Con esta información y las tablas que proporcionan los fabricantes se procede a seleccionar el modelo apropiado. Las Tablas N°7 y N°8 muestran el caudal de succión y pasante o secundario para 6 modelos fabricados por MAZZEI Inyector Corp. en el rango de 1/2" a 2" en el sistema de unidades inglesas y métrico decimal respectivamente.

La Figura N°15 muestra un gráfico con información de la Tabla N°8 para un inyector modelo 584 (3/4") y con una presión de entrada de 35.2 m.c.a. (50 psi). En la figura N°15 se puede observar que el caudal de succión es máximo cuando la diferencia de presión entre la entrada y la salida es de 20 m.c.a, es decir, presión de salida igual a 15 m.c.a. Para este punto de trabajo, el caudal de succión es de 90 litros por hora. El caudal de succión se mantiene constante aunque la diferencia de presión aumente.

Con presiones de salida entre 15 y 25 m.c.a., el caudal que pasa por el inyector se mantiene constante, pero el caudal de succión baja dramáticamente a menos de la

mitad (40 lt/h). Con presión de salida de 29 m.c.a la succión se detiene completamente, es decir el sistema ha perdido 6 m.c.a y no hay succión.

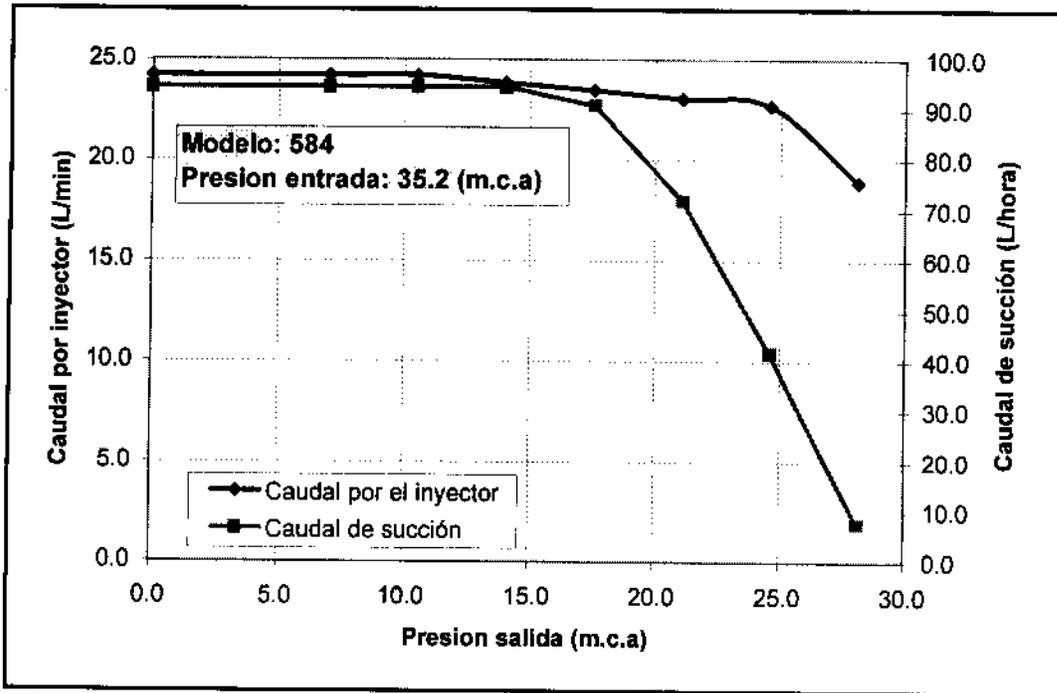


Figura N° 15. Curva de succión, inyector modelo 584 a 35.2 m.c.a presión de entrada.

De las observaciones anteriores se puede concluir que:

- El Venturi es un inyector que produce una pérdida de carga importante y debe ser considerada en el momento de diseñar el sistema.
- En el rango de poca pérdida de presión (6 a 10 m.c.a), el caudal de inyección es muy bajo.
- Para trabajar con el caudal nominal del inyector (caudal máximo), la diferencia de presión entre la entrada y la salida debe ser grande. En la práctica esto se consigue instalando el inyector como lo indica la figura N°13 asociado a la bomba principal.

La experiencia en el uso de inyectores tipo Venturi no es buena cuando el sistema de riego no consideraba el uso de este dispositivo y luego se instala como lo indica la Figura N°9 pensando que es la solución para realizar fertirrigación.

Se recomienda no implementar este sistema en sistemas de riego que funcionan con presiones inferiores a 30 m.c.a a la entrada del sistema de filtros o riegan áreas ubicadas sobre la cota del cabezal de riego.

Tabla N°7. Información de flujo de succión para diferentes rango de presiones (unidades inglesas)

Presión		Modelo 484		Modelo 584		Modelo 878		Modelo 1078		Modelo 1583		Modelo 2081	
Entrada (PSI)	Salida (PSI)	Flujo (GPM)	Succión (GPH)										
20	0	2.3	18	4.3	28	8.2	63	11.9	80	23.9	180	72.0	510
	5	2.3	18	4.2	23	8.2	63	11.9	75	22.9	170	72.0	510
	10	2.2	11	4.0	13	7.9	45	11.0	50	21.6	120	72.0	500
	12	2.1	8	3.9	9	7.7	38	10.7	37	21.1	95	66.5	330
	15	2.1	2	3.8	2	7.5	10	10.4	20	20.4	45	63.6	180
30	0	2.7	18	5.2	28	9.7	60	13.8	75	27.6	180	83.0	506
	5	2.7	18	5.2	26	9.7	60	13.8	75	27.6	180	83.0	506
	10	2.7	18	5.0	23	9.7	60	13.8	75	27.0	172	83.0	506
	15	2.6	13	4.8	18	9.5	52	13.3	60	26.1	136	82.0	480
	20	2.6	7	4.6	9	9.2	30	12.8	36	25.3	85	78.0	300
25	s/i	s/i	4.5	0	9.0	0	12.3	0	24.5	0	75.5	40	
40	0	3.1	18	5.8	25	10.8	60	15.6	75	31.1	180	92.0	500
	5	3.1	18	5.8	25	10.8	60	15.6	75	31.1	180	92.0	500
	10	3.1	18	5.8	25	10.8	60	15.6	75	31.1	180	92.0	500
	15	3.1	18	5.7	25	10.8	60	15.6	75	30.7	180	92.0	500
	20	3.0	18	5.5	20	10.8	60	15.3	72	30.2	180	91.0	500
	25	3.0	11	5.4	13	10.5	45	15.0	52	30.0	105	89.0	406
30	2.9	3	5.3	5	10.4	20	14.5	30	28.4	45	87.0	240	
50	0	3.4	17	6.4	25	12.0	60	17.1	75	34.2	180	101.0	500
	10	3.4	17	6.4	25	12.0	60	17.1	75	34.2	180	101.0	500
	15	3.4	17	6.4	25	12.0	60	17.1	75	34.2	180	101.0	500
	20	3.4	17	6.3	25	12.0	60	17.1	75	34.0	180	101.0	500
	25	3.4	15	6.2	24	11.9	60	17.0	75	33.6	175	101.0	500
	30	3.2	15	6.1	19	11.8	55	16.9	66	33.0	140	98.0	410
	35	3.3	8	6.0	11	11.7	35	16.6	47	32.3	90	97.0	306
40	3.2	1	5.0	2	11.5	12	16.0	18	31.7	15	95.0	56	
60	0	3.7	17	6.9	25	13.0	60	18.5	75	37.0	180	111.0	500
	10	3.7	17	6.9	25	13.0	60	18.5	75	37.0	180	111.0	500
	20	3.7	17	6.9	25	13.0	60	18.5	75	37.0	180	111.0	500
	25	3.7	17	6.9	25	13.0	60	18.5	75	37.0	180	111.0	500
	30	3.7	17	6.9	25	13.0	60	18.5	75	37.0	180	111.0	500
	35	3.7	16	6.7	20	13.0	60	18.4	72	36.6	162	110.0	440
	40	3.6	12	6.6	15	12.9	52	18.2	60	35.8	125	108.0	410
	45	3.5	5	6.5	7	12.6	27	17.7	36	35.0	65	107.0	200
70	0	4.0	17	7.4	25	14.0	60	19.8	75	40.5	180	120.0	500
	10	4.0	17	7.4	25	14.0	60	19.8	75	40.5	180	120.0	500
	20	4.0	17	7.4	25	14.0	60	19.8	75	40.5	180	120.0	500
	30	4.0	17	7.4	25	14.0	60	19.8	75	40.5	180	120.0	500
	35	4.0	17	7.4	25	14.0	60	19.8	75	40.5	180	120.0	500
	40	4.0	17	7.3	23	14.0	60	19.7	70	40.0	165	120.0	500
	45	3.9	15	7.2	17	13.8	57	19.5	60	39.4	136	118.0	480
	50	3.9	9	7.1	11	13.7	45	19.3	40	38.8	85	117.0	370
	55	3.8	2	7.0	4	13.5	22	19.1	20	38.1	20	114.0	120
80	0	4.2	17	7.8	25	14.9	60	21.7	75	43.0	180	128.0	500
	20	4.2	17	7.8	25	14.9	60	21.7	75	43.0	180	128.0	500
	30	4.2	17	7.8	25	14.9	60	21.7	75	43.0	180	128.0	500
	35	4.2	17	7.8	25	14.9	60	21.7	75	43.0	180	128.0	500
	40	4.2	17	7.8	25	14.9	60	21.7	75	43.0	180	128.0	500
	45	4.2	17	7.7	24	14.9	60	21.7	75	42.8	175	128.0	500
	50	4.2	17	7.6	20	14.8	60	21.4	71	42.5	150	128.0	500
	55	4.2	12	7.5	14	14.7	50	21.2	61	42.0	125	127.0	480
	60	4.1	8	7.4	8	14.5	30	21.0	42	41.5	86	124.0	320
	65	4.0	0	7.3	1	14.3	9	20.7	13	41.0	15	123.0	110
100	0	4.7	17	8.9	25	16.6	60	24.3	75	48.0	180	144.0	500
	20	4.7	17	8.9	25	16.6	60	24.3	75	48.0	180	144.0	500
	40	4.7	17	8.9	25	16.6	60	24.3	75	48.0	180	144.0	500
	50	4.7	17	8.9	25	16.6	60	24.3	75	48.0	180	144.0	500
	60	4.7	17	8.9	25	16.6	60	24.3	75	48.0	180	144.0	500
	65	4.7	17	8.8	22	16.6	60	24.2	75	47.7	165	144.0	500
	70	4.6	13	8.7	18	16.5	57	24.0	66	47.0	136	143.0	470
	75	4.6	8	8.6	12	16.4	45	23.8	56	46.5	80	142.0	340
	80	4.5	1	8.5	4	16.2	24	23.4	30	46.0	35	140.0	180

Tabla N°8. Información de flujo de succión para diferentes rango de presiones (sistema métrico)

Presión		Modelo 484		Modelo 584		Modelo 878		Modelo 1078		Modelo 1583		Modelo 2081	
Entrada (m.c.a)	Salida (m.c.a)	Flujo (l/min)	Succión (l/h)										
14.1	0.0	8.7	68.1	16.3	106.0	31.0	238.5	45.0	302.8	90.5	681.3	272.5	1930.4
	3.5	8.7	68.1	15.9	87.1	31.0	238.5	45.0	283.9	86.7	643.5	272.5	1930.4
	7.0	8.1	41.6	15.1	49.2	29.9	170.3	41.6	189.3	81.8	454.2	272.5	1892.5
	8.4	7.9	30.3	14.8	34.1	29.1	143.8	40.5	140.0	79.9	359.6	251.7	1249.1
	10.5	7.8	7.6	14.4	7.6	28.4	37.9	39.4	75.7	77.2	170.3	240.7	681.3
21.1	0.0	10.2	68.1	19.7	106.0	36.7	227.1	52.2	283.9	104.5	681.3	314.2	1915.2
	3.5	10.2	68.1	19.7	98.4	36.7	227.1	52.2	263.9	104.5	681.3	314.2	1915.2
	7.0	10.2	68.1	18.9	87.1	36.7	227.1	52.2	283.9	102.2	651.0	314.2	1915.2
	10.5	9.8	49.2	18.2	68.1	36.0	196.8	50.3	227.1	98.8	514.8	310.4	1816.8
	14.1	9.7	26.5	17.4	34.1	34.8	113.6	48.4	136.3	95.8	321.7	295.2	1135.5
	17.6	s/i	s/i	17.0	0.0	34.1	0.0	46.6	0.0	92.7	0.0	285.8	151.4
28.1	0.0	11.7	68.1	22.0	94.6	40.9	227.1	59.0	283.9	117.7	681.3	348.2	1892.5
	3.5	11.7	68.1	22.0	94.6	40.9	227.1	59.0	283.9	117.7	681.3	348.2	1892.5
	7.0	11.7	68.1	22.0	94.6	40.9	227.1	59.0	283.9	117.7	681.3	348.2	1892.5
	10.5	11.7	68.1	21.6	94.8	40.9	227.1	59.0	283.9	116.2	681.3	348.2	1892.5
	14.1	11.4	68.1	20.8	75.7	40.9	227.1	57.9	272.5	114.3	681.3	344.4	1892.5
	17.6	11.2	41.6	20.4	49.2	39.7	170.3	56.8	196.8	113.6	397.4	336.9	1536.7
	21.1	10.8	11.4	20.1	18.9	39.4	75.7	54.9	113.6	107.5	170.3	329.3	908.4
35.2	0.0	12.9	64.3	24.2	94.6	45.4	227.1	64.7	283.9	129.4	681.3	382.3	1892.5
	7.0	12.9	64.3	24.2	94.6	45.4	227.1	64.7	283.9	129.4	681.3	382.3	1892.5
	10.5	12.9	64.3	24.2	94.6	45.4	227.1	64.7	283.9	129.4	681.3	382.3	1892.5
	14.1	12.9	64.3	23.8	94.6	45.4	227.1	64.7	283.9	128.7	681.3	382.3	1892.5
	17.6	12.9	56.8	23.5	90.8	45.0	227.1	64.3	283.9	127.2	662.4	382.3	1892.5
	21.1	12.1	56.8	23.1	71.9	44.7	208.2	64.0	249.8	124.9	529.9	370.9	1551.9
	24.6	12.3	30.3	22.7	41.6	44.3	132.5	62.8	177.9	122.3	340.7	367.1	1158.2
	28.1	11.9	3.8	18.9	7.6	43.5	45.4	60.6	68.1	120.0	56.8	359.6	212.0
42.2	0.0	14.0	64.3	26.1	94.6	49.2	227.1	70.0	283.9	140.0	681.3	420.1	1892.5
	7.0	14.0	64.3	26.1	94.6	49.2	227.1	70.0	283.9	140.0	681.3	420.1	1892.5
	14.1	14.0	64.3	26.1	94.6	49.2	227.1	70.0	283.9	140.0	681.3	420.1	1892.5
	17.6	14.0	64.3	26.1	94.6	49.2	227.1	70.0	283.9	140.0	681.3	420.1	1892.5
	21.1	14.0	64.3	26.1	94.6	49.2	227.1	70.0	283.9	140.0	681.3	420.1	1892.5
	24.6	13.8	60.6	25.4	75.7	49.2	227.1	69.6	272.5	138.5	613.2	416.4	1665.4
	28.1	13.6	45.4	25.0	56.8	48.8	196.8	68.9	227.1	135.5	473.1	408.8	1551.9
	31.6	13.2	18.9	24.6	26.5	47.7	102.2	67.0	136.3	132.5	246.0	405.0	757.0
49.2	0.0	15.0	64.3	28.0	94.6	53.0	227.1	74.9	283.9	153.3	681.3	454.2	1892.5
	7.0	15.0	64.3	16.7	94.6	53.0	227.1	74.9	283.9	153.3	681.3	454.2	1892.5
	14.1	15.0	64.3	28.0	94.6	53.0	227.1	74.9	283.9	153.3	681.3	454.2	1892.5
	21.1	15.0	64.3	28.0	94.6	53.0	227.1	74.9	283.9	153.3	681.3	454.2	1892.5
	24.6	15.0	64.3	28.0	94.6	53.0	227.1	74.9	283.9	153.3	681.3	454.2	1892.5
	28.1	15.0	64.3	27.6	87.1	53.0	227.1	74.6	265.0	151.4	624.5	454.2	1892.5
	31.6	14.8	56.8	27.3	64.3	52.2	215.7	73.8	227.1	149.1	514.8	446.6	1816.8
	35.2	14.6	34.1	26.9	41.6	51.9	170.3	73.1	151.4	146.9	321.7	442.8	1400.5
	38.7	14.2	7.6	26.5	15.1	51.1	83.3	72.3	75.7	144.2	75.7	431.5	454.2
56.2	0.0	15.9	64.3	29.5	94.6	56.4	227.1	82.1	283.9	162.8	681.3	484.5	1892.5
	14.1	15.9	64.3	29.5	94.6	56.4	227.1	82.1	283.9	162.8	681.3	484.5	1892.5
	21.1	15.9	64.3	29.5	94.6	56.4	227.1	82.1	283.9	162.8	681.3	484.5	1892.5
	24.6	15.9	64.3	29.5	94.6	56.4	227.1	82.1	283.9	162.8	681.3	484.5	1892.5
	28.1	15.9	64.3	29.5	94.6	56.4	227.1	82.1	283.9	162.8	681.3	484.5	1892.5
	31.6	15.9	64.3	29.1	90.8	56.4	227.1	82.1	283.9	162.0	662.4	484.5	1892.5
	35.2	15.9	64.3	28.8	75.7	56.0	227.1	81.0	268.7	160.9	567.8	484.5	1892.5
	38.7	15.7	45.4	28.4	53.0	55.6	189.3	80.2	230.9	159.0	473.1	480.7	1816.8
	42.2	15.4	30.3	28.0	30.3	54.9	113.6	79.5	159.0	157.1	325.5	469.3	1211.2
45.7	15.2	0.0	27.8	3.8	54.1	34.1	78.3	49.2	155.2	56.8	465.6	416.4	
70.3	0.0	17.8	64.3	33.7	94.6	62.8	227.1	92.0	283.9	181.7	681.3	545.0	1892.5
	14.1	17.8	64.3	33.7	94.6	62.8	227.1	92.0	283.9	181.7	681.3	545.0	1892.5
	28.1	17.8	64.3	33.7	94.6	62.8	227.1	92.0	283.9	181.7	681.3	545.0	1892.5
	35.2	17.8	64.3	33.7	94.6	62.8	227.1	92.0	283.9	181.7	681.3	545.0	1892.5
	42.2	17.8	64.3	33.7	94.6	62.8	227.1	92.0	283.9	181.7	681.3	545.0	1892.5
	45.7	17.6	64.3	33.3	83.3	62.8	227.1	91.6	283.9	180.5	624.5	545.0	1892.5
	49.2	17.4	49.2	32.9	68.1	62.5	215.7	90.8	249.8	177.9	514.8	541.3	1779.0
	52.7	17.3	30.3	32.6	45.4	62.1	170.3	90.1	212.0	176.0	302.8	537.5	1286.9
	56.2	17.0	3.8	32.2	15.1	61.3	90.8	88.6	113.6	174.1	132.5	529.9	681.3

6.2 Dosatrón

El "Dosatrón" es la marca comercial de un dispositivo que actúa como bomba de pistón accionada por la fuerza del agua, es decir, no requiere de energía eléctrica para su funcionamiento. La Figura N°16 muestra el esquema interior de un Dosatrón.

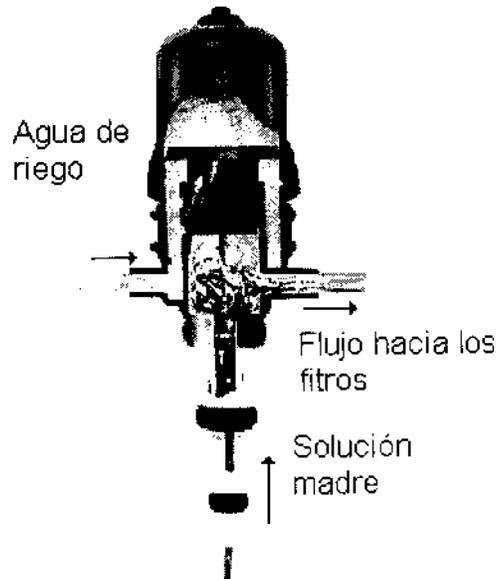


Figura N°16. Imagen de un Dosatrón con esquema interior

El inyector puede ser instalado en forma directa en la tubería matriz o en una línea lateral tal como se describió la instalación de un inyector tipo Venturi. Dada la complejidad de este dispositivo, que posee numerosas piezas móviles, es fundamental la calidad del agua, ya que cualquier impureza puede afectar el buen funcionamiento del inyector.

El esquema de instalación aparece en la Figura N°17. En ella se señala la importancia de instalar filtros de malla en el flujo secundario que pasa por el inyector y en la succión de la solución madre.

El Dosatrón tiene la capacidad de inyectar soluciones madres en forma muy precisa en el rango de 0.02 a 250 litros/hora en una razón de dilución de 1:500 a 1:50 (0.2 a 2%). La Tabla N° 9 muestra en detalle las características de tres modelos utilizados en fertirrigación. Estas características deben ser consideradas por el proyectista para seleccionar el modelo apropiado.

En la instalación puede considerarse la posibilidad de instalar más de una unidad en serie (igual o diferente modelo), para dar cumplimiento a requerimientos de inyección mayores a las características propias de cada modelo.

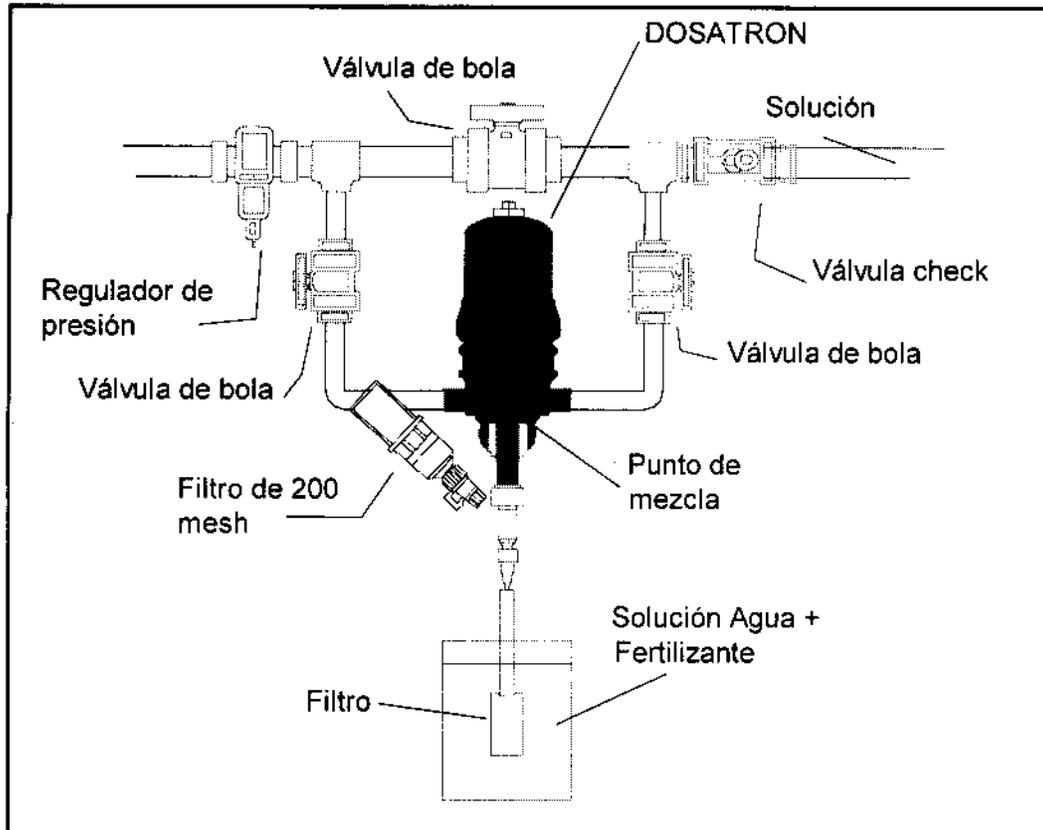


Figura N° 17. Esquema de instalación de un inyector tipo Dosatrón

Ejercicio: Se dispone de 1800 m² de invernadero de tomates y se desea aplicar el equivalente a 2 Unidades de nitrógeno por hectárea en la forma de Nitrato de Potasio. El recipiente para preparar la solución madre es de 20 litros. El caudal del sistema de riego es de 2.53 lt/s y una intensidad de precipitación de 0.92 mm/hora. La evaporación de bandeja para la semana es de 4.5 mm/día. Calcular la dosificación de solución madre a inyectar utilizando un Dosatrón modelo DL-16 instalado en una red secundaria que tiene capacidad para derivar 115 del caudal principal (caudal secundario).

Tabla N° 9. Características de tres modelos de Dosatrón

Descripción	Modelo					
	DL-16		DL-150		DL 210	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Flujo de agua por el inyector (litros/hora)	10	2500	10	2500	10	2500
Caudal de inyección (litros/hora)	0.02	40	0.1	125	0.2	250
Capacidad de ajuste de inyección (%)	0.2	1.6	1	4	2	10
Relación flujo secundario/succión	1:500	1:62.5	1:100	1:25	1:50	1:10
Presión de trabajo (m.c.a)	3	60	3	60	5	40
Pérdida de presión (m.c.a)		9.3		7		5.6

Solución:

1. *Estimación del tiempo de riego.*

$$ETc = EB * Kp * Ks * Kc \quad (2)$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración potencial (mm/día)

EB = Evaporación de bandeja (mm/día)

Kp = Coeficiente de bandeja (adimensional)

Ks = Coeficiente de sombreamiento (adimensional)

Kc = Coeficiente de cultivo (adimensional)

Para este ejercicio, se trabajará con los siguientes valores: EB = 4.5 mm/día, KP=0.75, Ks=1.0 y Kc=1.0. Se ha seleccionado estos valores debido a las condiciones de instalación de la bandeja y al estado de crecimiento del cultivo. La evapotranspiración del cultivo ETc es 3.375 mm/día. Asumiendo una eficiencia de riego de 90%, la altura de agua a aplicar (Ha) es:

$$Ha = \left(\frac{ETc}{\text{Eficiencia}} \right) \quad (3)$$

Resolviendo la Ecuación N°3:

$$Ha = \left(\frac{3.375 \left(\frac{mm}{dia} \right)}{\frac{90}{100}} \right) = 3.75 \left(\frac{mm}{dia} \right)$$

El tiempo de riego esta dado por la altura de agua a aplicar (Ha) dividido por la intensidad de aplicación (Ipp).

$$T = \left(\frac{Ha \left(\frac{mm}{dia} \right)}{Ipp \left(\frac{mm}{hora} \right)} \right) \quad (4)$$

Resolviendo la Ecuación N° 4:

El tiempo de riego es de 244 minutos por día. El tiempo de inyección debe ser del orden de 200 minutos ya que es necesario esperar unos 10 minutos después de iniciado el riego para comenzar la inyección y asegurarse de esta forma que el sistema estará funcionando correctamente. La inyección debe terminar aproximadamente 30 minutos antes que el riego para dar oportunidad a la aplicación de todo el fertilizante, etapa que se conoce como "lavado de cañerías".

2. Preparación de la solución madre.

La cantidad de KNO_3 necesario para preparar la solución madre es 2.77 kilos. Para calcularlo, se sabe que la superficie a cultivar es 1800 M², es

decir un 18% de hectárea y el requerimiento por hectárea de nitrógeno en este caso particular es 2 unidades.

$$W_{KNO_3} = \left(\frac{2}{0.13}\right) * \left(\frac{18}{100}\right) = 2.77(kg)KNO_3$$

La solubilidad de/ KNO_3 es de 133 g. por litro de agua, por lo tanto se necesita disponer de 25 litros de solución de acuerdo a la Ecuación N'1. Para ello, pesar 2.77 kg de fertilizante, agregar 12 litros de agua, luego agitar vigorosamente y luego completar con agua hasta alcanzar 25 litros de solución madre.

3. Estimación del caudal del inyector (Q_i).

Como se dispone de 200 minutos para efectuar la inyección, el caudal del inyector es de 0.125 litros por minuto.

$$Q_{inyeccion} = \left(\frac{25(L)}{200(min)}\right) = 0.125\left(\frac{L}{min}\right)$$

4. Cálculo de concentraciones.

El caudal secundario es 115 del caudal principal, es decir 0.506 lts (30.36 lt/min). El caudal de inyección es 0.125 lt/min, por lo tanto la relación caudal secundario/caudal inyectado es 1:242 o 0.41%. La relación con respecto al caudal principal es 1: 1210 o 0.082%.

Nota: No olvidar que el dispositivo pierde carga en aproximadamente 9 m. c. a. y esa energía debe ser considerada en el diseño del sistema.

5. Resultado final.

Se necesita 2.77 kg de KNO_3 inyectado en un tiempo de 20 minutos. El volumen de solución madre es 25 litros.

6.3 Bombas inyectoras auxiliares

El uso de bombas inyectoras auxiliares es el método más utilizado en fertirrigación ya que permite un control muy estricto de las dosis a aplicar, frecuencia y tiempo que dura la aplicación. Un esquema de una instalación típica aparece en la Figura N°18.

Estas bombas se caracterizan por su bajo caudal, alta presión de trabajo y están contruidos de materiales resistentes a la corrosión como acero inoxidable, compuestos cerámicas de alta resistencia o sintéticos similares al polietileno.

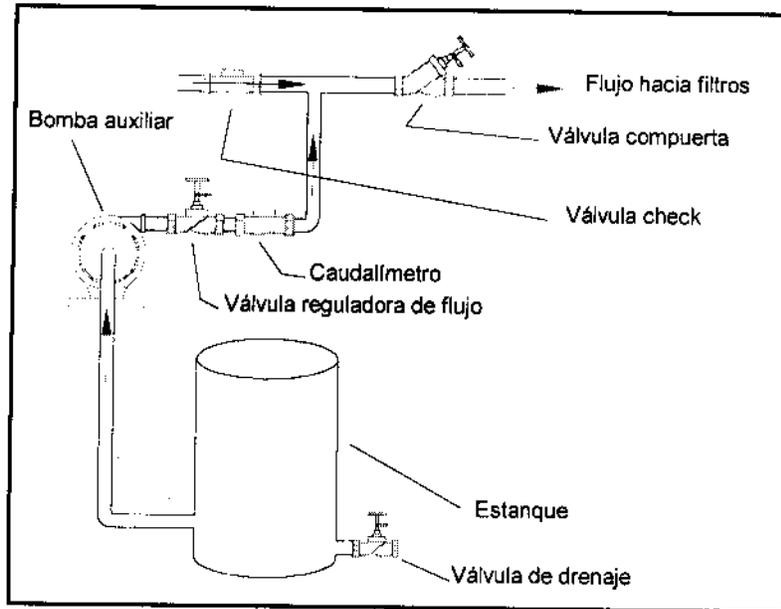


Figura N°18. Esquema de un sistema de inyección con bomba auxiliar

Existen dos tipos de bombas, las de membrana o diafragma y las centrífugas. Las de membrana son ideales para la aplicación de ácidos en donde se requiere inyectar en forma continua un caudal pequeño. Las bombas centrífugas son de mayor caudal y permiten la inyección de grandes volúmenes de solución madre en poco tiempo.

6.3.1 Bombas de Membrana

La Figura N°19 muestra 4 tipos de bombas inyectoras de membrana. Este tipo de bombas funciona como un motor a explosión de dos tiempos, fase de admisión y fase de compresión.

En la fase de admisión se produce aspiración y la solución madre ocupa todo el espacio de la cavidad que deja la membrana. En la fase de compresión, la membrana presiona el líquido contra el cuerpo de la bomba originando una gran presión. Un sistema en válvulas regula el flujo en ambas fases (aspiración y compresión). La Figura N°20 muestra 4 dibujos en donde aparece en detalle un ciclo de funcionamiento.

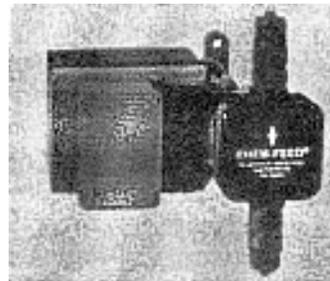
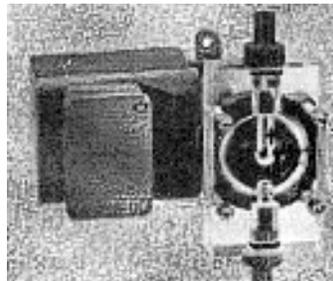
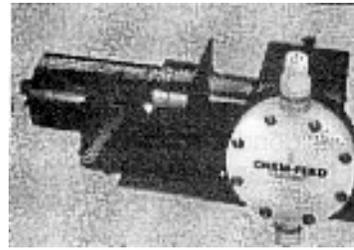
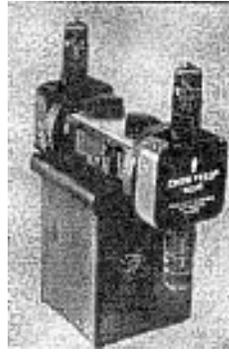
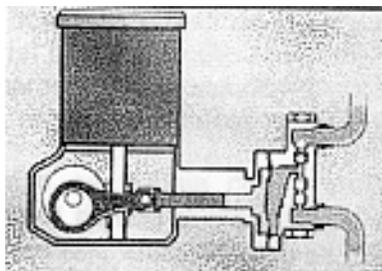
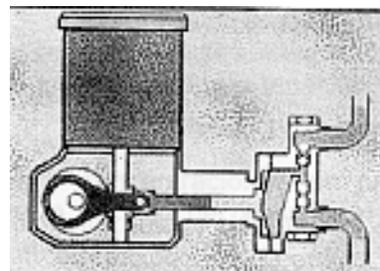


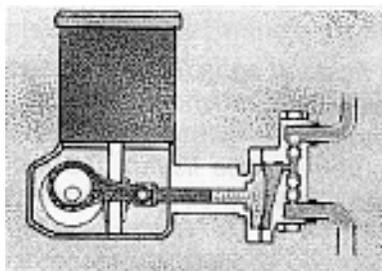
Figura N° 19. Cuatro modelos de bombas inyectoras de membrana



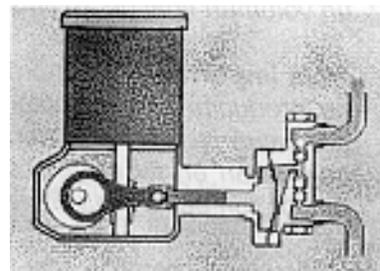
A



B



C



D

Figura N°20. Esquema de funcionamiento de una bomba inyectora de membrana

La Figura N°20-A muestra la fase de aspiración en donde la solución madre ingresa al cilindro. Esta fase continúa hasta que la biela se encuentra en la posición más distal; el cilindro se encuentra totalmente lleno, termina la fase de aspiración e inicia de la compresión (Figura N°20-B). Luego se inicia la fase de compresión donde el líquido es expulsado del cilindro a gran presión (Figura N° 20-C). Al finalizar la fase de compresión (Figura N°20-D), el cilindro se encuentra vacío y vuelve a comenzar el ciclo siguiente.

Los caudales de este tipo de bombas son bajos del orden de 10 a 200 litros por hora. Las presiones de trabajo son del orden de 60 y 120 m.c.a.

Este modelo de bomba resulta ideal para la aplicación de ácidos ya que el producto puede ser inyectado al sistema tal como se comercializa. Esto facilita enormemente la manipulación de compuestos altamente corrosivos como son el ácido fosfórico, ácido nítrico o ácido sulfúrico.

Ejercicio. Se desea bajar el pH del agua de riego de 8.3 a 6.8. Para ello se debe aplicar ácido fosfórico en dosis de 30 cc por M3 de agua. El caudal de la bomba inyectora es de 10 lt/h y el caudal de la bomba de 20 m3/h (5.55 itis).
Calcularla dosis de ácido a aplicar.

Cálculo. Se debe calcular el volumen de ácido a aplicar en 1 hora de funcionamiento del sistema. Para ello se debe multiplicar la dosis por el caudal del sistema.

$$Q_{\text{Acido}} = 30 \left(\frac{\text{cc}}{\text{m}^3} \right) * 20 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 600 \left(\frac{\text{cc}}{\text{h}} \right)$$

Cálculo. Se debe inyectar 0.6 litros de ácido por hora. Como la bomba inyectora tiene una capacidad de mínima de 10 lt/h, se debe preparar una solución madre con el volumen de ácido requerido y agregar agua hasta alcanzar un volumen final de 10 litros.

Nota importante: Siempre adicionar el ácido al agua, no al revés ya que se producirá una reacción química que libera mucho calor. Ese calor producirá la repentina ebullición del agua lo que generará burbujas que salpicarán en todas direcciones. Las burbujas, que llevan una parte de ácido, son peligrosas si entran en contacto con la piel, ojos o ropa.

Como es dificultoso preparar una solución madre de 10 litros y reponerla cada hora, lo más fácil es preparar un volumen que alcance para varias horas.

Si se desea preparar una solución madre para 20 horas de funcionamiento del sistema de riego, el volumen a mezclar es de 188 litros de agua y 12 litros de ácido. Para preparar esta solución madre, lo más fácil es disponer de un estanque de 250 litros, este se llena con agua hasta la mitad, se aplican los 12 litros de ácido y luego se rellena hasta completar 200 litros.

Si se dispone de un estanque de mayor capacidad, por ejemplo 500 litros, se recomienda preparar una solución madre para 50 horas en vez de preparar una para 20. En un estanque es difícil preparar solución en fracciones de la capacidad total, por lo tanto, se debe preparar una solución madre aprovechando toda la capacidad nominal del estanque.

Si se desea preparar una solución de 200 litros en estanque de mayor capacidad, es difícil precisar el nivel de llenado para ese volumen. En estricto rigor, no hay efectos negativos serios al cometer pequeños errores. El sistema de inyección o de riego no va a deteriorarse.

Con productos de alto costo como ácido fosfórico (1 US\$/Kilogramo), una dosificación deficiente puede causar una sobre dosis mínima lo que implica utilizar mas producto que el recomendado. Al final, el exceso de producto utilizado tiene un costo que puede resultar insignificante en un sistema pequeño o de varios millones de pesos en un sistema grande después de finalizada la temporada de riego.

Las bombas de diafragma tienen pocas regulaciones, a sí que es difícil ajustar el caudal para un amplio rango de trabajo. Esto obliga a trabajar cuidadosamente la preparación de la solución madre y resulta de menor costo que tener un sistema de inyección muy sofisticado.

Cuando se trabaja con diferentes productos y concentraciones es preferible disponer de una bomba inyectora de membrana por tipo de producto si es que estos serán aplicados en forma simultáneamente. En el caso de aplicarlos en forma diferida, preparar la solución madre en estanques diferentes y utilizar 1 bomba inyectora. En la práctica, no se requiere más de dos bombas por muy complejo que sea el manejo del cultivo.

6.3.2 Bombas Centrifugas

Estas bombas son de mayor caudal, del orden de 20 a 150 litros por minuto, pero de menor presión (30 a 60 m.c.a). El cuerpo está fabricado con materiales altamente resistentes a la corrosión (Figura N°21).

En general, todo sistema de fertirrigación trabaja con caudales reducidos. Cuando se trabaja con bombas centrífugas, el caudal se puede controlar con una válvula de mariposa a la salida de la bomba (Figura N°18). Nunca instalar la válvula reguladora de caudal en la tubería de succión, ya que podría causar la cavilación de la bomba (Figura N°22).



Figura N°21. Bomba centrífuga con cuerpo y rodetes de acero inoxidable

También es recomendable un medidor de caudal para facilitar la regulación del sistema. Buenos resultados se han logrado con medidores de agua potable.

Este tipo de bombas, son muy difíciles de regular para trabajar con pequeños caudales. Además hay un gasto importante de energía para mantenerlas funcionando por largo tiempo. En aplicaciones de productos mejoradores de agua, como ácidos, se recomienda utilizar bombas de membrana.

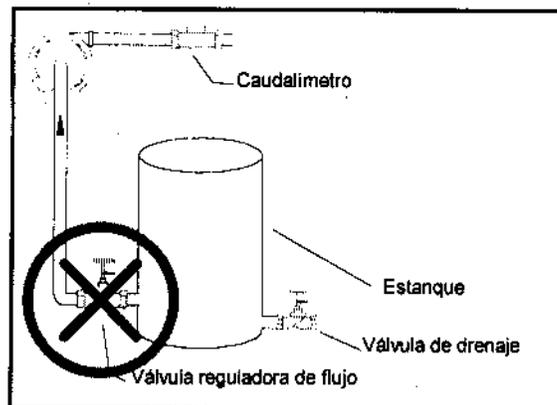


Figura No 22. Esquema, que muestra la instalación incorrecta de la válvula reguladora de flujo

En aplicaciones de fertilizantes, las bombas centrífugas trabajan mejor ya que permiten la inyección de volúmenes grandes de solución madre en poco tiempo.

Ejercicio. En un parrón de 20 ha se desea aplicar 1 unidad de nitrógeno por día en forma de KNO₃.- el parrón esta subdividido en tres sectores de igual tamaño. La bomba inyectora tiene un caudal de 50 lt/min. Se dispone de un estanque abonador de 200 litros. ¿Cuál es el volumen de solución madre a preparar y el tiempo que demorará el proceso de inyección ?

Cálculo. - El KNO₃ tiene 13% de N, por lo tanto se requiere preparar 153,8 kilos de producto comercial en tres fracciones, uno para cada sector de riego. Cada inyección ocupará 51,3 kilos de KNO₃.

$$W_{KNO_3} = \frac{20(ha) * 1 \left(\frac{uN}{ha} \right)}{0.13} = 153.8 \left(\frac{kN}{predio} \right)$$

Como el KNO₃ es de alta solubilidad, pueda utilizar 100 litros de agua para preparar la solución madre. El tiempo de inyección de la solución será de 2 minutos. Si se reduce el caudal de la bomba en un 50% (25 lt/min), el tiempo de inyección subirá a 4 minutos, En este caso, habría que estrangular parcialmente la válvula de paso a que se hace mención en la Figura N°3 en el objetivo de alargar el tiempo de inyección a lo deseado.

Sin embargo, el tiempo de inyección no es crítico, por lo tanto, da lo mismo que la inyección sea efectuada en 15 o 20 o 30 minutos. Tiempos menores a 5 minutos podrían inducir a una distribución poco uniforme del producto.

Se recomienda la detención de las bombas inyectoras auxiliares cuando se ha producido una falla ya sea de tipo mecánico o eléctrico en el sistema de riego. Para ello, el tablero de control debe poseer las protecciones necesarias.

6.4 Estanques presurizados

Este método consiste en hacer pasar parte del flujo por un estanque hermético. La instalación es similar a la de un inyector tipo Venturi, donde se instala una fuente de pérdida de carga (válvula de compuerta, codo, filtro de malla o válvula reguladora de presión) y dos derivaciones, una a cada lado de la fuente. La pérdida de carga da origen a un flujo secundario que circula por el estanque.

Previo al funcionamiento del sistema, se coloca una cierta cantidad de fertilizante dentro del estanque. El agua que ingresa al estanque disuelve lentamente el fertilizante produciendo una solución madre que posteriormente es inyectada a la tubería matriz. La Figura N° 23 muestra un diagrama de instalación del sistema.

La principal ventaja de este sistema es que no posee componentes móviles que sufran desgaste, así el riesgo de falla es mínimo. Tampoco requiere de energía eléctrica o motor a combustión y la pérdida de carga que origina es bastante menor que el Venturi. La desventaja es que la aplicación de fertilizante no es constante en el tiempo y la operación se torna dificultosa cuando el sistema de riego esta dividido en más de un sub-sector. Esto obliga a preparar la solución madre sin estar seguro que todo el fertilizante que se preparó con anterioridad ha sido inyectado al sistema.

La velocidad de mezcla entre la solución madre y el flujo que pasa a través del inyector es función de:

- Solubilidad y peso específico del producto
- Tamaño y forma del estanque
- Temperatura del agua
- Caudal de inyección

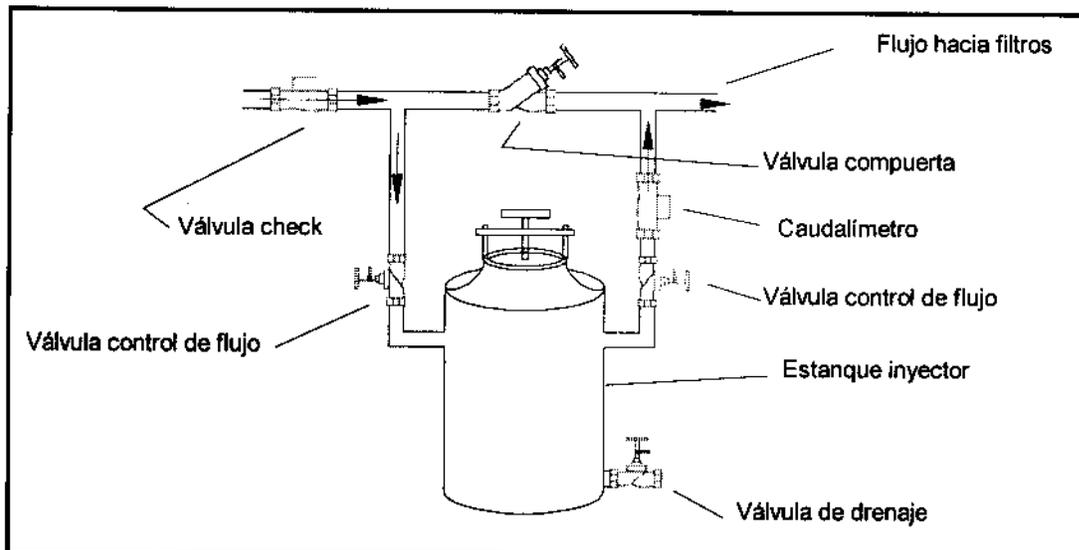


Figura N° 23. Esquema de un sistema de tanque a presión

Para estimar la cantidad de fertilizante que permanece en el inyector después de transcurrido cierto tiempo, se puede utilizar la Ecuación (6) que es válida para productos muy solubles.

$$n = 100 * \exp\left(\frac{-x * t}{100}\right) \quad (6)$$

Donde:

- n = % de la solución madre que permanece en el estanque transcurrido cierto tiempo t
- x = Flujo a través de; tanque presurizado (lt/h)
- t = Tiempo de inyección (h)

Ejemplo: Se dispone de un inyector cuyo estanque presurizado es de 60 litros. El caudal secundario que pasa por el inyector es de 120 lt/h. Se desea aplicar 20 kg de urea. ¿Qué porcentaje de urea permanece en el estanque transcurridas 2 horas?

Solución: La concentración inicial de la solución madre es de 33.3% (20 kilos de Urea en 60 litros de agua). Para el ejemplo, x es 120 lt/h y t 2 horas.

$$n = 100 * \exp\left(\frac{-120\left(\frac{l}{h}\right) * 2(h)}{100}\right)$$

El valor de n = 9.07 %. La respuesta indica que después de dos horas de iniciado el proceso de fertilización, aun queda en el estanque el 9% de la concentración inicial.

La concentración final de la solución en el estanque y el peso de fertilizante que permanece en el sistema es:

$$Cf = \left(\frac{n}{100}\right) * Ci \quad (7)$$

$$Wt = Cf * Vc \quad (8)$$

Donde:

Cf = Concentración final de la solución madre después de transcurrido t horas.

Ci = Concentración inicial de la solución madre.

Wt = Peso de Urea en el estanque después de transcurrido t horas.

Vc = Volumen del estanque presurizado.

Resolviendo las Ecuaciones N°6 y N°7 se tiene:

$$Cf = \left(\frac{9.07}{100}\right) * \left(\frac{33.3}{100}\right) = 0.0302$$

$$Wt = 0.0302 \left(\frac{kg}{l}\right) * 60(l) = 1.81(kg)$$

Respuesta: Al final de dos horas, aún quedan 1. 8 kilos de Urea en el estanque.
Si el tiempo de inyección es 3 horas, la cantidad de Urea sería 0. 55 kilos.

El estanque debe ser metálico para resistir la presión del agua. Otra opción es el uso de estanques de PVC especialmente fabricados para este efecto. Otro tipo de estanques de PVC revientan con el exceso de presión. Buenos resultados se han logrado utilizando balones de gas licuado (Figura N°24) o trozos de tubería de PVC de 110 mm de diámetro (Figura N°25).

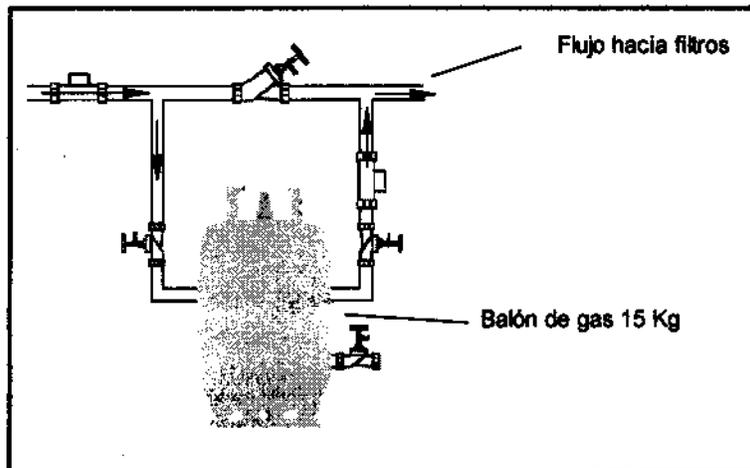


Figura N°24. Inyectores de balón de gas

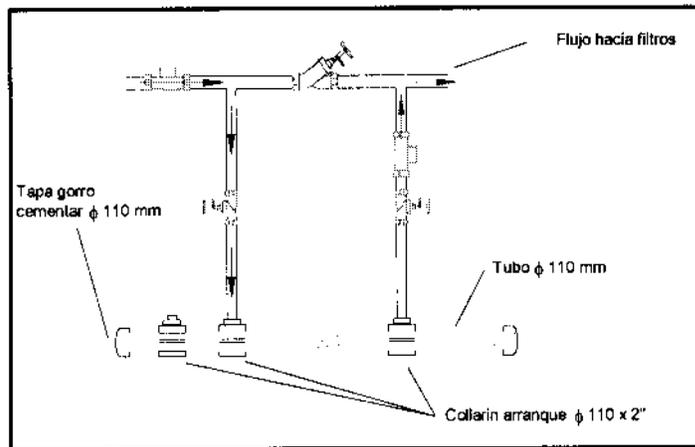


Figura N°25. Inyectores de tubos de PVC

En el caso de utilizar balones de gas, la válvula actúa como tapa y es por ese lugar donde se introduce el fertilizante al estanque. En tubos de PVC, se debe instalar un collarín del diámetro del tubo en un extremo del mismo con una tapa tornillo (hilo interno) para introducir el fertilizante. Esta alternativa económica puede ser utilizada en pequeñas unidades de riego.

Al utilizar balones de gas, estos se oxidan en su pared interna, por lo tanto, hay arrastre de impurezas junto al fertilizante. Para evitar sobrecargar el sistema de filtros, es conveniente instalar un pequeño filtro de malla a la salida del estanque.

6.5 Inyección por succión positiva

Este tipo de inyector es el más fácil de implementar y consiste en conectar el estanque abonador al tubo de succión del equipo de bombeo. En el chupador de la bomba se produce presión negativa o succión, por lo tanto es un buen punto para inyectar solución madre al sistema de riego. La Figura N°26 muestra el esquema de instalación.

Este método presenta la dificultad de corrosión prematura de toda pieza metálica en el cabezal debido a la acción de ácidos y fertilizantes que en este lugar se encuentran muy concentrados.

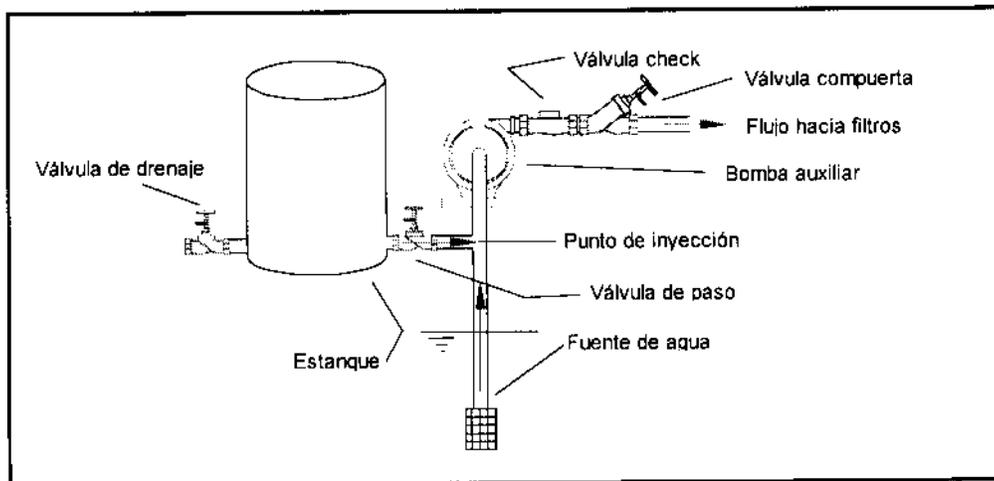


Figura 26. Esquema de instalación al chupador de la bomba

Entre el estanque abonador y el punto de inyección se debe instalar una válvula de paso, preferentemente del tipo bola ya que es fácil de abrir y cerrar para iniciar o detener el proceso de inyección. Especial cuidado se debe tener en la operación del sistema para evitar la entrada de aire a la bomba, cuando el estanque haya quedado casi vacío. Se recomienda disponer de una fuente de agua (llave o manguera) y verter agua en el estanque cuando se haya inyectado el 90% de la solución madre. Esta práctica permitirá disponer de todo el fertilizante disuelto en la preparación inicial ya que el estanque debe poseer un volumen muerto para la acumulación de residuos e impurezas.

La salida de la solución madre debe quedar dos centímetros sobre el fondo para evitar la succión de impurezas. El volumen muerto se debe drenar en forma regular utilizando la válvula de fondo o drenaje.

7. CALCULO Y CALIBRACION DE INYECTORES

7.1 Cálculo de inyectores

Para dimensionar correctamente el inyector se debe calcular la tasa de inyección.

Para realizar esta operación se sugiere seguir los siguientes pasos:

- Determinar el área de riego. Si el sistema trabaja con más de una sub-unidad, se recomienda trabajar con aquella de mayor superficie
- Calcular la necesidad de agua del cultivo (MM)
- Calcular el tiempo de riego. Este valor cambia debido a la variación estacional del clima y del período fenológico del cultivo. Se recomienda no utilizar valores de Evaporación de Bandeja de verano ya que esto induce a sub-dimensionar el inyector. Es conveniente utilizar valores correspondientes a mediados de primavera.
- Determinar las necesidades nutricionales del cultivo
- Seleccionar los productos a emplear en el programa y calcular la cantidad de los diferentes fertilizantes a utilizar.
- Con la información de la solubilidad de los diferentes productos, determinar el volumen de agua necesario para preparar la solución madre. El volumen de agua debe ser aquel que disuelve todo el fertilizante. Si se trabaja con varios tipos de productos, seleccionar aquellos de menor solubilidad.
- Estimar el tiempo de inyección que es menor al tiempo de riego. La inyección debe comenzar cuando se ha estabilizado el flujo en el sistema, eso indica que todas las tuberías están llenas de agua. El fin de la inyección debe ser varios minutos antes del término del riego para lograr una buena distribución del producto y dar la posibilidad de no dejar fertilizante dentro del sistema. Se recomienda seguir el método de los "cinco dedos" para determinar el tiempo de inyección. Cada dedo representa 115 del tiempo de riego. Dejar 115 para el llenado y estabilización del flujo, 215 para la aplicación del fertilizante, y 215 para el lavado del sistema.
- Calcular la tasa de inyección dividiendo el volumen de solución madre por el tiempo de inyección (215 del tiempo de riego). Para calcular inyectores que apliquen mejoradores de agua como ácidos, se debe utilizar todo el tiempo de riego para el cálculo.

7.2 Calibración de los inyectores

La fertirrigación requiere de una cuidadosa calibración del equipo. Los fabricantes de los diferentes componentes proporcionan, por medio de catálogos, información muy útil para el manejo del sistema. Esta información debe ser cuidadosamente guardada y estar fácilmente disponible para ser consultada cada vez que surjan

dudas o se requiera elaborar en programa de fertilización y/o aplicación de productos químicos que ayuden a mantener el buen funcionamiento de los equipos.

Los planos del sistema de riego que incluya todas las modificaciones efectuadas es otra información relevante para estructurar un programa de manejo del sistema de fertirrigación.

Aunque la información que proporcionan los fabricantes de las diferentes piezas es valiosa, el comportamiento de ellas depende mucho de las condiciones propias de cada sistema, por lo tanto, se debe hacer un chequeo y calibración en forma periódica.

El objetivo de la calibración es ajustar la tasa de inyección del equipo a la tasa de inyección deseada. La tasa de inyección se determina midiendo el volumen de solución inyectada durante un determinado tiempo.

La forma más fácil de hacerlo es trabajar con un volumen de agua conocido. El volumen dependerá del tipo de inyector a utilizar. Para inyectores tipo Venturi o bombas inyectoras auxiliares de membrana se recomienda trabajar con un volumen entre 10 a 15 litros. Inyectores de succión positiva o bombas centrífugas pueden requerir de volúmenes de control del orden de 100 a 200 litros.

Para determinar el caudal de succión, se debe tomar el tiempo que se demora en inyectar todo el volumen control. La tasa de inyección se obtiene dividiendo el volumen control por el tiempo. Es aconsejable trabajar con unidades de tiempo en minutos y unidades de volumen en litros para facilitar los cálculos y la fácil comprensión de lo que está sucediendo.

Ejercicio : Un estanque de 500 litros de agua se demora en vaciar 23 minutos, 27 segundos. ¿Cuál es la tasa de inyección del inyector?

Solución : $T = 23(\text{min}), 27(\text{s})$

$$T = 23(\text{min}) * 60\left(\frac{\text{s}}{\text{min}}\right) + 27(\text{s})$$

$$T = 1.407(\text{s})$$

$$T = \frac{1.407(\text{s})}{60 (\text{s} / \text{min})} = 23,45 (\text{min})$$

$$Q_i = \frac{500(\text{lt})}{23,45(\text{min})} = 21,32 \left(\frac{\text{lt}}{\text{min}} \right)$$

Respuesta : La tasa de inyección es 21,32 litros/minuto.

En bombas centrífugas con válvulas de control de flujo es conveniente hacer esta prueba varias veces con diferentes caudales. Para ello se debe:

- Cerrar completamente la válvula.
- Hacer una marca en la manilla.
- Girar una o dos vueltas la manilla.
- Hacer la prueba de calibración:
 - Medir volumen de agua en tambor
 - Medir el tiempo que demora en la inyección
- Obtener 3 mediciones de cada punto.
- Repetir el procedimiento abriendo una o dos vueltas la válvula hasta que la válvula este completamente abierta.

Con la información obtenida se puede generar una curva de calibración tal como lo indica la Figura N°27. Esta curva será de mucha utilidad para el manejo de diferentes fertilizantes o productos químicos que requieren diferentes volúmenes, tiempos o caudales de inyección. Esta misma prueba se debe realizar en inyectoros tipo Venturi y de succión positiva.

Inyectoros de estanque presurizado, no hay forma de calibrarlos ya que la tasa de inyección esta determinada por el flujo que pasa a través del estanque y de la velocidad con que se disuelve el fertilizante dentro del estanque, del volumen del estanque y de la constante de difusión del producto.

El proceso de calibración es sólo una primera etapa para lograr el buen manejo del sistema. La etapa que viene a continuación es un chequeo permanente del funcionamiento ya que es posible la descalibración del sistema. Basta que un extraño gire una válvula un par de vueltas par crear condiciones diferentes a las deseadas.

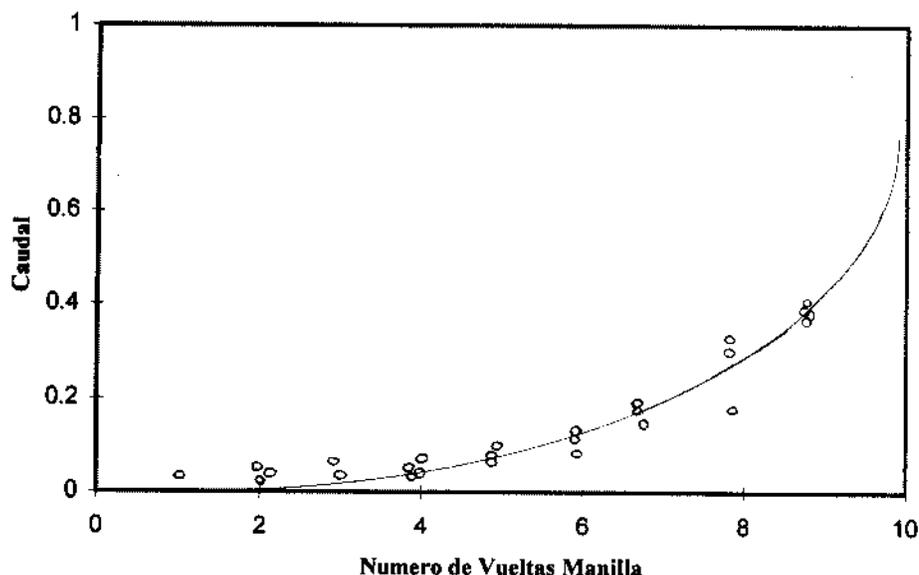


Figura N° 27. Curva de calibración de un inyector

8. LIMPIEZA Y MANTENCION DEL SISTEMA

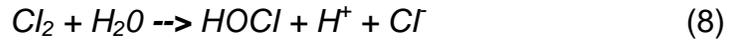
8.1 Hipoclorito

La formulación más común de cloro utilizada en la limpieza y mantención de sistema de riego es el hipoclorito de sodio, que corresponde al mismo producto utilizado para blanquear la ropa. El hipoclorito de calcio es otra formulación utilizada ampliamente como fuente de cloro que es un producto granulado o polvo. En algunos países también se utiliza cloro en forma de gas, pero no aquí en Chile.

El ion Cloro tiene diversas propiedades químicas dependiendo de su concentración. A baja concentración (1-5 ppm) actúa como un bactericida o un agente oxidante del ion Fe^{+3} . A muy alta concentración (100-1000 ppm) actúa como agente oxidante de la materia orgánica.

Cuando el cloruro es inyectado al agua de riego, el cloro puede tomar la forma de dos moléculas diferentes: ácido hipocloroso (HOCl) e hipoclorito (OCl⁻). El ácido hipocloroso es 40 a 80 veces más poderoso como biocida que el hipoclorito.

El contenido relativo de HOCl versus OCl⁻ varía con el pH del agua según la siguiente reacción química:



El contenido relativo de ácido hipocloroso en función del pH del agua aparece indicado en la Figura N° 28. De acuerdo a dicho gráfico, cuando el pH es del orden de 6.5, todo el Cloro se encuentra en la forma de HOCl, por lo tanto para un tratamiento efectivo en el control de algas y bacterias, el pH del agua debe ser 6.5.

Lo ideal es acidificar ligeramente el agua de riego y luego aplicar el hipoclorito de sodio. No hay que olvidar que nunca se debe mezclar un ácido con hipoclorito debido a la liberación de gases tóxicos. Se deben preparar las soluciones madres en baldes diferentes, primero inyectar el ácido y luego el hipoclorito.

Soluciones de hipoclorito de sodio (5-15%) tienden a deteriorarse con el tiempo. Durante un almacenaje de 6 meses, el producto pierde entre 20 y 50% de su efectividad. Se recomienda guardarlo en bodegas oscuras para evitar descomposición por luz.

Cuando se utiliza hipoclorito de sodio para la mantención del sistema de riego, se puede utilizar la siguiente fórmula para determinar la tasa de inyección de producto de acuerdo al caudal del sistema de riego.

$$Ti = \frac{0.36 * Cl_{libre} * Q}{\%OCl} \quad (10)$$

Donde:

- Ti = Tasa de inyección de la solución de hipoclorito de sodio (lt/hora)
- Cl_{libre} = Concentración de cloro libre que se desea lograr en las laterales de riego (ppm)
- Q = Caudal de la bomba (lt/s)
- % OCl = Concentración del ingrediente activo del producto (%).

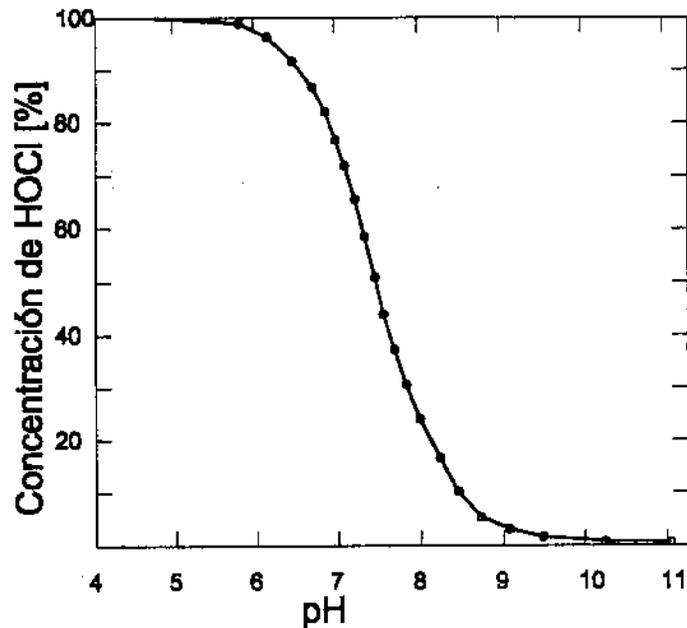


Figura N° 28. Contenido relativo de HOCl (%) en función del pH de la solución

Ejemplo: Se trabaja en un sistema de riego por goteo de 10 hectáreas dividido en tres subsectores de riego de 3.33 hectáreas cada uno. El caudal de la bomba es 12.33 lt/s. Se desea aplicar Clorox como fuente de hipoclorito. La concentración del ingrediente activo en Clorox es 5%. La concentración del cloro libre a nivel de laterales de riego es 5 ppm. Calcular la tasa de inyección de Clorox al sistema de riego.

Solución: Se reemplaza directamente los valores del ejemplo en la Ecuación (10).

$$Ti = \frac{0.36 * 5 * 12.33}{5}$$

Respuesta: La tasa o velocidad de aplicación de hipoclorito de sodio de acuerdo a las condiciones del ejemplo es 4.44 lt/h por cada sub-sector de riego.

Precauciones :

- Cuando se acidifica el agua de riego en forma simultánea a la aplicación de cloro, utilizar dos inyectores por separado. Nunca utilizar un solo estanque para preparar la mezcla ya que existe riesgo de intoxicación del operador por la liberación de vapores venenosos.
- Aplicaciones de hipoclorito de sodio junto a herbicidas o pesticidas podría reducir la efectividad de estos, debido a que el cloro ataca las moléculas orgánicas que los conforman.
- Siempre adicionar el hipoclorito de sodio al agua, nunca al revés.
- Soluciones de hipoclorito de sodio (5-15%) tienden a deteriorarse con el tiempo. Durante almacenaje de 6 meses, el producto pierde entre 20 y 50% de su efectividad. Se recomienda guardarlo en bodegas oscuras para evitar descomposición por luz.

8.2 Acidos

De acuerdo a lo señalado en el punto anterior, las aplicaciones de ácido mejoran notablemente la efectividad de la aplicación de hipoclorito, ya que a pH bajos se promueve la formación de ácido hipocloroso (HOCl). Los ácidos también poseen características biocidas y a veces una aplicación de ácido puede ser suficiente como para controlar pequeñas colonias de bacterias.

Los ácidos más utilizados son:

- Acido fosfórico
- Acido sulfúrico
- Acido nítrico

Especial cuidado debe considerarse en la aplicación de ácido fosfórico debido a la posible precipitación del sulfato de calcio. En general, si el agua posee mas de 50 ppm de calcio, no debe utilizarse ácido fosfórico para bajar el pH.

Un muy bajo pH en el agua de riego contribuye al deterioro de los componentes metálicos del sistema de riego. El proceso de corrosión se acelera notablemente cuando el pH es menor a 5.5. En lo posible utilizar materiales especiales como PVC, polietileno y otros polímeros resistentes a la corrosión en el sistema inyector de fertilizante, estanque, etc. Se debe programar con anticipación el reemplazo de aquellas piezas metálicas afectadas por la acción de los ácidos.

La cantidad de ácido requerido para bajar el pH sólo puede ser determinado a través de pruebas de titulación utilizando muestra de agua provenientes de la misma fuente del agua de riego. Una curva de titulación (la relación entre el pH del agua y la cantidad de ácido aplicado) es única para cada muestra de agua y tipo de ácido utilizado. Una curva de titulación aparece en la Figura N°29.

Un agricultor que desee la curva de titulación para sus condiciones particulares, debe enviar una muestra de agua (2 litros es suficiente) y del ácido que está utilizando (10-50 cc) a un laboratorio químico. No se recomienda hacer esta prueba en el campo ya que el error que se puede cometer en el procedimiento puede ser tan grande que la información obtenida no representará las condiciones reales. El agricultor si puede chequear el pH del agua a nivel de laterales de riego obteniendo una muestra de agua y midiendo el pH con un instrumento de bolsillo (Figura N°30) o con papel indicador. El uso de papel indicador no es tan exacto como el instrumento electrónico y pierde sus cualidades con el tiempo.

En general, la adición de 1 miiiequivalente (meq) de cualquier ácido a 1 litro de agua, bajará el pH en 1,5 unidades. El volumen de ácido correspondiente a 1 miiiequivalente depende de las propiedades físicas y químicas de cada ácido. La Tabla N°10 proporciona información respecto a las características de cuatro ácidos de uso común.

Tabla N°10
Característica de cuatro ácidos.

Acido	Fórmula	Peso molecular (g)	Peso equivalente (g)	Densidad (g/cm3)	Concentración (%)
Clorhídrico	HCl	36.48	36.48	1.18	36
Fosfórico	H ₃ PO ₄	98.04	32.68	1.71	85
Nítrico	HNO ₃	63.02	63.02	1.4	65
Sulfúrico	H ₂ SO ₄	98.08	49.04	1.84	95

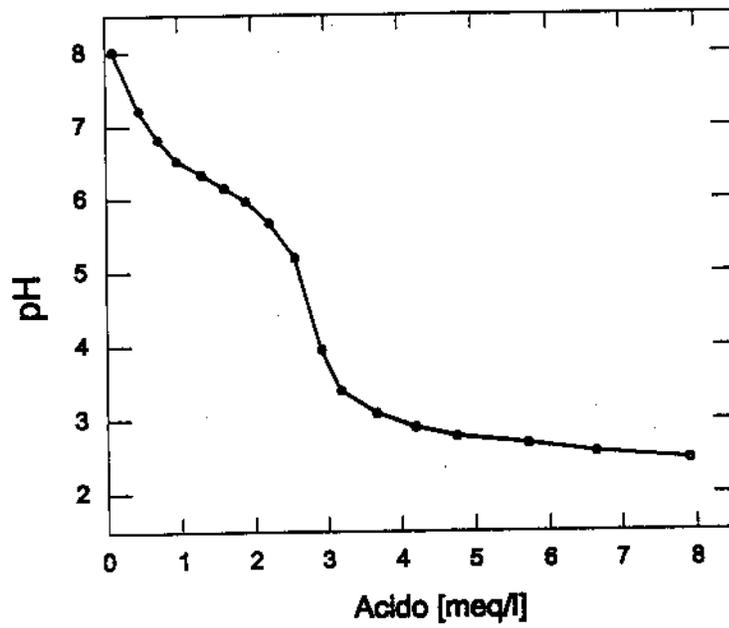


Figura N°29. Curva de titulación de un agua de riego

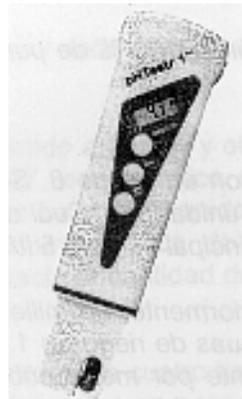


Figura N°30. Medidor de pH portátil

En general, los ácidos se comercializan en unidades de peso y no de volumen como la mayoría de los productos líquidos. La Ecuación N°11 permite calcular el volumen de ácido a partir de un determinado peso.

$$V_{ac} = \frac{W_{ac}}{\delta * \frac{C_c}{100}} \quad (11)$$

Donde:

V_{ac} = Volumen de ácido (cm³)

W_{ac} = Peso de ácido (g)

δ = Densidad del ácido (g/cm³)

C_c = Concentración del ácido en base a peso (%)

Ejercicio : Calcular el volumen de 300 gr de ácido sulfúrico empleando la información de la Tabla N°10 y, la Ecuación N°11.

Solución : Utilizando los valores de densidad y concentración del ácido sulfúrico en la Ecuación N° 11, se obtiene:

$$V_{ac} = \frac{300(g)}{1.84 \left(\frac{g}{cm^3} \right) * \frac{95}{100}}$$

$$V_{ac} = 171.6(cm^3)$$

Respuesta: 300 g de ácido sulfúrico 100 % de pureza equivale a un volumen de 171.6 cm³.

Ejercicio: Se dispone de agua con un pH de 8. Se desea aplicar ácido fosfórico para bajar el pH en 1.5 unidades. ¿Cuál debe ser el caudal de la bomba inyectora si el caudal principal es de 8,5 lt/s?

Solución: Como ya se dijo anteriormente, un miliequivalente de ácido baja el pH de la mayoría de las aguas de riego en 1.5 unidades cuando el volumen es 1 litro, o 1 equivalente por metro cúbico de agua (la relación es la misma). La cantidad de ácido expresado en equivalentes (unidad de medida que refleja el poder químico) es igual para cualquier tipo de ácido.

1 equivalente de ácido fosfórico pesa 32.68 g y esa es la cantidad que se debe adicionar a 1 metro cúbico de agua de riego para bajar su pH en 1.5 unidades. Como el producto se comercializa en forma líquida, la unidad de medida volumétrica es la más conveniente, por lo tanto se deben hacer algunas transformaciones.

Reemplazando los valores correspondientes en la Ecuación N°11, se tiene:

$$V_{ac} = \frac{32.68(g)}{1.71\left(\frac{g}{cm^3}\right) * \frac{85}{100}} = 22.48(cm^3)$$

$$V_{ac} = 22.48(cm^3)$$

Se debe aplicar 22.48 cm³ de ácido fosfórico en 1 m³ de agua para bajar su pH de 8 a 6.5. El caudal de la bomba es 8.5 lt/s o 30.6 m³/h. Si la cantidad de ácido fosfórico a adicionar por m³ de agua es 22.48 cm, el caudal del inyector (Q_i) debe ser:

$$Q_i = 22.48(cm^3) * 30.6\left(\frac{m^3}{hora}\right)$$

$$Q_i = 687\left(\frac{cm^3}{hora}\right)$$

Respuesta : El caudal del inyector debe ser aproximadamente 0.7 litros/hora

La relación entre cantidad de ácido a aplicar y el pH final del agua no es lineal tal como lo indica la Figura N°27, eso significa que no necesariamente se debe emplear la mitad de ácido para bajar 0.75 unidades el pH del agua. Es por ese motivo que se debe efectuar una prueba de titulación en forma previa. Eso ayudará a calcular en forma exacta la cantidad de ácido a aplicar para lograr el pH final deseado.

La Tabla N°11 muestra el volumen de cuatro tipos de ácido (cm³) para diferentes unidades de concentración expresadas en peso equivalente. Esta información es muy útil cuando se conoce la curva de titulación y se desea estimar el volumen de ácido requerido para bajar el pH del agua de riego.

Tabla N°11. Volumen de ácido (cm³) por m³ de agua

Meq/litro o Eq/m ³	Acido (cm ³)			
	Clorhídrico	Fosfórico	Nítrico	Sulfúrico
0.1	8.6	2.2	6.9	2.8
0.2	17.2	4.5	13.9	5.6
0.3	25.8	6.7	20.8	8.4
0.4	34.4	9.0	27.7	11.2
0.5	42.9	11.2	34.6	14.0
0.6	51.5	13.5	41.6	16.8
0.7	60.1	15.7	48.5	19.6
0.8	68.7	18.0	55.4	22.4
0.9	77.3	20.2	62.3	25.2
1.0	85.9	22.5	69.3	28.1
1.5	128.8	33.7	103.9	42.1
2.0	171.8	45.0	138.5	56.1
3.0	257.6	67.5	207.8	84.2
4.0	343.5	89.9	277.0	112.2
5.0	429.4	112.4	346.3	140.3

[meq] = miliequivalente

[Eq] = equivalente

Ejercicio: Se dispone de agua con un pH de 8 y se desea bajarlo a 7. La curva de titulación indica que se debe aplicar 0.6 meq/litro de ácido por metro cúbico de agua para lograr este propósito. ¿Cuál debe ser el caudal del inyector si el caudal del sistema es 8,5 lt/s?

Solución: La Tabla N°11 indica que 0.6 meq/litro equivale a 51.5, 13.5, 41.6 y 16.8 cm³ por metro cúbico de agua de ácido clorhídrico, fosfórico, nítrico y sulfúrico respectivamente.

Al multiplicar el volumen de ácido (cm³) por el caudal de la bomba se obtiene el caudal del inyector. Los resultados aparecen en la Tabla N°12.

Tabla N°12. Caudal bomba inyectora (litros/hora)

Acido	Volumen ácido (cm ³)	Caudal inyector (litros/hora)
Clorhídrico	51.50	1.58
Fosfórico	13.50	0.41
Nítrico	41.60	1.27
Sulfúrico	16.80	0.51

Respuesta : El caudal del inyector varía de acuerdo al tipo de ácido a utilizar. El rango va desde 0.4 a 1.6 litros/hora (ácidos fosfórico y clorhídrico respectivamente).

8.3 Sulfato de Cobre

Este producto se utiliza en el control de algas. No se inyecta al sistema de riego ya que el hipoclorito es más efectivo, pero si se utiliza en el control de colonias de algas (lama) en estanques de acumulación intrapredial. Aplicaciones del producto en concentración de 30 ppm han resultado medianamente eficaces en el control de algas. Aplicaciones a concentraciones mayores no mejoran el resultado de la aplicación ya que existen especies de algas cuyas esporas tienen la capacidad de excluir el sulfato de cobre.

La aplicación del producto se puede efectuar en cualquier momento, pero es recomendable hacerlo cuando el tranque está parcialmente lleno para reducir la cantidad de producto a utilizar manteniendo la concentración deseada.

Para calcular la cantidad de producto a utilizar se puede recurrir a la siguiente ecuación:

$$C_p = \frac{V_{t_{actual}} * [CuSO_4]_{deseada}}{10 * [CuSO_4]_{producto}} \quad (12)$$

Donde

C_p = Cantidad de producto comercial a aplicar (kg)

$V_{t_{actual}}$ = Volumen de agua en el tranque al momento de hacer la aplicación

(m³)

$[CuSO_4]_{deseada}$ = Concentración de la solución en el tranque (Ppm)

$[CuSO_4]_{producto}$ = Concentración del ingrediente activo del producto (%), (generalmente 25%).

Una vez aplicado el producto, dejar reposar el agua por 12 horas. Lo ideal es aplicar el producto durante la noche cuando el sistema de riego está detenido. El tratamiento se debe repetir varias veces en la temporada dependiendo de la cantidad de algas presentes. Se debe recordar que la población de algas en un estanque se renueva constantemente cada vez que este se llena.

Ejercicio : Se dispone de un estanque de 500 . Al momento de hacer a aplicación, el estanque se encuentra a medio llenar La pureza del producto a utilizar es del 25%. Calcular cuánto producto comercial se debe aplicar para efectuar un tratamiento contra algas en ese momento.

Solución: 1 ppm equivale a un gramo de producto por m3 de agua. Si el estanque esta a medio llenar, el agua almacenada en ese momento es 250 m3. Si se desea una concentración de 30 ppm de la solución en el estanque y aplicando la Ecuación N° 12, se tiene:

$$Cp = \frac{250*30}{10*25} = 30$$

Respuesta : Se debe aplicar 30 kg de sulfato de cobre. Si el tranque hubiese tenido el 10% de su capacidad al momento de la aplicación, la cantidad requerida de producto bajaría a 6 Kg.

Para mejorar la efectividad del producto, disolver el producto a razón de 5 litros de agua por kilo de sulfato en un balde o tambor. Luego verter la solución concentrada en forma uniforme en todo el tranque. Evitar la aplicación puntual ya que se requeriría mayor tiempo de reposo para lograr el mismo efecto.

9. COSTOS DE UN SISTEMA DE FERTIRRIGACION

Existen varias opciones para establecer un sistema de fertirrigación. Los más sencillos son fáciles y baratos de implementar mientras que aquellos sistemas automatizados pueden resultar de alto costo.

Cuando se trabaja con unidades de gran tamaño y/o el valor potencial de la producción es alto, se recomienda trabajar con sistemas de mayor sofisticación ya que permiten un adecuado manejo de los fertilizantes y otros compuestos como ácidos e hipoclorito. El ahorro que se produce por un adecuado manejo del sistema de fertirrigación, ya sea en producto o mano de obra, ayuda a solventar los costos de un sistema de mayor complejidad.

El sistema más barato de implementar es el que inyecta fertilizante a la tubería de succión de la bomba. Sólo basta unos cuantos fittings como collarines, válvulas y manguera cuyo valor total no supera los \$30.000. Esta alternativa implica un cuidadoso programa de mantención de la bomba ya que sufrirá por la corrosión que producen los diferentes productos.

Sigue en orden de costos, el inyector de estanque presurizado. Aquí el fertilizante no pasa por la bomba lo que prolonga su vida útil. El problema que presenta este método es su baja eficiencia ya que no todo el fertilizante es inyectado cuando los tiempos de inyección son menores a dos horas. El costo de este sistema es aproximadamente de \$30.000 a 50.000.-

En este mismo rango de precios se encuentra el inyector tipo Venturi. Cuando están calculados y dimensionados correctamente, estos sistemas funcionan bien. Pueden presentar problemas de funcionamiento si la pérdida de presión que produce el sistema es muy grande.

El uso de bombas inyectoras auxiliares es de mayor costo ya que cada unidad vale entre \$100.000 y \$300.000. La ventaja de este sistema es el manejo muy riguroso y controlado de todo el proceso de fertirrigación.

La automatización de todo el sistema implica costos superiores a \$800.000 y puede llegar a \$2.000.000. Esto implica el uso de un computador, diferentes válvulas eléctricas y sensores para pH, presión y caudal. El computador ajusta automáticamente la tasa de inyección de acuerdo a las necesidades previamente programadas.

10. NORMAS DE SEGURIDAD

La seguridad es un aspecto importante en la fertirrigación ya que en muchas ocasiones se trabaja con compuestos muy corrosivos como ácidos fuertes, y/o que desprenden vapores dañinos para la salud. En general se debe tener mucha precaución en la manipulación de estos compuestos.

Algunas recomendaciones que se debe tener en cuenta son:

- Instalar una válvula check (válvula que impida el retroceso del agua) en el inyector del fertilizante y en la tubería matriz, así el agua tratada para fertirrigación no tiene posibilidad de contaminar la fuente de agua.
- El sistema de inyección debe detenerse automáticamente frente a cualquier falla en el sistema de bombeo o problemas con el suministro de agua.
- Instalar letreros que indiquen la prohibición de beber agua de riego. Esto implica establecer puntos con agua potable de fácil acceso al personal que labora en el predio.
- El personal encargado del riego debe vestir cotona u overol, zapatos de seguridad y antiparras.
- En el caso de disponer estanques de gran volumen para preparar la solución madre, se debe construir una tarima apropiada para que el operador pueda verter con facilidad el fertilizante dentro del estanque. También se debe instalar un agitador mecánico para evitar un exceso de esfuerzo físico al agitar la mezcla.
- Los materiales, ya sea fertilizantes como otros productos químicos deben guardarse en un lugar contiguo al centro de control, bajo llave y debe haber letreros de advertencia que indiquen el almacenamiento de compuestos químicos tóxicos.
- El volumen muerto que queda en los estanques de fertilización no debe ser vertido en corrientes de agua naturales o canales de riego. Es recomendable aplicar este residuo líquido a algún árbol o cerco vivo cercano.
- No ocupar los envases vacíos en el almacenamiento de agua o víveres. Es recomendable perforar dichos contenedores para inutilizarlos y luego depositarlos en un lugar seguro.

11. LITERATURA CONSULTADA

American society for Agricultural Engineers. 1984 ASAE Engineering Practice: ASAE EP409. Safety devices for applying liquid chemicals through irrigation systems. Agricultural Engineers Yearbook of Standards, American Society of Agricultural Engineers. 2950 Niles Road, St. Joseph, Mi 49085-9659

Amoros C. M. 1993. Riego por goteo en cítricos. 1993. 20 Edición. Editorial MundiPrensa. Madrid. España. 142 pp.

Becker, W. J. y T. A. Wood . 1993. Safety Devices for Chemigation: ASAE Engineering Practice EP409. IDocument AE-229. ASAE Standards ASAE, 2950 Niles Road, St. Joseph, Mi 49085-9659

.Burt, C.M. y S.W. Styies. 1994. Drip and microirrigation for trees, vines, and row crops. Irrigation Training and Research center. California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California.

Burt, C.M., K. O'Connor, y T. Ruehr. 1995. Fertigation. Irrigation Training and Research center. California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California.

Cahadia L.C. 1998. Fertirrigación, cultivos hortícolas y ornamentales. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España. 475 pp.

Cuenca, R.1989. Irrigation system design, an engineering approach. Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Domínguez, V.A. 1996. Fertirrigación. 20 Edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España. 233 pp.

Fischbach, P. E. 1982. Applying chemical through irrigation systems: safety and environmental considerations. In: Young, J.R. and D.R. Sumner (eds.), Proceedings 2nd National Symposium on Chemigation, Tifton, GA. August.

Granberry, D. M., Harrison K. A., Kelley W. T. 1996. Drip Chemigation: Injecting Fertilizer, Acid and Chlorine. Boletín 1130. Cooperative Extension Service. College of Agricultural & Environmental Sciences. The University of Georgia

Moya, T. J. A. 1998. Riego localizado y fertirrigación. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España. 392 pp.

Nakayama, F.S. y D.A. Bucks, 1986. Trickle irrigation for crop production. Ed. Elsevier.

Vermeiren, L., G.A. Jobling. 1984. Localized irrigation. Design, installation, operation and evaluation. FAO Irrigation and Drainage paper N°36.

Wright, J., F. Bergsrud, G. Rehm, C. Rosen, G. Maizer y B. Montgomery, 1993. Nitrogen Application with Irrigation Water-Chemigation. Boletín FO-6118-GO. College of Agricultural, Food, and Environmental Sciences. University of Minnesota Extension Service. University of Minnesota.

Wright, J., F. Bergsrud y J. Peckham, 1993. Chemigation Safety Measurers. Bulletin FO-6122-GO. College of Agricultural, Food, and Environmental Sciences. University of Minnesota Extension Service. University of Minnesota.

ANEXO 1. EJERCICIO PRACTICO

Descripción del problema. Una parcela de 2,0 ha se encuentra cultivada con pimentón (0,3 ha), tomate (1,0 ha) y melón (0,7 ha).

El sistema de riego es por cinta con emisores espaciados a 0,3 m. La presión de funcionamiento del sistema es 0,7 bar (7 m.c.a.) en las laterales de riego. La descarga del emisor a esa presión es de 1,14 lt/hora.

El sistema de inyección del fertilizante es un tubo Venturi de 3/4" modelo 584 (MAZZE INYECTOR CORP). La presión de entrada al sistema es 30 psi (21,1 m.c.a) y la de salida 20 psi (14,0 m.c.a).

Para esa diferencia de presión, el flujo que circula por el Venturi es de 4,8 GPH (18,16 lt/min o 0.302 ltls). La capacidad de succión del inyector es 9 (GPH) = 34 litros/hora.

El estado vegetativo de las plantas para la semana en la cual se realizará el cálculo, así como la necesidad de nitrógeno y potasio aparece en la tabla

siguiente:

Tabla A.I.1
Estado fonológico y requerimiento nutricional

Especie	Estado Fenológico	Demanda (Unidades/ha/día)	
		N	K ₂ O
Tomate	3° racimo	1.7	1.7
Melón	floración	2.2	2.2
Pimentón	pre-cosecha	2.2	2.2

El número de sub-sectores de riego aparece indicado en la Tabla A.I.2

Tabla A.I.2
Numero de sub-sectores de riego

Especie	Sub-sectores de riego
Tomate	4
Melón	1
Pimentón	1

Las distancias de plantación entre hileras son las, siguientes:

Tomate	2	hileras por platabanda, ancho platabanda 1,4 m
	2	hileras de cinta platabanda
Melón	1	hilera cada 0,7 metros
	1	hilera de cinta por hilera de planta
Pimentón	1	hilera cada 0,8 metros
	1	hilera de cinta por hilera de planta

La evaporación de bandeja para la semana en estudio es en promedio 5,0 mm/día.

El estanque para preparar el fertilizante es un balde de 20 litros.

Pregunta: Establecer un programa diario de fertilización utilizando fertirrigación para el predio en estudio válido para 1 semana.

Nota: La evaporación de bandeja y el estado fonológico del cultivo cambian, por lo tanto, será necesario establecer un nuevo plan de fertilización para la semana siguiente.

Solución:

1. Estimación del requerimiento de agua de los cultivos

Se asume que el cultivo posee un coeficiente de cultivo K_c de 1,0 en promedio y un coeficiente de sombreado $K_s = 1,0$. También se asume que el coeficiente de bandeja (K_p) es 0,75.

El cálculo de ET_c (Evapotranspiración del cultivo) y de la altura de agua a aplicar se hace utilizando las Ecuaciones (2) y (3) respectivamente.

$$ET_c = EB * K_p * K_s * K_c \quad (2)$$

$$ET_c = 5 \left(\frac{mm}{dia} \right) * 0.75 * 1.00 * 1.0$$

$$ET_c = 3.75 \left(\frac{mm}{dia} \right)$$

La eficiencia del sistema de riego es 90% y no hay requerimiento para el lavado de sales.

$$Ha = \left(\frac{ETc}{\text{Eficiencia}} \right) \quad (3)$$

$$Ha = \left(\frac{3.75 \left(\frac{mm}{dia} \right)}{\frac{90}{100}} \right)$$

$$Ha = 4.17 \left(\frac{mm}{dia} \right)$$

2. Cálculo de la intensidad de precipitación de cada sub-unidad de riego.

2.1 Cálculo de la descarga de la cinta por metro lineal (Q_{li})

S_e = Separación entre emisores (0,3 m)

Q_e = Descarga del emisor (1.14 L/hora)

La descarga de la cinta por metro lineal Q_{li} es:

$$Q_{li} = \left(\frac{1}{S_e} \right) * Q_e \quad (9)$$

$$Q_{li} = \left(\frac{1}{0.3} \right) * 1.14 \left(\frac{l}{h} \right)$$

$$Q_{li} = 3.8 \left(\frac{l}{h * m} \right)$$

2.2 Cálculo de la longitud de cinta por ha (L_c) e intensidad de precipitación o descarga (I_{pp})

$$L_c = \left(\frac{100}{S_l} \right) * N_{sh} * 100 \quad (10)$$

$$I_{pp} \left(\frac{mm}{h} \right) = \frac{L_c(m) * Q_{li} \left(\frac{l}{h} \right)}{10000} \quad (11)$$

Donde:

L_c = Longitud total de cinta por hectárea (m)

S_l = Separación entre hileras o platabandas (m)

N_{sh} = Número de cintas por hileras o platabandas

L_{pp} = Intensidad de precipitación (mm/h)

Los resultados del cálculo de la longitud de cinta por hectárea y la intensidad de precipitación esta en la Tabla A.1.3.

TABLA A.1.3

Resultados de cálculo

Longitud de cinta por hectárea (L_c) e Intensidad de precipitación (I_{pp})

Especie	S_l (m)	N_{sh}	L_c (m/ha)	Q_{li} (l/h)	I_{pp} (mm/h)
Tomate	1.5	2	13333	3.8	5.07
Melón	1.7	1	5882	3.8	2.24
Pimentón	0.8	1	12500	3.8	4.75

3. Cálculo de tiempos de riego (T_r).

El cálculo del tiempo de riego (minutos) se obtiene dividiendo la altura de agua a aplicar (Ha) por la intensidad de precipitación (I_{pp}) y multiplicando por 60 para dejar las unidades de tiempo en minutos. Es necesario que las unidades de tiempo sean minutos ya que esa es la resolución de trabajo de muchos programadores de riego electrónicos.

$$Tr(min) = \frac{Ha}{I_{pp}} * 60 \quad (12)$$

TABLA A.1.4
Resultados de cálculo Tiempo de riego (Tr)

Especie	ETc (mm/día)	I _{pp} (mm/h)	T _r (min)
Tomate	4.17	5.07	49
Melón	4.17	2.24	112
Pimentón	4.17	4.75	53

4. Cálculo de las necesidades de nutrientes de acuerdo al estado fonológico y a la superficie cultivada.

$$N_n = N_{ef} * S_c \quad (13)$$

Donde,

N_n = Necesidad de nutrientes (Unidades de N o K₂O)

N_{ef} = Necesidad de nutrientes según estado fisiológico (Unidades de N o K₂O por hectárea).

S_c = Superficie cultivada (ha)

TABLA A.I.5
Resultados de cálculo
Necesidades de nutrientes por superficie cultivada

Especie	Estado Fenológico	Demanda (Unidades/ha/día)		S _c (Ha)	N _n (Unidades/día)	
		N	K ₂ O		N	K ₂ O
Tomate	3° racimo	1.7	1.7	1.0	1.70	1.70
Melón	floración	2.2	2.2	0.7	1.54	1.54
Pimentón	pre- cosecha	2.2	2.2	0.3	0.66	0.66

5. Cálculo de las necesidades de fertilizante.

La fertilización básica se efectuará con nitrato de potasio (13-0-44) y urea (46-0-0). Se debe buscar la combinación ideal de ambos productos para obtener las dosis de N y K₂O que se desean aplicar. Para ello es necesario calcular la

cantidad de KNO_3 que satisface la demanda de potasa (K_2O). El KNO_3 también contiene nitrógeno en forma nítrica, por lo tanto se debe cuantificar ese aporte y luego complementar lo que falta con urea.

$$KNO_3(kg) = \frac{Nn(K_2O)}{0.44}$$

El aporte de nitrógeno del nitrato de potasio es el 13% del peso del fertilizante aplicado, por lo tanto:

$$N_{KNO_3} = KNO_3 * 0.13$$

Los aportes de N y K_2O del KNO_3 aparecen en la Tabla A.I.6

TABLA A.I.6
Aporte de N y K_2O utilizando como fuente de nutrientes el nitrato de potasio (13-0-44)

Especie	Nn (Unidades/día)		KNO_3 (kg)	Aporte del KNO_3 (kg)	
	N	K_2O		N	K_2O
Tomate	1.70	1.70	3.86	0.50	1.70
Melón	1.54	1.54	3.50	0.46	1.54
Pimentón	0.66	0.66	1.50	0.20	0.66

La cantidad de urea a aplicar es 2.27 veces la diferencia entre la necesidad de nitrógeno del cultivo y el aportado por el nitrato de potasio. El factor 2.27 corresponde al contenido de nitrógeno de la urea (44%) ($1/0.44=2.27$)

TABLA A.I.7
Aporte de N utilizando como fuente de nutrientes la urea (44-0-0)

Especie	Necesidad de N (kg)	Aporte N KNO_3 (kg)	Diferencia (kg)	Cont. N Urea (%)	urea (Kg)
Tomate	1.70	0.50	1.20	44	2.72
Melón	1.54	0.46	1.09	44	2.47
Pimentón	0.66	0.20	0.47	44	1.06

TABLA A.I.8**Necesidad de mezcla de fertilizantes para preparar la solución madre**

Especie	KNO ₃ (kg)	urea (kg)
Tomate	3.86	2.72
Melón	3.50	2.47
Pimentón	1.50	1.06

6. Cálculo de preparación de la solución madre.

La solubilidad del KNO₃ es el punto de partida para estimar el volumen de agua a utilizar en la preparación de la solución madre. La solubilidad del KNO₃ es de 133 gramos por litro, es decir, una relación de dilución 1:7.5. El cultivo del tomate utiliza para el programa de fertilización 3.86 kg de KNO₃, por lo tanto, se requiere 29 litros de agua para disolverlo completamente. La urea es de alta solubilidad y no presentará problemas de dilución en este volumen de agua. Como la solubilidad de las mezclas es mas baja que la de los productos en forma individual, se sugiere aumentar el volumen de agua en un 20%, así el volumen de la solución madre será finalmente de 35 litros.

En la preparación de la solución madre se recomienda mezclar las dos cantidades de fertilizantes requeridas en la mitad del volumen de agua a utilizar. Agitar vigorosamente y luego agregar agua hasta completar los 35 litros.

Como el balde o recipiente disponible es de 20 litros, este resulta insuficiente para preparar toda la solución madre. Se recomienda trabajar con uno de 35 litros o dos de 20.

7. Cálculo del tiempo de inyección.

El tiempo de inyección debe ser al menos 20 minutos inferior al tiempo de riego, para permitir un buen llenado de las cañerías y asegurar el buen funcionamiento del sistema (5 minutos). El término de la inyección debe ser unos 15 minutos antes del término del riego para permitir la aplicación de todo el fertilizante.

El tiempo de riego para tomates es 49 minutos, por lo tanto, el tiempo de inyección debe ser de 19 minutos. El caudal del inyector debe ser de 35 litros en 19 minutos, equivalente a 1.84 litros/minuto o 110.5 litros/hora

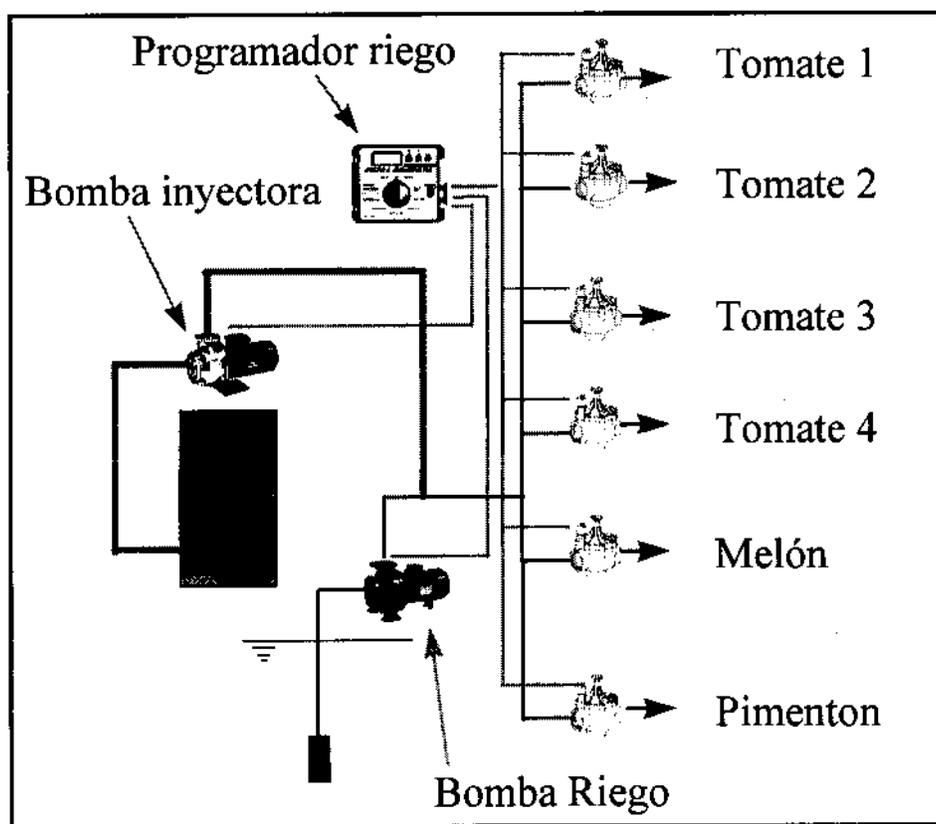


Figura N° 29. Esquema sistema automatizado

En sistemas automáticos, es importante conocer con exactitud las características de la bomba inyectora. Para este ejemplo, asumamos que el caudal del inyector es 20 litros/minuto. El inyector demorará 50 minutos en inyectar 1 000 litros.

Para preparar una solución madre de 1000 litros, se necesita mezclar 102.25 kg. de KNO_3 y 72.05 kg. de urea.

En 5 días de fertirrigación, hay 30 ciclos de inyección (5 veces seis ciclos por día). La Tabla A.I.10 muestra en detalle lo que ocurre.

TABLA A.I.10
Plan de fertirrigación para 5 días

Cultivo	Sub-sector Riego	KNO ₃ (kg)	Urea (Kg)	Total por día (Kg)	% del total
Tomate	1	3.86	2.72	6.59	3.78
Tomate	2	3.86	2.72	6.59	3.78
Tomate	3	3.86	2.72	6.59	3.78
Tomate	4	3.86	2.72	6.59	3.78
Melón	5	3.50	2.47	5.97	3.42
Pimentón	6	1.50	1.06	2.56	1.47
Total	6	20.45	14.41	34.87	20
Total en 5 días:				174.33	100

Al sub-sector 1 de tomate le corresponde el 3.78 % del total de fertilizante para 5 días. Como la relación entre cantidad y tiempo de inyección es proporcional, para inyectar esa cantidad de fertilizante se necesita el 3.78 % de 50 minutos, lo que corresponde a 1.89 minutos por día o 9.45 minutos cada 5 días. Lo aconsejable en este caso es redondear a 10 minutos en tomates, 9 minutos en melón y 4 minutos en pimentón. El plan de funcionamiento del inyector es como lo indica la Tabla A.I. 11.

TABLA A.I.11
Tiempo de funcionamiento del inyector (minutos/día)

Cultivo	Día					Total (min)
	1	2	3	4	5	
Tomate - 1	2	2	2	2	2	10
Tomate - 2	2	2	2	2	2	10
Tomate - 3	2	2	2	2	2	10
Tomate - 4	2	2	2	2	2	10
Melón	2	2	2	2	1	9
Pimentón	1	1	1	1	0	4
Total						53

El tiempo total de funcionamiento del inyector subió de 50 a 53 minutos, por lo tanto, la solución madre debe ser preparada en 1060 litros. Este volumen solo considera aquel que será inyectado, por lo tanto se debe adicionar el volumen muerto del recipiente. Volumen muerto es el que se encuentra entre el nivel mínimo de succión y el fondo del estanque.

ANEXO I. TABLA DE EQUIVALENCIAS Y TRANSFORMACIONES

	Unidad base	Multiplicar por	Para obtener		Unidad base	Multiplicar por	Para obtener
<u>Presión</u>	atm	1.103	bar	<u>Caudal</u>	lt/s	3600	lt/hora
	atm	101.320	kPa		lt/s	3.6	m3/hora
	atm	10.330	m.c.a		lt/s	0.03531	pie3/s
	atm	760.000	mm Hg		lt/min	0.2641	gpm
	atm	14.695	psi		lt/min	0.0166	lt/s
	bar	0.980	atm		lt/min	60	lt/hora
	bar	99.990	kPa		lt/min	0.06	m3/hora
	bar	10.200	m.c.a		lt/min	0.000588	pie3/s
	bar	750.060	mm Hg		lt/hora	0.0044	gpm
	bar	14.500	psi		lt/hora	0.000277	lt/s
	kPa	0.010	atm		lt/hora	0.01666	lt/min
	kPa	0.986	bar		lt/hora	0.001	m3/hora
	kPa	0.102	m.c.a		lt/hora	0.000009	pie3/s
	kPa	7.500	mm Hg		m3/hora	4.402	gpm
	kPa	0.145	psi		m3/hora	0.278	lt/s
	m.c.a	0.097	atm		m3/hora	16.666	lt/min
	m.c.a	0.098	bar		m3/hora	1000	lt/hora
	m.c.a	98.088	kPa		m3/hora	0.00981	pie3/s
	m.c.a	73.572	mm Hg		pie3/s	448.831	gpm
	m.c.a	1.422	psi		pie3/s	28.316	lt/s
	mm Hg	0.001	atm		pie3/s	1699.01	lt/min
	mm Hg	0.001	bar		pie3/s	101940.6	lt/hora
	mm Hg	0.133	kPa		pie3/s	101.94	m3/hora
	mm Hg	0.0135	m.c.a				
	mm Hg	0.0193	psi				
psi	0.0680	atm	<u>Volumen</u>	gal	3,785.412cc		
psi	0.0689	bar	gal	gal	3.785 lt		
psi	6.894	kPa	gal	gal	0.0038 m3		
psi	0.703	m.c.a	lt	lt	1,000 cc		
psi	51.715	mm Hg	lt	lt	0.2641 gal		
			lt	lt	0.001 m3		
			m3	m3	1,000,000cc		
			m3	m3	264.172 gal		
			m3	m3	1,000 lt		
<u>Caudal</u>	gpm	0.063	lt/s	<u>Masa</u>	g	0.001	kg
	gpm	3.785	lt/min	g	g	0.0022	lb
	gpm	227.124	lt/hora	g	g	0.000001	ton
	gpm	0.000063	m3/hora				
	gpm	0.00222	pie3/s				
	lt/s	15.8503	gpm				
lt/s	60	lt/min					

Unidad base	Multiplicar por	Para obtener
g	0.0352	oz
kg	1,000	g
kg	2.204	lb
kg	0.001	ton
kg	35.273	oz
lb	453.592	g
lb	0.4535	kg
lb	0.0005	ton
lb	16	oz
ton	1,000,000	g
ton	1,000	kg
ton	2,204.62	lb
ton	35,273.96	oz
oz	28.349	g
oz	0.028	kg
oz	0.063	lb
oz	0.000028	ton

Longitud	cm		m
cm	10		mm
cm	0.032		pie
cm	0.393		pulgada
cm	0.0109		yd
m	0.01		cm
m	0.001		mm
m	3.281		pie
m	39.37		pulgada
m	1.094		yd
mm	0.100		cm
mm	0.001		m
mm	0.0032		pie
mm	0.039		pulgada
mm	0.00109		yd
pie	30.480		cm
pie	0.304		m
pie	304.8		mm
pie	12		pulgada
pie	0.333		yd
yd	91.44		cm
yd	0.914		m

Unidad base	Multiplicar por	Para obtener
yd	914.4	mm
yd	3	pie
yd	12	pulgada

Leyenda :

atm	atmósfera
cc	centímetros cúbicos
cm	centímetros
g	gramo
gal	galones
gpm	galones/minuto
lb	libra
kg	kilogramo
lt	litros
lt/hora	litros/hora
lt/min	litros/minuto
lt/s	litros/segundo
m	metro
m3	metros cúbicos
m3/hora	metros cúbicos/hora
mm	milímetros
mmHg	mm columna de mercurio
m.c.a.	metro columna de agua
oz	onza
pie	pie
pie3/s	pie cúbico/segundo
psi	libra por pulgada cuadrada
pulgada	pulgada
ton	tonelada métrica
yd	yarda

Ejemplo : Transformar 100 litros/hora a litros/ segundo.

$$100 \text{ lt/hora} \times 0.00277 = 0.277 \text{ lt/s}$$

Respuesta : Un caudal de 100 lt/hora es igual a 0.277 lt/s.

ANEXO II: GLOSARIO

Biuret: Impureza presente en la urea y que puede ser tóxico para las plantas.

Bomba: Dispositivo que transforma energía mecánica en energía de presión.

Cabezal de riego: Lugar donde se instala la bomba, los filtros, el inyector de fertilizantes y las válvulas para la operación de un sistema de riego localizado.

Caudalímetro: Dispositivo mecánico o electrónico que permite medir el caudal que pasa por una tubería.

Cavitación: Formación de burbujas de vapor al interior del cuerpo de la bomba. La cavilación acelera el deterioro de los rodetes.

Elementos trazas: Elementos químicos esenciales para la planta de requerimiento en muy pequeña cantidad. Cualquier exceso, por pequeño que sea es tóxico para la planta.

Fertirrigación: Aplicación de fertilizantes solubles a través del agua de riego.

Filtro de grava: Filtro construido con estanques herméticos de tamaño medio, llenos de arena.

Filtro de malla: Filtro construido con un tubo envuelto por una malla fina que atrapa las partículas que arrastra el agua de riego. Este filtro se instala en el cabezal de riego.

Ley 18.450. Ley de "Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje": Esta ley permite bonificar hasta en un 75% el valor de una obra que permita la mejor utilización del agua de riego y el suelo. Entre las obras se encuentra el cambio de sistemas de regadío, la construcción de sistemas de drenaje, revestimiento de canales, construcción de pequeños embalses, etc.

Macronutrientes: Elementos químicos esenciales para la planta y que esta requiere en gran cantidad.

Manómetro: Instrumento que mide la presión del agua dentro de las tuberías o mangueras.

Micronutrientes: Elementos químicos esenciales para la planta y que esta requiere en menor cantidad que los macronutrientes.

Quemigación: Aplicación de productos químicos como pesticidas, herbicidas, y otros productos químicos a través del agua de riego.

Riego localizado: Sistema de riego en donde el punto de aplicación del agua esta muy cerca del sistema radicular del cultivo.

Riego por goteo: Es una forma de riego localizado, donde el agua se aplica en forma de gotas.

Riego por microaspersión: El agua se aplica localizada en forma de una lluvia muy fina.

Riego por microjet: El agua se aplica en forma localizada en forma de "neblina".

Riego presurizado: Sistema de riego que necesita de presión en las tuberías para provocar el movimiento del agua desde la fuente a los puntos de aplicación.

Solución fertilizante: Es la solución madre inyectada al sistema de riego.

Solución madre: Corresponde a la solución de agua y fertilizante antes de inyectarlo al sistema de riego.

Válvula check: Válvula que evita el retroceso del agua en una red de tuberías.

Válvula de pie: También se conoce como "sapo" y evita la pérdida de la columna de agua cuando se detiene una bomba. Esta válvula va instalada en el extremo libre del tubo de succión.

ANEXO III. LISTADO DE PROVEEDORES (*)

Ciudad	Proveedor	Dirección	Teléfono	Fax
Copiapó	Equipos de Riego	Atacama 236 - Copiapó	(52) 23 8907	(52) 21 6021
	L & G Distribuidores	Yumbel 409 - Copiapó	(52) 21 1402	(52) 21 8698
La Serena	Aqua-Agro Ltda.	Cisternas N° 3584 - La Serena	(51) 29 4743	(51) 29 4743
	Metalurgica Albasini Hnos.	Parcela N° 301 - Pampa Alta - La Serena	(51) 21 1586	
	Monte Grande Ltda.	Barrio Industrial - Alto Peñuelas - Coquimbo	(51) 23 0075	(51) 24 2179
	Plastock	Las Lomas 108 - La Serena	(51) 29 7372	(51) 29 7371
Santiago	Salix Norte Ltda.	Barrio Industrial - Alto Peñuelas - Coquimbo	(51) 24 1471	(51) 24 3712
	Agroriego Ltda.	Marcel Duhaut 2882 - Providencia	(2) 225 4584	(2) 231 9558
	Agrosystems Chile Ltda.	San Camilo 938 - Santiago	(2) 634 5344	(2) 634 6702
	Comercial Lira	Lira 494 - Santiago	(2) 634 2501	(2) 635 2197
	Cosmoplas	Av. Vicuña Mackenna 601 - Santiago	(2) 635 2660	(2) 635 2662
	Ecol	Seminario 739 - Providencia	(2) 225 8081	(2) 225 7979
	Hidraulica Ltda.	San Francisco 80 - Santiago	(2) 639 8951	(2) 639 1570
	Technar Ltda.	Las Dalias 2541 - Providencia	(2) 225 9336	(2) 209 0716
	Tecnogro S.A.	Av. Condell 849 - Providencia	(2) 635 9102	(2) 222 6009
	Vallenar	Procon	Valparaiso 758 - Vallenar	(51) 61 6996
Rediplas		Serrano 288 - Vallenar	(51) 61 1457	(51) 61 1457

(*) El listado de proveedores es sólo de referencia y no representa una sugerencia de parte del INIA, la Comisión Nacional de Riego o el Gobierno Regional de Atacama.