

NOT  
1988/4/c7

Universidad de la República  
FACULTAD DE AGRONOMIA



**RIEGO POR SURCOS**

**PABLO DURAN**

FACULTAD DE AGRONOMIA  
DEPARTAMENTO DE DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

**Nt**

**NOTAS TECNICAS  
Nº 4**

**MONTEVIDEO-URUGUAY**

Las solicitudes de adquisición y de intercambio con esta publicación deben dirigirse al Departamento de Documentación, Facultad de Agronomía, Garzón 780, Montevideo - URUGUAY'

Comisión de Publicaciones Científicas :

Martín Buxedas, Primavera Izaguirre, Carlos Bentancourt (profesores),  
Pablo Fernández (estudiante),  
Roberto Malfatti (profesional),  
Alicia Torres (comunicadora rural).

Riego por surcos / Pablo Durán - Montevideo: Facultad de Agronomía, 1988. - 32p. - (Nota Técnica;4)

RIEGO POR SURCOS  
Durán, Pablo

CDU 631.67

NOT  
1988/4/c7

## RIEGO POR SURCOS

PABLO DURAN (\*)

### PROLOGO

El presente trabajo surge como un acercamiento en la búsqueda de una tecnología nacional, elaborada a partir de las necesidades de una zona, y que, utilizando los materiales y herramientas disponibles, ha permitido mediante un diseño adecuado construir y evaluar diversos dispositivos de control y aplicación de agua, mejorando de esta forma algunas de los principales inconvenientes del riego por surcos.

Si bien se ha trabajado sobre las condiciones específicas del Sistema de Riego de la colonia "Tomás Berreta" del I.N.C., la evaluación de los dispositivos permite afirmar que es posible implementar los sistemas, en la mayoría de las zonas del país, dentro de los rangos de operabilidad que se describen.

---

(\*) Docente de Hidrología.

Recibido 24 de mayo, 1988.

Aceptado 1o. de noviembre, 1988.

## INTRODUCCION

La aplicación de riego a los cultivos mediante surcos es uno de los métodos más utilizados en la mayoría de los cultivos en línea, destacándose los de caña de azúcar, maíz, papa y otros hortícolas, así como también en montes frutales.

Consiste en la derivación del agua de riego en la cabecera de los surcos, situados entre las líneas del cultivo, la cual avanza por gravedad hasta alcanzar el extremo inferior. En su recorrido el agua va infiltrando tanto verticalmente como lateralmente, de acuerdo al patrón de mojado característico del suelo, y la conformación de los surcos. De esta manera es posible reponer la lámina requerida en la zona de absorción radicular.

A partir del comienzo de la derivación de agua al surco en la cabecera, ésta comienza a infiltrar, determinando que, cuando al cabo de un tiempo el agua alcanza el final del surco, en la cabecera la penetración de agua es mayor, por lo cual inevitablemente se produce una desuniformidad en la distribución del riego.

Para lograr la aplicación de la lámina requerida en todos los puntos del surco, es necesario continuar la derivación de agua hasta lograr la infiltración de la lámina de riego en los últimos metros de surco. Esto provoca una sobre-irrigación de la cabecera, perdiéndose agua en profundidad, la cual no puede ser alcanzada por las raíces del cultivo.

Sin embargo, este modelo teórico de mojado del perfil, que se ajusta a suelos profundos no diferenciados, plantea algunas dudas en cuanto a la magnitud de las pérdidas por percolación profunda, cuando se aplica a nuestros suelos en general con horizontes B pesados, y de baja velocidad de infiltración. Es posible que parte del agua tienda a fluir subsuperficialmente por sobre el horizonte arcilloso, redistribuyéndose a lo largo del surco, reduciendo las pérdidas por percolación profunda.

No obstante, al no existir determinaciones que cuantifiquen este hecho, esta observación constituye únicamente una suposición que simplemente plantea una posible línea de investigación al respecto.

Partiendo entonces de la base de la existencia de pérdidas por percolación profunda, la cual constituye la principal causa de la baja eficiencia de aplicación del método, se hace necesario manejar el riego de forma de reducirlas. Debe lograrse que el mojado del surco (proceso que va desde el comienzo de la derivación en la cabecera hasta que el agua alcanza el final) se realice lo más rápido posible. Esto se logra utilizando el máximo caudal no erosivo el cual se determina mediante pruebas de campo. Este caudal resultante es varias veces superior al caudal que es capaz de infiltrar en el surco, por lo cual, una vez que se ha realizado el mojado del surco, se hace necesario reducir el flujo durante el “riego propiamente dicho”, para evitar pérdidas por escurrimiento al final del cuadro.

Esta técnica de mojado previo y posterior riego del surco no es utilizada frecuentemente en el país pues plantea dificultades de operación al hacer necesario una mayor cantidad de mano de obra para el control de la derivación a los surcos.

El otro factor que afecta el tiempo de mojado y por lo tanto la eficiencia de aplicación es la longitud del surco. Surcos demasiado largos demoran más el mojado, aumentando luego las pérdidas de agua en profundidad.

Sin embargo no es frecuente observar este tipo de defecto en las zonas de riego, dado que existen otros factores que llevan al productor a utilizar cuadros cortos.

En muchos casos es posible observar que el productor logra un buen rendimiento en el uso de la mano de obra en base a la idoneidad del regante y mejorando la sistematización de los predios. Sin embargo, si bien carecemos de determinaciones realizadas in situ que así lo comprueben, estimamos en base a lo observado que en estos casos, en general, se sacrifica simultáneamente la eficiencia en la aplicación. Esto se explica dado que es difícil obtener un buen control de la lámina aplicada utilizando la derivación a los surcos con azada, cuando el regante maneja caudales y realiza el riego de muchos surcos simultáneamente, existiendo pérdidas por percolación profunda y pérdidas por escurrimiento al pie de los surcos.

Por otro lado en predios en los cuales el agua es limitada, el regante maneja pequeños caudales con una gran ineficiencia en el uso de la mano de obra, aplicando en general láminas insuficientes con lo cual, si bien

la eficiencia de aplicación resulta elevada, la eficiencia de almacenaje es baja y la desuniformidad de aplicación es notoria.

-El riego por surcos, tal como es manejado en la actualidad, presenta una serie de deficiencias, si lo comparamos con el riego por aspersión, las más importantes de las cuales se detallan a continuación:

-Baja eficiencia de aplicación de agua.

-Baja eficiencia en el uso de la mano de obra.

-Mayores requerimientos de sistematización.

-Las estructuras de conducción y derivación de agua a los surcos son estructuras fijas (regueras) que dificultan las labores culturales que deben realizarse durante el ciclo del cultivo. Por este hecho frecuentemente son afectadas por el pasaje de maquinaria debiendo repararse toda vez que ello ocurre.

Sin embargo el riego por surcos como método de aplicación tiene una serie de ventajas innegables en nuestras condiciones que hacen que a pesar de las desventajas antes detalladas, sea el más utilizado en cultivos carpidos, las más importantes de las cuales son:

1) Globalmente el nuestro es un país en el cual el recurso agua es abundante, sobre todo en corrientes superficiales, con lo cual la menor eficiencia en la aplicación del riego por medio de surcos no plantea a priori una limitante.

2) Considerando lo anterior en términos de costo operativo, en la casi totalidad de los casos, el consumo de energía resultante del mayor volumen que es necesario bombear a los surcos frente al utilizado por aspersión, es superado por el consumo de energía requerido en los bombeos de alta presión de los equipos de aspersión.

3) Si analizamos los costos de instalación, las ventajas del riego por surcos son mucho más claras no sólo por el valor de los materiales utilizados en los sistemas de aspersión (tubos, acoples, aspersores, etc.) sino también en lo referente a las plantas de bombeo por cuanto el riego por aspersión requiere motores y bombas más potentes, por lo expresado en el numeral anterior.

4) A esto debemos agregar que los materiales constitutivos de los equipos de aspersión son mayoritariamente importados, con el consiguiente

te gasto de divisas del país, así como lo son los combustibles utilizados en el bombeo.

Todo ello nos hace concluir que salvo en los casos en los que el agua es limitante, o el cultivo a regar por sus características requiere necesariamente de otro método, o bien el tipo de suelo así lo imponga, el método que mayores ventajas presenta para nuestras condiciones es el riego por surcos.

Como se verá más adelante, es posible superar los inconvenientes planteados por el riego por surcos en suelos arenosos, así como también los planteados por condiciones topográficas adversas.

La línea de trabajo planteada tiende a solucionar las dificultades del manejo tradicional del riego por surcos, utilizando materiales usuales en plaza, con los cuales contruir, sin requerir de una industria especializada para ello, dispositivos de control, conducción y distribución del agua de riego.

### **Derivación de agua a los surcos**

En la mayoría de los establecimientos con riego, la derivación de agua a los surcos de riego se hace a partir de una reguera ubicada en la cabecera del cuadro, de la cual, mediante cortes se realiza la aducción de agua a cada surco. El regante utiliza bolsas con tierra para regular la carga y por ende la cantidad de agua que entra a los grupos de surcos. Este método ha resultado apropiado en los casos en que el regante posee experiencia y las condiciones topográficas no son extremas. Sin embargo la utilización de este procedimiento en condiciones de fuerte pendiente, o en zonas en las cuales no existe una larga tradición de riego, insume mucha mano de obra y resulta en la aplicación de láminas desuniformes, y problemas de erosión de los suelos. En general cuando el riego se toma dificultoso y lento, el productor tiende a aplicar láminas insuficientes en su afán de cubrir el área a regar, urgido por el efecto de la sequía. Por otro lado la dificultad hace que aún los productores que poseen agua sin limitaciones y a bajo costo, trabajan con umbrales muy bajos en espera de que posibles precipitaciones les ahorren el riego. Este manejo lleva al stress hídrico de los cultivos, reduciendo su velocidad de crecimiento, lo cual, en muchos casos es un

efecto no reversible que repercute en los rendimientos alcanzados.

Aún en los casos en que se ha alcanzado un buen manejo del riego, existe un antagonismo entre el rendimiento de la mano de obra (medido en Hás atendidas por regante) y la eficiencia en la aplicación.

Atendiendo a estas dificultades reseñadas, a partir del año 1981 comenzamos a trabajar en el diseño y la evaluación de dos sistemas de derivación de agua. El primero debía contemplar la situación de los pequeños productores (desde el punto de vista económico), para lo cual si bien el objetivo era mejorar tanto la eficiencia en el uso del agua como en el uso de la mano de obra, el énfasis se ponía en la reducción de los costos de instalación. El sistema debía poder implementarse con los elementos disponibles en el establecimiento y en la zona, sin requerir de talleres especializados para la construcción de los dispositivos requeridos.

El segundo sistema tiende a maximizar fundamentalmente el control de caudales y a solucionar la mayoría de los inconvenientes discutidos al comienzo, posibilitando el riego de mayores áreas. Para ello se requiere la utilización de tuberías con lo cual el valor de la inversión inicial es mayor, aunque, dado el rendimiento del equipo y la vida útil de los materiales, el costo anual por hectárea resultante es menor.

Estos métodos fueron implementados y evaluados en el Sistema de Riego de la Colonia Tomás Berreta, a partir del año 1982.

Los suelos de las zonas presentan texturas medias en sus horizontes con velocidades de infiltración (medidas en surcos) entre 7 y 10 mm/hora. Por otro lado el caudal de mojado más adecuado al tipo de suelo y la pendiente de los surcos adoptada (1%) para lograr tiempos de mojado de alrededor de 1 hora, resulta ser de alrededor de 0,5 l/s.

La topografía fuertemente ondulada del área del citado Sistema y la falta de experiencia de los colonos regantes, se agregan a las limitaciones del método de riego por surcos en si mismo, planteando problemas de tal magnitud que hacían que el beneficio de la aplicación del riego fuese dudoso, cuando no francamente antieconómico. No comentaremos en este trabajo los problemas de manejo de los cultivos regados asimismo encontrados, sino que nos limitaremos a los aspectos de la aplicación del agua de riego.

Las fuertes pendientes (hasta 7%) hacen en la mayoría de los casos

imposible conciliar una orientación de los surcos y el trazado de las regueras, ambos dentro de rangos de pendiente no erosiva. Vale decir que cuando la reguera sigue una curva con pendiente controlada (0,3-0,4%), los surcos, si se trazan en direcciones más o menos perpendiculares a la reguera, quedan orientados con pendientes de 3, 4 y 5%. Por otro lado cuando los surcos se orientan correctamente, las cabeceras quedan ubicadas en la máxima pendiente, con los consiguientes problemas para la conducción de altos caudales sin causar erosión y las dificultades para la derivación a los surcos. Sin embargo se entendió que esta última situación era la menos perjudicial dado que se eliminaba el riesgo de erosión en el cuadro, quedando para solucionar la forma de aducción de agua a los surcos. (Ver fig. N°1).

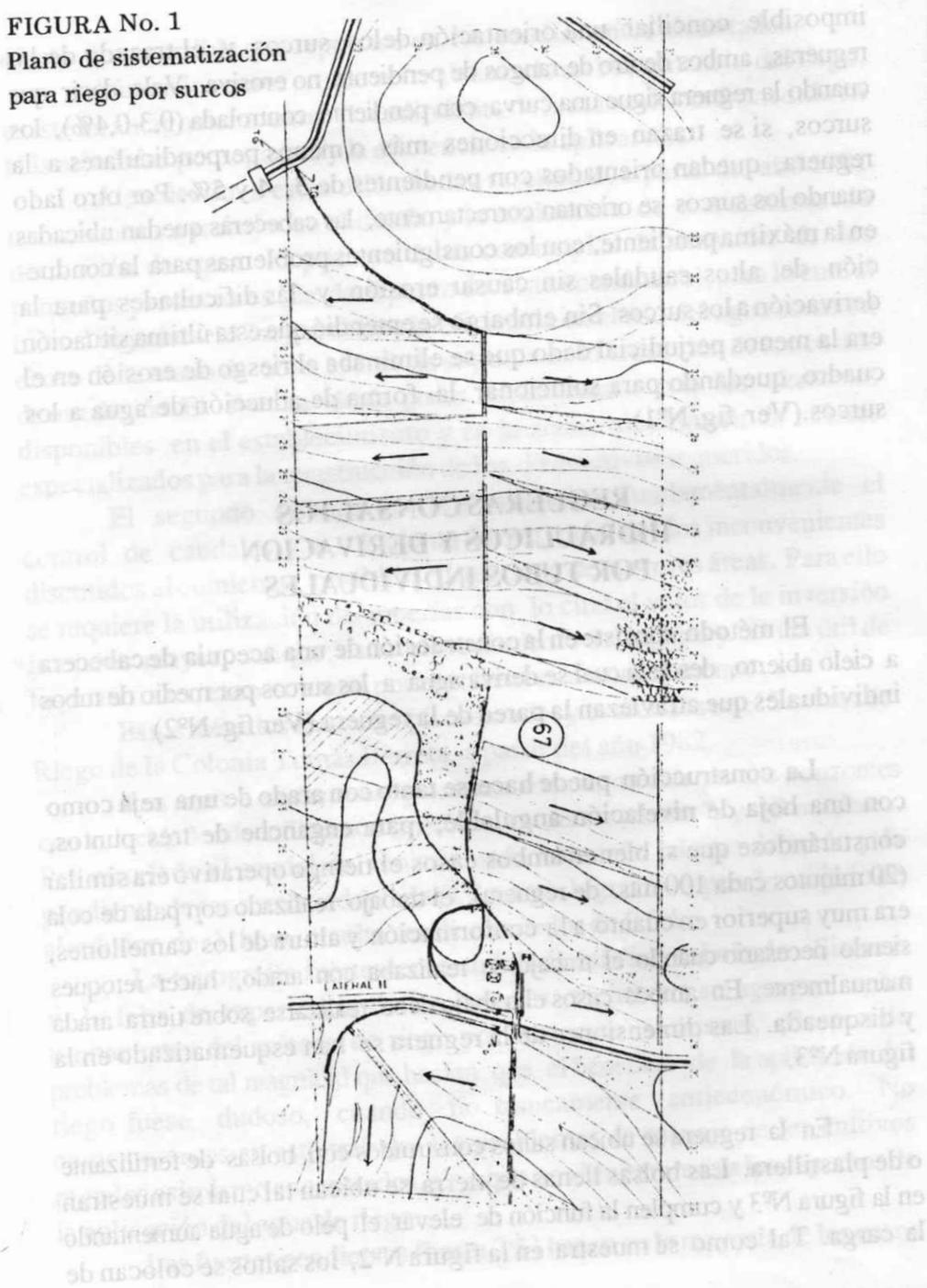
### REGUERAS CONSALTOS HIDRAULICOS Y DERIVACION POR TUBOS INDIVIDUALES

El método consiste en la construcción de una acequia de cabecera a cielo abierto, desde la cual se deriva agua a los surcos por medio de tubos individuales que atraviezan la pared de la reguera. (Ver fig. N°2)

La construcción puede hacerse tanto con arado de una reja como con una hoja de nivelación angulable, para enganche de tres puntos, constatándose que si bien en ambos casos el tiempo operativo era similar (20 minutos cada 100 mts. de reguera), el trabajo realizado con pala de cola era muy superior en cuanto a la conformación y altura de los camellones, siendo necesario cuando el trabajo se realizaba con arado, hacer retoques manualmente. En ambos casos el trabajo debe realizarse sobre tierra arada y disqueada. Las dimensiones de la reguera se han esquematizado en la figura N°3.

En la reguera se ubican saltos contruídos con bolsas de fertilizante o de plastillera. Las bolsas llenas de tierra se ubican tal cual se muestran en la figura N°3 y cumplen la función de elevar el pelo de agua aumentando la carga. Tal como se muestra en la figura N°2, los saltos se colocan de

FIGURA No. 1  
Plano de sistematización  
para riego por surcos



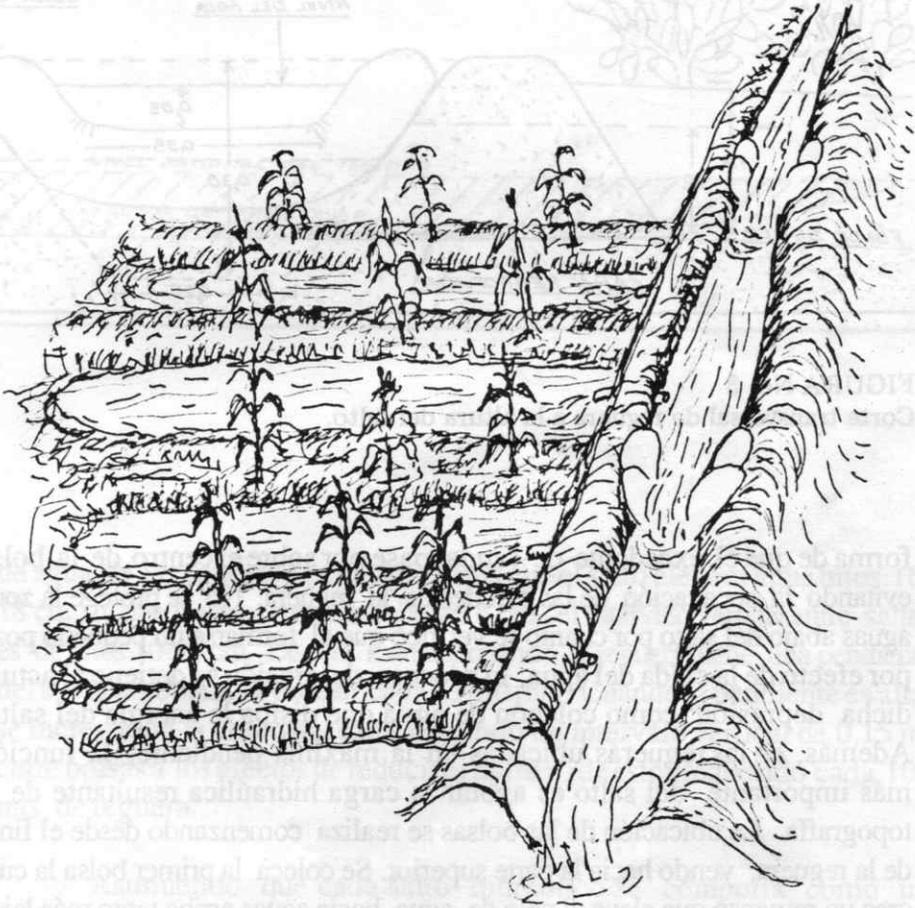


FIGURA No. 2

Reguera con saltos hidráulicos

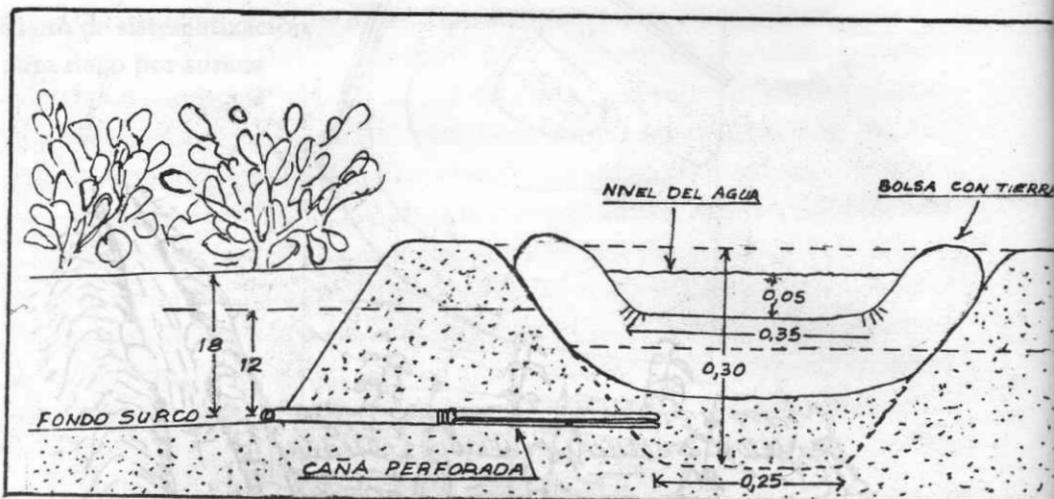


FIGURA No. 3

Corte transversal de reguera a la altura del salto.

forma de que el excedente de caudal pase por sobre el centro de la bolsa evitando la socavación de las paredes de la reguera. No se protege la zona aguas abajo del salto por cuanto se verificó que al formarse un pequeño pozo por efecto de la caída del agua, el proceso de erosión se detiene al actuar dicha depresión como colchón de agua que disipa la energía del salto. Además, en las regueras ubicadas en la máxima pendiente, la función más importante del salto es agotar la carga hidráulica resultante de la topografía. La ubicación de las bolsas se realiza comenzando desde el final de la reguera, yendo hacia la parte superior. Se coloca la primer bolsa la cual crea un remanso que eleva el pelo de agua hacia aguas arriba tanto más lejos como menor sea la pendiente de la reguera. De esta forma la carga de la reguera respecto al nivel de los surcos es máxima cerca del salto y va disminuyendo a medida que nos alejamos hacia aguas arriba (ver figura N°4). En el punto en el cual la diferencia de nivel entre la cresta del vertedero formado por la bolsa, y el fondo de un surco es menor a 6 cm. debe ubicarse una nueva bolsa a los efectos de provocar una nueva elevación del pelo

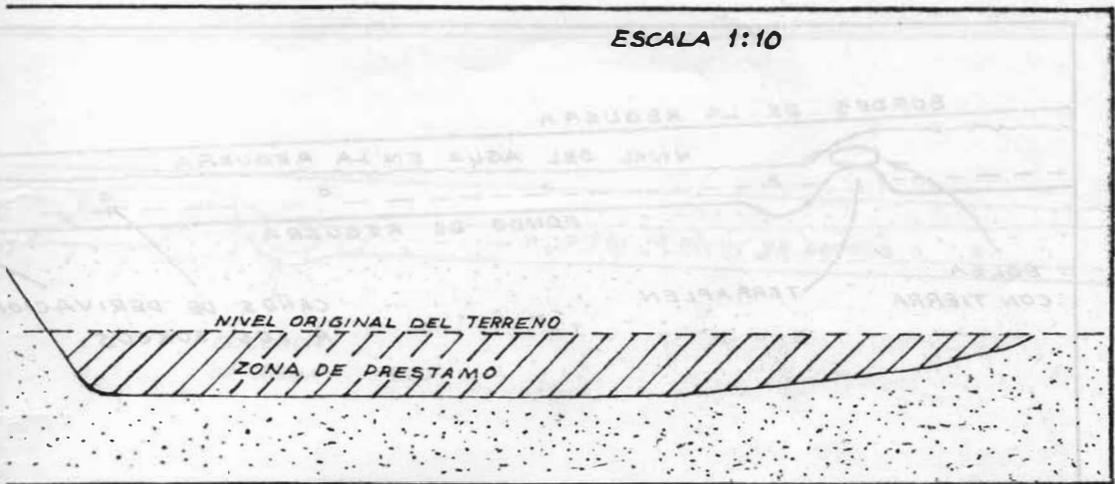


FIGURA No. 4  
Corte longitudinal de regueta

de agua de la reguera. Si consideramos que el salto eleva el agua unos 16-18 cm., y que la carga mínima debe ser 6 cm., el intervalo vertical entre saltos es de unos 10-12 cm. De esta manera cuando la reguera tiene una pendiente del 0,4% las bolsas se ubican cada 25-30 mts. Cuando la pendiente es alta, se incrementa la altura del salto logrando un intervalo vertical de 0,15 m. entre bolsas a los efectos de reducir el número de estos requerido cada 100 mts. de reguera.

Asumiendo que cada salto hidráulico se comporta como un vertedero de pared gruesa, de forma similar al Cippolletti, que trabaja con escurrimiento libre y contracción completa, podemos estimar que responde aceptablemente a las fórmulas establecidas para este tipo de aforador. De esta manera y considerando las dimensiones de la reguera, podemos admitir una carga máxima de 5 cm. Si tomamos en cuenta que el ancho de la garganta máximo que es posible obtener es de 0,35 mts., podemos concluir que la máxima capacidad de conducción de este tipo de reguera con saltos es de

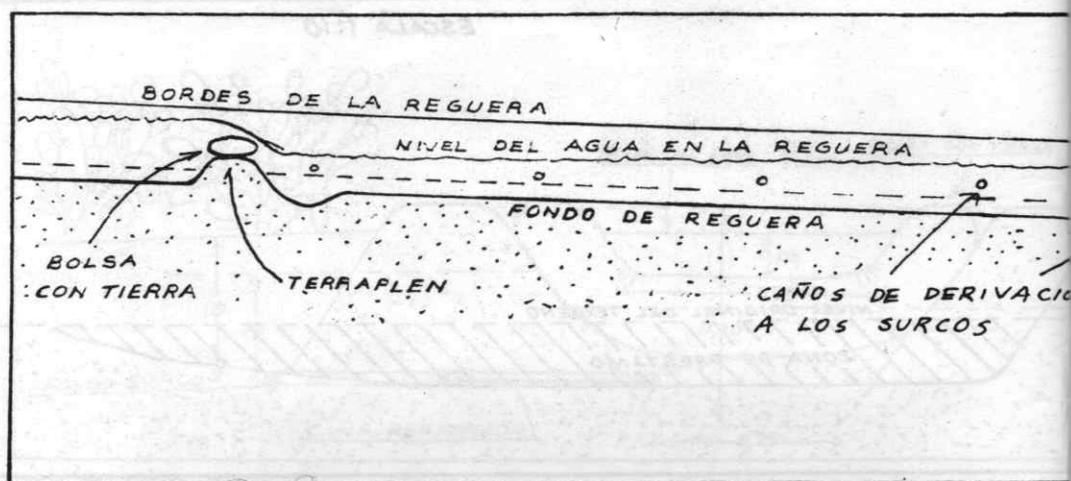


FIGURA No. 4  
Corte longitudinal de reguera.

alrededor de 5 lts/seg. Si consideramos la siguiente situación de riego: uso consuntivo diario: 5mm (50 m<sup>3</sup>/Há)

eficiencia de aplicación: 50%

horario de riego: de 7.00 a 19.00

caudal disponible: 5 lts/seg.

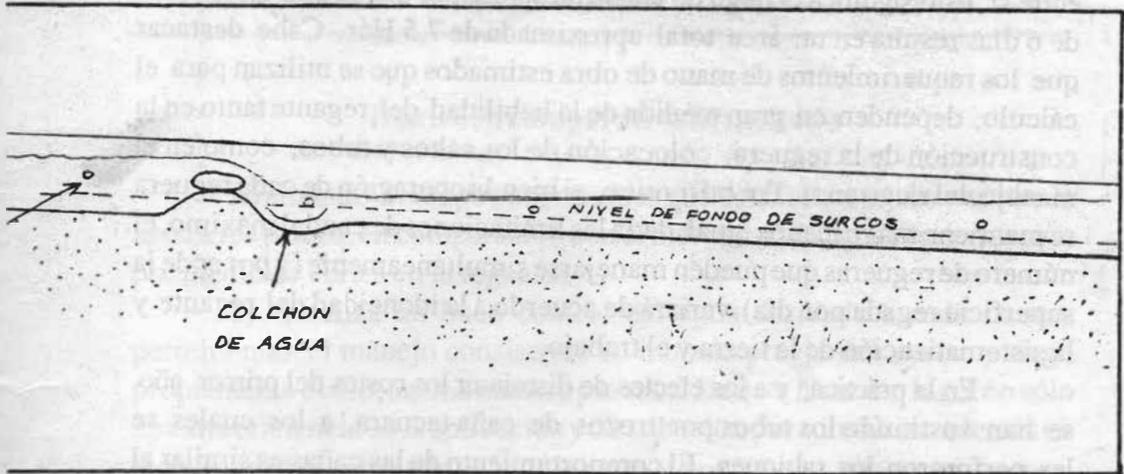
volumen bruto diario:  $5 \times 3600 \times 12 = 216 \text{ m}^3$   
1000

volumen neto diario:  $216 \times 0,5 = 108 \text{ m}^3$

área regable:  $108 \text{ m}^3 / 50 \text{ m}^3/\text{Há}/\text{día} = 2,16 \text{ Há}$

podemos concluir que cuando se diseña la sistematización de una chacra, debe considerarse que el área máxima que puede servirse con una reguera con este tipo de salto es algo mayor de 2 Há.

La aducción de agua a cada uno de los surcos, desde la reguera, se realiza mediante tubos individuales que atraviesan la pared de la acequia.



Estos tubos tienen una longitud de unos 0,50 m y diámetro de 1", erogando un caudal de alrededor de 30 lts/min., trabajando con la carga promedio. La operación del sistema consiste en derivar 5 lts/seg. a la reguera desde una toma granja o unidad de bombeo, con lo cual se comienza el mojado de los primeros 10 surcos, lo cual en las condiciones del Sistema de Riego de la Col. T. Berreta, insume alrededor de 1 hora. A medida que el agua va llegando al final de los surcos, se reduce el caudal tapando parcialmente los tubos de forma de dejar pasar el caudal necesario para permitir la infiltración, pero reduciendo las pérdidas en la cola de los surcos (entre 8 y 10 Lts/min.). De esta forma es posible regar (con el caudal reducido) entre 30 y 40 surcos simultáneamente, por reguera. La intensidad de aplicación resultante es de 7-8 mm/hora, ajustándose el tiempo de riego de acuerdo a las distintas etapas de crecimiento de los cultivos, de forma de aplicar las láminas requeridas.

Se puede estimar en base a los requerimientos de atención de este sistema, que fácilmente un regante puede manejar simultáneamente

tres de estas regueras, si las mismas están ubicadas en cuadros próximos entre si. Esto significa el riego de unos 180 surcos por día, lo cual en un ciclo de 6 días resulta en un área total aproximada de 7,5 Hás. Cabe destacar que los requerimientos de mano de obra estimados que se utilizan para el cálculo, dependen en gran medida de la habilidad del regante tanto en la construcción de la reguera, colocación de los saltos y tubos, como en el manejo del riego en si. Por tal motivo, si bien la operación de cada reguera se mantiene más o menos igual, dada las limitaciones de caudal máximo, el número de regueras que pueden manejarse simultáneamente (y por ende la superficie regada por día) variará de acuerdo a la idoneidad del regante y la sistematización de la tierra y el trabajo.

En la práctica, y a los efectos de disminuir los costos del primer año, se han sustituido los tubos por trozos de caña tacuara, a los cuales se les perforaron los tabiques. El comportamiento de las cañas es similar al de los tubos aunque en general se logran diámetros internos menores con la consiguiente disminución en el caudal de mojado.

### Costos

Se detalla a continuación el cálculo de los costos anuales de instalación, la inversión inicial incluyendo la instalación del primer año, y el costo total anual por há., sin considerar la extracción y conducción de agua hasta el predio regado por considerar que es igual para todos los sistemas empleados. Fueron considerados los precios de noviembre de 1984.

Concepto	Costo por unidad	Costo total	Costo anual
Construcción de reguera con tractor (20 min.)	500.00	166.70	166.70
Mano de obra especializada (1 hora)	50.00	50.00	50.00
1/2 jornal llenado y colocación de saltos	150.00	75.00	75.00
17 cañas de 5 m.	10.00	170.00	85.00
1 jornal preparación y colocación cañas	150.00	150.00	150.00
25 bolsas de fertilizante vacías	10.00	250.00	250.00
	<b>Total N\$</b>	<b>861.70</b>	<b>776.70</b>

Costo de operación del sistema por há. y por riego 1 jornal N\$ 150.00  
Costo total anual para 8 riegos por há. N\$ 1.976.70.-

---

### Discusión comparativa del método

Evaluando a campo encontramos que esta forma de derivación de agua a los surcos, en comparación con el método tradicional de derivación por medio de cortes en la reguera:

1) Realiza un buen control del agua derivada a cada surco, permitiendo el manejo consistente en mojado previo del surco y riego propiamente dicho, de una manera práctica. De ésta forma se logra no sólo una alta eficiencia en la aplicación y distribución por surco, sino además en la uniformidad del cuadro.

2) Logra una elevada eficiencia en la utilización de la mano de obra mediante el aumento del número de surcos que un regante puede manejar simultáneamente.

3) Por requerir para su manejo un mínimo esfuerzo físico y habilidad, permite la utilización de mano de obra familiar para su operación.

4) Es un sistema que puede ser implantado con una muy reducida inversión, y con elementos y herramientas que usualmente se encuentran en todo establecimiento.

Como contrapartida, este método no puede superar algunos de las limitaciones que describíamos al comienzo del presente trabajo, destacándose las siguientes desventajas principales:

1) Hace necesario establecer una estructura fija contra la cabecera de los surcos durante todo el ciclo del cultivo, que no solo dificulta las labores culturales (carpidas, aporques, curas), sino que además obliga a realizar retoques en la reguera en los sitios en que es dañada por el pasaje de la maquinaria, siendo además necesario retirar los tubos o cañas de los surcos en los que entra el tractor.

2) Por otro lado existen pérdidas de agua en la conducción, y dado que la reguera es una estructura en tierra, no consolidada, siempre existe el riesgo de una rotura en la misma. Por este motivo el riego requiere vigilancia continua.

3) La construcción de la reguera implica un desperdicio de terreno correspondiente a una faja a lo largo de la cabecera.

4) En casos de cabeceras orientadas en direcciones de pendiente fuerte (más de 2,5%), siempre existe el riesgo de erosión, no tanto en la reguera en sí, sino en la zona de préstamo de tierra, requerida para la construcción de la misma. Esta zona queda deprimida respecto al nivel original del terreno, pudiéndose concentrar en ella el agua de lluvia, con los consiguientes arrastres.

### CONDUCCION Y DERIVACION POR TUBERIA CON SALIDAS REGULABLES

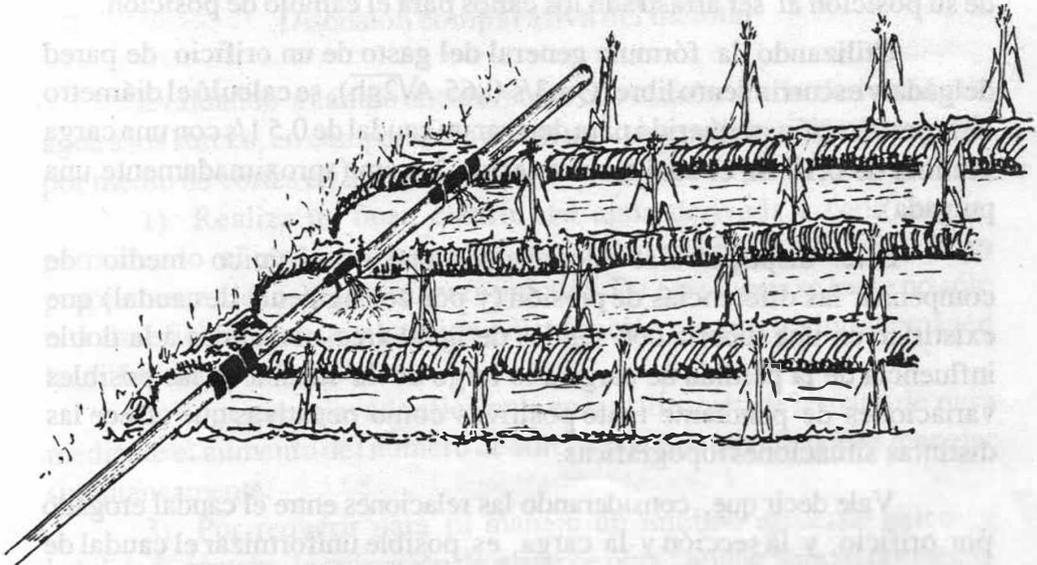
Esta segunda alternativa consiste en realizar una conducción utilizando tuberías, desde la fuente de agua, la cual puede ser una reguera principal que alimente varios cuadros, un canal secundario del Sistema general, o bien una unidad de bombeo. La distribución a cada surco se realiza por medio de una tubería con salidas regulables.

El dispositivo de regulación fue diseñado de tal forma que puede ser construído con las herramientas que usualmente se poseen en un establecimiento agrícola, y con materiales fácilmente disponibles en plaza. No obstante su sencillez, el diseño permite una regulación muy precisa y un cierre suficientemente bueno como para considerar despreciables las pérdidas de agua.

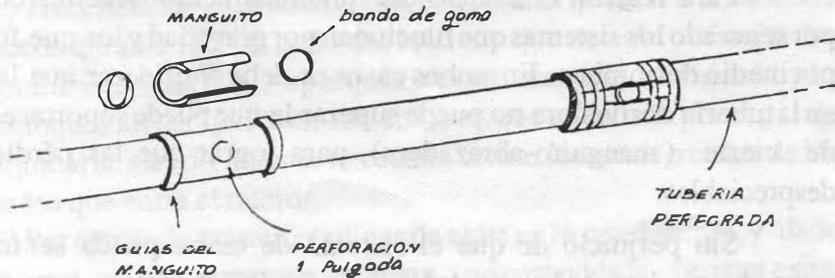
Para la construcción de la unidad de riego se utilizaron tres tubos de PVC semi-rígido de 6 metros de longitud, con acople rápido, o bien un tubo tipo "Plastiducto" de longitud equivalente.

Estos tubos fueron perforados de forma de hacer coincidir las salidas con los surcos de riego. (Figura N°5)

**FIGURA No. 5**  
Detalle de derivación  
de agua a los surcos.



Sobre cada orificio se superpuso un trozo de 0,12 cm de longitud de plastiducto o PVC semi-rígido, abierto longitudinalmente, el cual gira permitiendo la regulación de la abertura y consecuentemente del caudal (ver figura 6).



**FIGURA No. 6**  
Detalle de mecanismo de regulación de tubería perforada.

El "manguito" se sujeta con dos bandas de goma o abrazaderas de alambre, a los efectos de lograr un buen ajuste con el caño perforado. El dispositivo se completa fijando a la tubería, a ambos lados del "manguito", unas guías del mismo material, a efectos de evitar que el mismo se desplace de su posición al ser arrastrado los caños para el cambio de posición.

Utilizando la fórmula general del gasto de un orificio de pared delgada y escurrimiento libre ( $Qm^3/s=0,65 A\sqrt{2gh}$ ), se calculó el diámetro de la perforación, requerido para derivar un caudal de 0,5 l/s con una carga mínima de 0,10 m, el cual resulta ser de 2,6 cm (aproximadamente una pulgada).

Este dispositivo se adoptó dado que era el único medio de compensar las diferencias de presión (y por consiguiente de caudal) que existirían en una tubería con salidas de igual área, sometidas a la doble influencia de la pérdida de carga a lo largo de la misma y las posibles variaciones de pendiente tanto positivas como negativas que ofrece las distintas situaciones topográficas.

Vale decir que, considerando las relaciones entre el caudal erogado por orificio, y la sección y la carga, es posible uniformizar el caudal de orificios sometidos a distinta presión, modificando el valor del área.

Si la separación entre surcos es de 0,75 m, resulta que la unidad de 18 mts. puede alimentar unos 24 surcos, realizando el mojado en grupos de 8 y el riego de los 24 surcos simultáneamente. Si se requiere alrededor de 0,5 l/seg. por surco para realizar el mojado, el caudal total por unidad es 4 lts/seg.

Para realizar el análisis del funcionamiento debemos considerar por separado los sistemas que funcionan por gravedad y los que funcionan por medio de bombeo. En ambos casos se debe considerar que la presión en la tubería derivadora no puede superar la que puede soportar el sistema de cierre (manguito-abrazadera), para lograr que las pérdidas sean despreciables.

Sin perjuicio de que el sistema de cierre pueda ser mejorado, se ha observado que el cierre de los orificios de los equipos experimentales implementados, pueden soportar hasta aproximadamente 1 metro de presión sin que ocurran pérdidas de agua significativas que alteren el

funcionamiento del sistema. Esto implica que debe lograrse que en ningún punto de la tubería se supere dicha presión.

Al respecto deben considerarse la pérdida de carga debida a la fricción, de acuerdo al caudal, diámetro y longitud de tuberías, y el número de salidas múltiples. Por otro lado debe considerarse el desnivel del terreno en cuanto a las ganancias o pérdidas de cargas geométricas. Asimismo se requiere al menos 0,10 m para derivar 0,5 lts/seg por los orificios de 1 pulgada.

Si consideramos una unidad de derivación, compuesta por tres tubos de 6 mts (total 18 mts.), de 2 pulgadas de diámetro, perforadas cada 0,75 mts (24 orificios en total), para realizar el mojado de 8 surcos simultáneamente, la pérdida de carga estimada por la fórmula de Hazzen-Williams, resulta ser:

$$J\%: 9,41$$

$$\text{long: } 18 \text{ mts}$$

$$\text{C.S.M. (8 salidas): } 0,358$$

$$H_f = \frac{9,41 \times 0,358 \times 18}{100} = 0,61 \text{ m}$$

La presión al inicio de la línea deberá ser:  $H_m = H_f + H_w$

donde:  $H_w$ : carga de trabajo del orificio (0,10 m)

$H_f$ : pérdida de carga real

$$H_m: 0,61 + 0,10 = 0,71 \text{ m}$$

Vale decir que el primer orificio trabaja con una carga de 0,71 m, mientras que el último trabaja con 0,10 m.

A los efectos de igualar los caudales derivados, se reduce el área de los orificios que tienen una carga mayor a 0,10 m accionando el cierre.

Cuando la tubería se ubica en una cabecera que tiene una pendiente de, por ejemplo 3,4%, resulta que la presión requerida al inicio de la tubería es de:

$$H_m: H_f + 0,10 - H_g$$

$$\text{si } H_g: \frac{3,4 \times 18}{100} = 0,61 \text{ m}$$

$$H_m: 0,61 + 0,10 - 0,61 = 0,10 \text{ m}$$

Vale decir que la carga ganada por la topografía compensa exactamente la pérdida de carga debido a la fricción.

Cuando las cabeceras se ubican en la máxima pendiente, puede ocurrir que el valor de la pérdida de carga debido a fricción sea inferior a la carga topográfica, con lo cual los orificios del final de la tubería tendrán más presión que los del inicio.

Por ejemplo si la pendiente de la cabecera fuese de 6% y la pérdida de carga corregida por el coeficiente de salidas múltiples es:  $J$  corregido  $9,4 \times 0,358 : 3,4\%$  la ganancia de carga por la topografía sería de  $6 - 3,4 : 2,6\%$ , lo que en una longitud de 18 mts. significa 0,47 mts. Vale decir que siendo la presión al inicio de la línea de 0,10 m, el último orificio soporta una presión de 0,57 mts.

Del análisis se desprende que de acuerdo a la pendiente de la línea de cabecera de surcos y la presión al inicio de la línea debemos dimensionar la unidad de riego determinando su diámetro y longitud (número de orificios y caudal total), de forma de que la presión a lo largo de la línea se mantenga entre los valores de 0,10 m y 1 m.

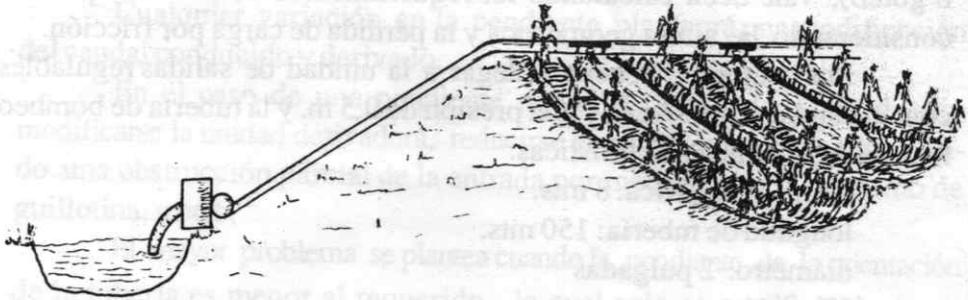
Existirá entonces para las distintas alternativas, pendientes máximas que no pueden sobrepasarse para evitar las sobrecargas en los últimos orificios.

En los sistemas que utilizan bombeo debe diseñarse la línea de abastecimiento y las dimensiones de la bomba, de forma que provean el caudal suficiente y la presión adecuada.

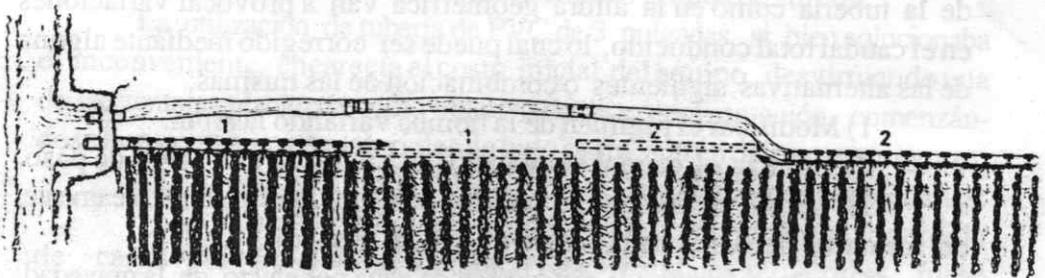
Cuando se considera únicamente la gravedad para proveer la carga necesaria para mover el sistema, necesariamente requerimos una pendiente mínima en la cabecera de los surcos ya que la carga que puede lograrse por elevación del pelo de agua en la reguera es insuficiente.

### Conducción del agua hasta la unidad de salidas regulables

Como decíamos al principio, el equipo se compone de la unidad de salidas regulables la cual puede ser alimentada por una línea de bombeo, o bien por gravedad a través de una tubería, aunque también es posible alimentarla directamente desde la reguera.



**FIGURA No. 7**  
Unidad de riego operada por bombeo.



**FIGURA No. 8**  
Ubicación y operación de una unidad de riego doble.

En el primer caso, la línea de bombeo se dimensiona de la misma forma que se diseña para el caso de los sistemas de riego a presión (aspersión o goteo), vale decir calculando los requerimientos de caudal y presión considerando la altura geométrica y la pérdida de carga por fricción.

Por ejemplo: debemos llegar a la unidad de salidas regulables con un caudal de 4 lts/seg, y una presión de 0,5 m. y la tubería de bombeo tiene las siguientes características:

altura geométrica: 8 mts.

longitud de tubería: 150 mts.

diámetro: 2 pulgadas

J%: 9,41

Hf:  $9,41 \times 150 = 14,12$  m

100

Hm:  $H_f + H_g + H_w$

Hm:  $14,12 + 8 + 0,5 = 22,62$  m

Vale decir que la bomba debe trabajar con un caudal de 4 lts/seg y una presión de 22,62 m.

Se desprende de esto que cualquier variación tanto en la longitud de la tubería como en la altura geométrica van a provocar variaciones en el caudal total conducido, lo cual puede ser corregido mediante alguna de las alternativas siguientes o combinación de las mismas:

- 1) Modificar el régimen de la bomba variando las rpm.
- 2) Limitar el caudal bombeado por medio de una llave de paso.
- 3) Variar el número de orificios que se operan simultáneamente, de forma de derivar a cada surco el caudal deseado.

Cuando se analiza la conducción de agua por efecto de la gravedad, podemos asumir que el caudal que puede conducirse con una tubería de diámetro determinado, con una pendiente dada, será aquel que provoque una pérdida de carga porcentual equivalente a la pendiente del terreno donde se ubica la tubería. Vale decir que para conducir 4 l/s por una tubería de 3 pulgadas, dado que la pérdida de carga es 1,31%, se requeriría ubicar la tubería en una ladera de igual pendiente.

En este caso el equipo de riego estaría constituido por tubos de

3 pulgadas para realizar la conducción y tubos de 3 o bien de 2 pulgadas para la unidad derivadora, debiéndose calcular el número de perforaciones que pueden operarse simultáneamente en cada caso.

Cualquier variación en la pendiente planteará una modificación del caudal conducido y derivado.

En el caso de una pendiente mayor a la calculada, puede, sin modificarse la unidad derivadora, reducirse el caudal conducido, provocando una obstrucción parcial de la entrada por medio de un mecanismo de guillotina, u otro.

El mayor problema se plantea cuando la pendiente de la orientación de la tubería es menor al requerido, lo cual solo es posible solucionar aumentando el diámetro de la conducción.

Los primeros equipos evaluados en el Sistema de Riego de la Colonia Tomás Berreta (1982), estaban constituidos integralmente por tuberías de PVC semi-rígido de dos pulgadas, tanto para la conducción como para la unidad derivadora.

Dado que la pendiente promedio de las cabeceras era de entre 4 y 5%, los caudales manejados eran del orden de 2,5 a 3 l/s. Sin embargo la pendiente natural no es uniforme en todos los casos, existiendo chacras en las cuales, los primeros tramos quedaban instalados sobre pendientes menores, dificultando el riego de los primeros grupos de surcos.

La utilización de tubería de PVC de 3 pulgadas, si bien solucionaba el inconveniente, encarecía el costo inicial del equipo, desvirtuando una de las ventajas planteada como objetivo de la experimentación, comenzándose a ensayar nuevos materiales de bajo costo, aún en diámetros mayores.

La tubería requerida debería tener las siguientes propiedades:

1) Un diámetro suficientemente grande como para que la pérdida de carga por fricción al conducir los caudales requeridos, fuese despreciable, de esta forma prescindir de los requerimientos de una pendiente más o menos importante para lograr la conducción.

2) Liviana y fácilmente transportable.

3) De bajo costo.

4) Colapsable, de forma de evitar que se produzca el efecto de sifón cuando la conducción se realiza en direcciones de pendiente fuerte.

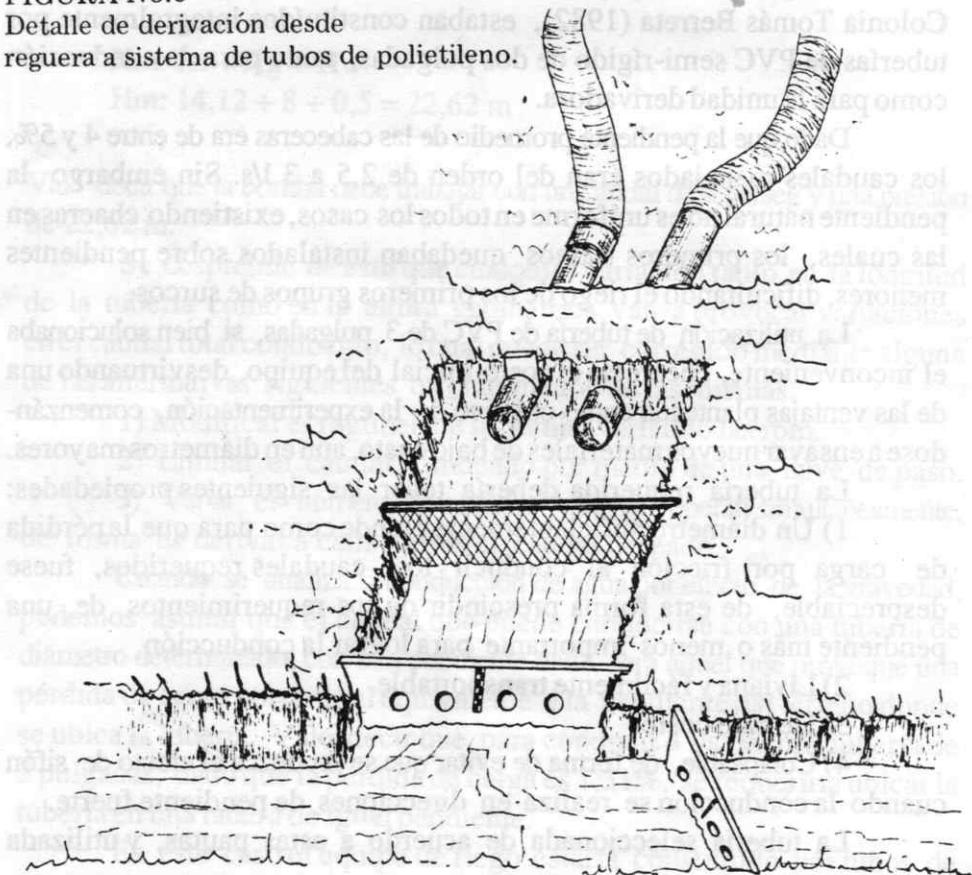
La tubería seleccionada de acuerdo a estas pautas, y utilizada

fué una manguera de polietileno transparente de 150 micrones de espesor, 4 pulgadas de diámetro, con un peso de 40 gr/metro. Esta manguera fue evaluada en los ciclos de riego 82/83 y 83/84, utilizándose en gran escala en el ciclo 84/85.

A partir de una reguera madre, se realiza la derivación a los cuadros por medio de un trozo de unos 0,50 m de tubo rígido, el cual tiene un dispositivo de guillotina para controlar el caudal (ver figura N°9). A partir de ese tubo o "toma" de agua, se acopla un trozo de la manguera antes mencionada hasta llegar a los primeros surcos de riego. Allí se acopla la unidad de salidas regulables.

FIGURA No.9

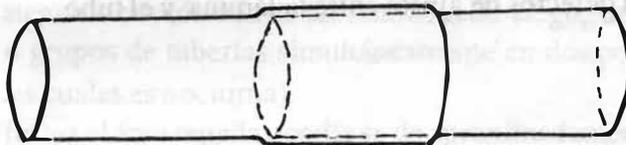
Detalle de derivación desde reguera a sistema de tubos de polietileno.



La manguera se corta en tramos de igual longitud que la unidad de salidas regulables, de forma que, una vez regados los primeros surcos, se corra la unidad añadiendo un tramo de manguera flexible (ver figura N°8). Tal como se puede ver en las ilustraciones, la manguera se sujeta en los puntos de unión con una banda de goma, utilizándose como acople entre dos tramos de manguera, un trozo del tubo utilizado para la confección de la toma.

Este sistema de acople utilizado primariamente tiende a zafarse cuando hay una sobrecarga en la tubería, actuando como fusible ya que, dado el reducido espesor de la pared de la manguera, la misma no puede resistir presión.

Sin embargo este sistema puede ser mejorado en cuanto a su rapidez de acople, utilizando dos medios acoples (macho y hembra) de PVC rígido, los cuales van pegados a los extremos de la manguera o unidos por abrazaderas (ver figura N°10).



**FIGURA No. 10**  
Acople PVC para manguera.

Desde el punto de vista hidráulico, dado que la pérdida de carga debida a fricción para caudales de 5 lts/seg es de 0,49%, podemos considerar que en la mayoría de los casos, tomando en cuenta la ubicación de la cabecera de surcos, puede considerarse despreciable.

En última instancia el caudal derivado va a depender del diámetro del tubo de toma y la carga con la que trabaja. El tubo utilizado tiene 9,5

cm de diámetro interno y fue calibrado mediante aforos para distintas cargas, constatándose que su comportamiento se ajusta al de un orificio con escurrimiento libre con fórmula:

$$Q = m \times A \times \sqrt{2 \times g \times h}$$

donde: Q : caudal en m<sup>3</sup>/seg

A : área del orificio en m<sup>2</sup>

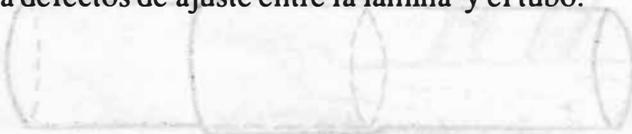
g: 9,81 m/s<sup>2</sup>

h: carga de metros desde el centro de gravedad del orificio.

Mediante la calibración se determinó que el coeficiente  $m = 0,503$ .

De esta forma, regulando la carga en la reguera controlamos el caudal derivado hacia la unidad de riego.

Sin embargo resulta más recomendable trabajar con un ligero exceso de carga y regular el caudal mediante una guillotina de chapa tal como se muestra en la figura N°9. Esta guillotina permite además cerrar la aducción de agua para realizar un cambio de posición de los tubos. Cabe destacar que este dispositivo consistente en una chapa que se desliza en un corte realizado en el tubo, cumple a plena satisfacción la función de regulación del caudal, aunque no proporciona un cierre hermético, existiendo pérdidas de agua debidas a defectos de ajuste entre la lámina y el tubo.



### Operación del sistema

A modo de ejemplo podemos tomar una situación teórica de riego de un cultivo de maíz, con surcos de 100 mts. de longitud separados 0,75 m., en un suelo con una infiltración de 8 mm/hora (en surcos), habiéndose determinado una lámina neta de riego de 40 mm.

A fin de aumentar el rendimiento de la inversión, se ha utilizado un sistema de tubería doble, la cual posee tres tubos perforados en los extremos, comenzando el riego de acuerdo a lo indicado en la figura N°8, vale decir por los extremos superior e inferior del cuadro.

Una vez que se han regado los 48 surcos que pueden regarse simultáneamente, se acorta la tubería que regaba la parte más baja del cuadro quitando un trozo de manguera el cual se utiliza para alargar la

tubería que comienza el riego en la parte más alta de la cabecera.

Los tubos, por ser sumamente livianos pueden ser arrastrados unidos de a tres, lo cual agiliza en gran forma la tarea del cambio de posición.

La operación de riego consiste en el mojado de tres grupos de 16 surcos (ocho en cada unidad de riego) simultáneamente durante una hora (total 3 horas), con un caudal por surco de 0,50 l/seg., para luego regar simultáneamente los 48 surcos durante 5 horas con un caudal de 0,17 l/seg.

Por lo tanto el tiempo total de riego en este caso particular es de 8 horas.

El cambio de posición insume unos 15 minutos procediéndose entonces al mojado de otros 48 surcos luego de lo cual se dejan regando durante la noche, cortando el suministro de agua a la hora correspondiente.

De esta forma, y considerando un equipo constituido por 5 trozos de manguera y 6 tubos perforados (dos unidades de riego), con un tiempo de mojado de una hora y un tiempo de riego de 5 horas, para una frecuencia de 7 días, es posible cubrir 96 surcos de alrededor de 100 mts. diariamente; vale decir alrededor de 5 Hás en un ciclo de riego.

Puede verse que agrupando las tareas de cambio de posición y realizando una atención coordinada de las unidades de riego, un regante puede manejar 4 grupos de tuberías simultáneamente en dos posiciones diarias (una de las cuales es nocturna).

De esta forma el área regada por día es de aproximadamente 3 hás, lo cual significa que utilizando este método, un regante cubre unas 20 hás. en un ciclo de riego semanal.

Vale decir que los requerimientos de mano de obra pueden llegar a valores tan bajos como 1/3 de jornal/Há/riego.

### Costos del equipo

A continuación se presentan los datos de inversiones realizadas para el equipo utilizado, con precios de noviembre de 1984.

Concepto	Costo por unidad	Costo total	Costo anual
7 tubos "TIGRE" de 2" (#)	890.00	6.230.00	1.240.00
2 tapas finales	70.00	140.00	28.00
90 metros manguera de 4"	7,50	675.00	675.00
2,60 m. tubo de 4" (&)	250.00	650.00	130.00
Bandas de goma	10.00	10.00	10.00
1 jornal especializado (armado de tubos)	300.00	300.00	60.00
	<b>Total N\$</b>	<b>8.005.00</b>	<b>2.143.00</b>

(#) 1 para confeccionar los manguitos

(&) para confeccionar tomas y acoples

Dado que la capacidad del equipo descrito es de 5 há., resulta:

Inversión total por há. N\$ 1.601.00

Costo anual amortización/há. N\$ 428.60

Costo operativo por riego 1/3 j. N\$ 50.00

Costo total anual 8 riegos/há. N\$ 828.60

### DISCUSION COMPARATIVA DEL EQUIPO

Podría puntualizarse las ventajas y desventajas del sistema de la siguiente manera:

a) No requiere la construcción de regueras en la máxima pendiente y por consiguiente resuelve en la forma más segura el problema de la erosión en dichas zonas. La ausencia de regueras en la cabecera de los surcos simplifica las labores culturales a la vez que significa un aprovechamiento total de la superficie cultivable, considerando que el equipo es totalmente portátil.

b) Realiza un control total de agua en los surcos sin tener pérdidas en la conducción.

c) Además de ser un sistema de muy práctico manejo, que requiere

muy poca mano de obra por há., permite la posibilidad de realizar riegos durante la noche en forma segura.

d) Gracias a su gran flexibilidad de ubicación y operación supera en muchos casos los inconvenientes ocasionados por una mala sistematización de las chacras o superficies mal niveladas.

e) Tiene una inversión inicial más alta que el primer método aunque los costos anuales por temporada de riego son menores.

f) El método se adapta especialmente a campos con mucha pendiente como en el caso del Sistema de Tomás Berreta, aunque como se ha visto también puede utilizarse en topografías más planas utilizándose o no pequeñas unidades de bombeo.

Si bien se ha expuesto a lo largo del trabajo, el funcionamiento de los sistemas para un rango de las variables que engloban gran parte de las situaciones que se encuentran en la práctica, se han incluido las normas de diseño que permiten adaptarlas, mediante el ajuste del dimensionamiento de los componentes, a situaciones especiales.

### Dispositivos auxiliares

A fin de mejorar la utilización de los sistemas, se construyeron algunos dispositivos sencillos, buscando que sean todos ellos de fácil construcción y bajo costo.

#### Aforador-partidor de caudal

El mismo consiste en una tabla de 80 x 36 cm., con cuatro orificios circulares de 6,5 cm. de diámetro, ubicados todos a 13,5 cm. de altura desde el centro del orificio, separados 3 cm. entre sí y 22,5 cm. de los bordes. Los tapones de los orificios son los mismos trozos circulares cortados para realizarlos, a los que se les pegó una banda de goma de cámara alrededor de su borde para mejorar el cierre (ver figura N<sup>o</sup>9). La tabla y los tapones se barnizan para darles resistencia al agua. En el centro de la tabla se pintó una escala, que en este caso era doble, dando la de la izquierda la carga en cm., y la de la derecha el caudal en l/s. para un orificio. El caudal total se obtiene

multiplicando este valor por el número de orificios abiertos. El rango de trabajo es entre 1,5 y 12 l./s., con una sensibilidad de 0,15 l./s.

Dos dispositivos de este tipo, colocados en una bifurcación de regueras, y cuidando que ambos queden instalados al mismo nivel, funcionan como partididor de caudales. En efecto, el caudal que pasa a una y otra reguera será proporcional al número de orificios abiertos en cada uno de los dispositivos, en proporción al número total de orificios abiertos. Por ejemplo, si hay que partir un caudal de 6 l./s. en dos regueras, una de las cuales sirve a 2 há. y la otra a una, se abren los cuatro orificios de la primera y sólo dos de la segunda.

Una tercera utilidad del dispositivo es cerrar el pasaje de agua, o elevar la altura del pelo de agua.

### Guillotina reguladora de caudal

La toma de agua de la unidad de riego consiste en un tubo de 50 cm. de longitud y 4" de diámetro. El caudal tomado por él depende de la carga. Para poderlo regular, se diseñó una guillotina consistente en una chapa de hierro de 18 x 10 cm., a la cual se le hizo uno de los extremos semi-circular, con un radio de 5 cm. Al tubo se le hace un corte perpendicular, hasta llegar a su centro. Por esta hendidura se introduce la guillotina, que al bajarse hasta el fondo prácticamente cierra el flujo de agua, y al irse levantando va aumentando el caudal tomado. A la parte superior de la guillotina se la dobla para facilitar su manejo (ver figura N°9).

### Filtro

Dado que los restos vegetales obstruían los orificios de salida de agua a los surcos, se construyeron filtros consistentes en trozos de alambrilla de 50 x 25 cm., soldados a un marco de varilla de hierro de 8 mm. para darles solidez. El mismo se coloca en la toma, delante de la boca del tubo (ver figura N°9).-

## **AGRADECIMIENTOS**

- A los becarios de I.I.C.A. Ings. Miguel Mosco, Juan J. Olivet, Mario García Petillo y Sergio Rodriguez, por su colaboración en la implementación y evaluación de los dispositivos descriptos.
- A los Sres. colonos del INC: Roberto Gómez, Sergio Bevegni, Andres Amand Ugon, Luis Socía, Dina Martínez, Julio Montes de Oca y flia Sellanes, por su colaboración en los trabajos realizados en sus fracciones.

