

Polla, G

**PROGRAMA PARA OPTIMIZACION DE DRENAJE SUBTERRANEO
EN EL ALTO VALLE DE RIO NEGRO - ARGENTINA**

POLLA B., Gabriela M.⁽³⁾; HORNE, Federico E.⁽¹⁾; Galeazzi R., Juan O.⁽²⁾

¹Palabras Indices Adicionales : dren-profundidad óptima - profundidad crítica.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo determinar la profundidad óptima de un dren según distintas características hidráulicas e hidrogeológicas a partir de un análisis económico que incluye costos de inversión y operación del sistema de drenaje.

El mismo se realizó mediante una planilla de cálculo que posibilita fácilmente modificar cualquier parámetro que se desee, físico y/o económico.

Se determinó el espaciamiento de drenes, para tubos, mediante la fórmula de Hooghoudt y Ernst para distintas profundidades, la utilización de estos dos métodos cubre prácticamente la totalidad de disposiciones estratigráficas que se presentan en la realidad.

En cada caso se realizó un análisis económico que involucró costos fijos y variables, determinándose así la profundidad de dren que produce mínimos costos para los requerimientos de diseño prefijados.

ABSTRACT

A technique for the determination of optimal depth in drains design is presented here. It is based on the hydrogeological structure of the media and the costs involved in the construction, operation and maintenance of tile drains.

The drains spacing was calculated using, Hooghoudt and Ernst formula covering most of the cases of layers configurations in saturated media. The costs estimations were based on marked prices, assuring to obtain the drain depth for a minimum cost. This technique was applied to a real case for the Rio Negro Valley in Argentina.

¹(1)Profesor Adjunto cátedra de Hidráulica e Hidrología Agrícola. Fac de Cs Agrarias. Univ. del Comahue.

(2)Profesor Adjunto cátedra de Hidráulica e Hidrología Agrícola. Fac de Cs Agrarias. Univ. del Comahue.

(3)Jefa de Trabajos Prácticos cátedra de Hidráulica e Hidrología Agrícola. Fac de Cs Agrarias. Univ. del Comahue. Dirección: Facultad de Cs. Agrarias. CC 85. (8303) Cinco Saltos. Río Negro. Argentina.

Polla, G.

INTRODUCCION

El drenaje agrícola tiene como objetivo primordial evitar el exceso de humedad en la zona radicular que perjudique directa o indirectamente a los cultivos y su normal desarrollo; sin olvidar que esto se produzca sobre una base económica conveniente.

El objetivo del presente trabajo es determinar la profundidad óptima de un dren, respetando la profundidad crítica (aquella que no ocasiona disminución en la producción), mediante un análisis económico que nos defina cual sería la profundidad del mismo que genere mínimos costos, asociado esto a determinadas características hidráulicas e hidrogeológicas.

MATERIALES Y METODOS

El presente Programa fue realizado en una planilla de cálculo Excel que permite variar facilmente cualquier parámetro que se desee y así obtener, para cada uno de los casos, los resultados requeridos

Se puede así dividir al mismo según dos aspectos, uno hidráulico y/o hidrogeológico y otro económico.

1) Aspectos hidráulicos y/o hidrogeológicos:

Se definieron parámetros que permanecen fijos para cada determinación como son: coeficiente de drenaje, longitud y pendiente del dren, coeficiente de rugosidad de la tubería (n de Manning), conductividades hidráulicas, profundidad de proyecto del nivel freático, profundidad del estrato impermeable y profundidad de la interfase, en caso que sea necesario.

Para profundidades que oscilan entre 1 y 3,6 m se calcularon los espaciamientos según las

Polla, G.

fórmulas que responden a régimen permanente (recarga=descarga) tales como HOOGHOUTD y ERNST. (WESSELING, J., 1972.)

La elección del rango 1 – 3.6 m tiene como objetivo ajustar una metodología de cálculo que permitirá analizar la variación económica para cada profundidad elegida. Posteriormente se reformulará dicho rango para cada situación en particular (tipo de suelo, áreas de secano, etc), acotándolo de manera conveniente.

Cabe aclarar que la finalidad del uso de las mismas fue cubrir la totalidad de la disposición estratigráfica que se encontraron en la realidad.

La desventaja de no poder estimar variaciones temporales del nivel freático (como se lograría en ecuaciones de régimen variable) se ve compensada por la ventaja de las ecuaciones de régimen permanente en cuanto las mismas pueden abarcar un mayor número de disposiciones estratigráficas con características hidráulicas diferenciadas.

A continuación se mencionará cada una de ellas.

FORMULA DE HOOGHOUTD:

En el caso que los drenes no alcancen el estrato impermeable, se puede observar que las líneas convergen al dren en forma radial por lo tanto no serán paralelas ni horizontales.

Este flujo produce un mayor recorrido de las líneas de corriente por lo que considerar que existe solo flujo horizontal sería erróneo.

Hooghoudt dedujo una expresión que tiene en cuenta los dos tipos de flujo, horizontal y radial. Al trabajar con suelo uniforme se tiene que:

$$h = \frac{q * L * F_H}{K} \quad (1)$$

$$F_H = \frac{(L - D\sqrt{2})^2}{8 * D * L} + \frac{1}{\pi} * Ln \frac{D}{r_0 * \sqrt{2}} + f(D, L) \quad (2)$$

Polla, G.

donde:

r_0 = radio de los drenes.

$f(D,L)$ = función de D y L, generalmente pequeña por lo que se la desprecia.

L = espaciamiento entre drenes (m).

q = descarga de los drenes por unidad de superficie (m/d).

D = espesor del acuífero por debajo el nivel de los drenes (m).

El primer término es el que representa el flujo horizontal y el segundo y el tercero el flujo radial

Para no considerar el flujo radial Hooghoudt propuso una simplificación en la que define una profundidad equivalente $d < D$ donde se produce solo flujo horizontal.

La profundidad d es función de D, L y r_0 .

Teniendo en cuenta esta consideración, la ecuación es:

$$q = \frac{8 * K_2 * d * h + 4 * K_1 * h^2}{L^2} \quad (3)$$

donde:

q = coeficiente de drenaje (m)

h = carga hidráulica en el punto medio entre drenes (m).

K_2 = conductividad hidráulica por debajo del nivel de los drenes (m/día).

K_1 = conductividad hidráulica del estrato por encima del nivel de los drenes. (m/día).

d = profundidad equivalente.

L = espaciamiento entre drenes (m)

Polla, G.

Esta ecuación se aplica generalmente cuando se determina los espaciamientos entre drenes a partir de los valores de : q, h, K, D y r₀.

Cabe hacer notar que el espaciamiento L es función de la profundidad equivalente d, por lo que la Ecuación (2) resultante se obtiene por tanteos.

En el Programa, se resolvió la misma proponiendo inicialmente un L, con este valor es posible calcular el caudal y el d (profundidad equivalente) como:

$$d = \frac{D}{\frac{8 * D}{\pi * L} * \ln(D / u) + 1} \quad (4)$$

.

Con este valor y utilizando la ecuación 1, se itera hasta encontrar el valor de espaciamiento que proporciona valores menores a un error previamente establecido.

$$L^2 - \frac{d * 8 * k_2 * h}{q} + \frac{4 * k_1 * h^2}{q} < error \quad (5)$$

donde:

L = espaciamiento entre drenes (m).

d = profundidad equivalente.

K₂ = conductividad hidráulica por debajo del nivel de los drenes (m/día).

K₁ = conductividad hidráulica del estrato por encima del nivel de los drenes. (m/día).

q = coeficiente de drenaje (m)

h = carga hidráulica en el punto medio entre drenes (m).

Polla, G.

Para las profundidades elegidas (1 a 3.60 mts) se repitió la misma metodología obteniendo un valor de espaciamiento para cada caso particular.

Debe quedar en claro que además se tomó la ecuación de Hooghoudt suponiendo la ubicación de los drenes en la interfase.

La ecuación de Hooghoudt incluye la posibilidad de considerar medios homogéneos, así la ecuación de Donnan es una solución particular de ésta.

FORMULA DE ERNST:

Esta fórmula es más compleja que la de Hooghoudt. Su ventaja consiste en que aplica un mayor número de situaciones y que la explicación física del movimiento del agua en el suelo es más adecuada. Es usada en suelos con dos estratos, siendo su uso muy conveniente cuando el estrato superior posee una conductividad considerablemente menor que el del estrato inferior.

La fórmula está compuesta por la suma de las cargas vertical, horizontal y radial

$$h = h_v + h_h + h_r \quad (6)$$

respectivamente.

Reemplazando cada una de ellas:

$$h = q \cdot \frac{D_v}{K_v} + q \cdot \frac{L^2}{8 \cdot (K \cdot D)_h} + q \cdot \frac{L}{\pi K_r} \cdot \ln(a \cdot D_r / u) \quad (7)$$

donde:

h = carga hidráulica total o altura de agua sobre el nivel medio de los drenes en el punto medio entre dos drenes (m).

q = descarga del dren por unidad de área superficial (m/día).

K_v = conductividad hidráulica para el flujo vertical (m/día).

K_r = conductividad hidráulica en el estrato con flujo radial (m/día).

Polla, G.

D_v = espesor del estrato sobre el que se considera el flujo vertical (m).

D_r = espesor del estrato en el que se considera el flujo radial (m).

$(KD)_h$ = transmisividad de los estratos de suelo a través de los que el flujo se considera horizontal (m²/día).

u = perímetro mojado del dren (m).

a = factor geométrico para el flujo radial, que depende de las condiciones del flujo.

Los valores de D_v , $(KD)_h$, D_r , a y u tienen que determinarse a partir del perfil de suelo, la posición relativa de los drenes y el tamaño de los mismos.

Existen otros parámetros a determinar que se utilizan en dicha fórmula:

D_1 = espesor medio del estrato superior de conductividad K_1 , por debajo de la capa freática.

D_2 = espesor de estrato inferior de conductividad K_2 .

D_0 = espesor del estrato en que se colocan los drenes por debajo del nivel de los drenes.

En la presente metodología se puede considerar la presencia de dos estratos con distinta conductividad por lo que las situaciones planteadas se resumirían en los siguientes casos:

a) Drenes en el estrato inferior, y $K_1 < K_2$: se desprecia la resistencia vertical en el segundo estrato en comparación con la del primero. En este caso el flujo horizontal es:

$$(KH)_h = K_1 D_1 + K_2 D_2 \quad (8)$$

El flujo radial se produce entonces en el estrato $D_r = D_0$

Por lo tanto la ecuación de espaciado para el caso en que los drenes estén en el estrato

inferior es:

Polla, G.

$$h = q * \frac{D_1}{K_1} + q * \frac{L^2}{8 * K_2 * D_2} + q * \frac{L^2}{\pi * K_2} * \ln(D_0 / u) \quad (9)$$

b) Dren situado en el estrato superior de un suelo con dos estratos se debe hacer una segunda clasificación

I) Si $K_2 > 20K_1$

Entonces $a = 4$ y la ecuación resultante es:

$$h = q * \frac{h}{K_1} + q * \frac{L^2}{8 * (K_1 * D_1 + K_2 * D_2)} + q * \frac{L}{\pi * K_1} * \ln(4 * D_0 / u) \quad (10)$$

II) $0,1K < k_2 < 20K$

En este caso el factor geométrico a se determina de abaco N°1.

En las fórmulas anteriores entra en juego el perímetro mojado del dren (u) que para el caso de drenes de tubería colocados en zanja y a veces rodeados de materiales envolventes de buena permeabilidad posee la siguiente ecuación:

$$u = b + 2(2 * r_0 + m) \quad (11)$$

donde:

b = ancho de la zanja (m).

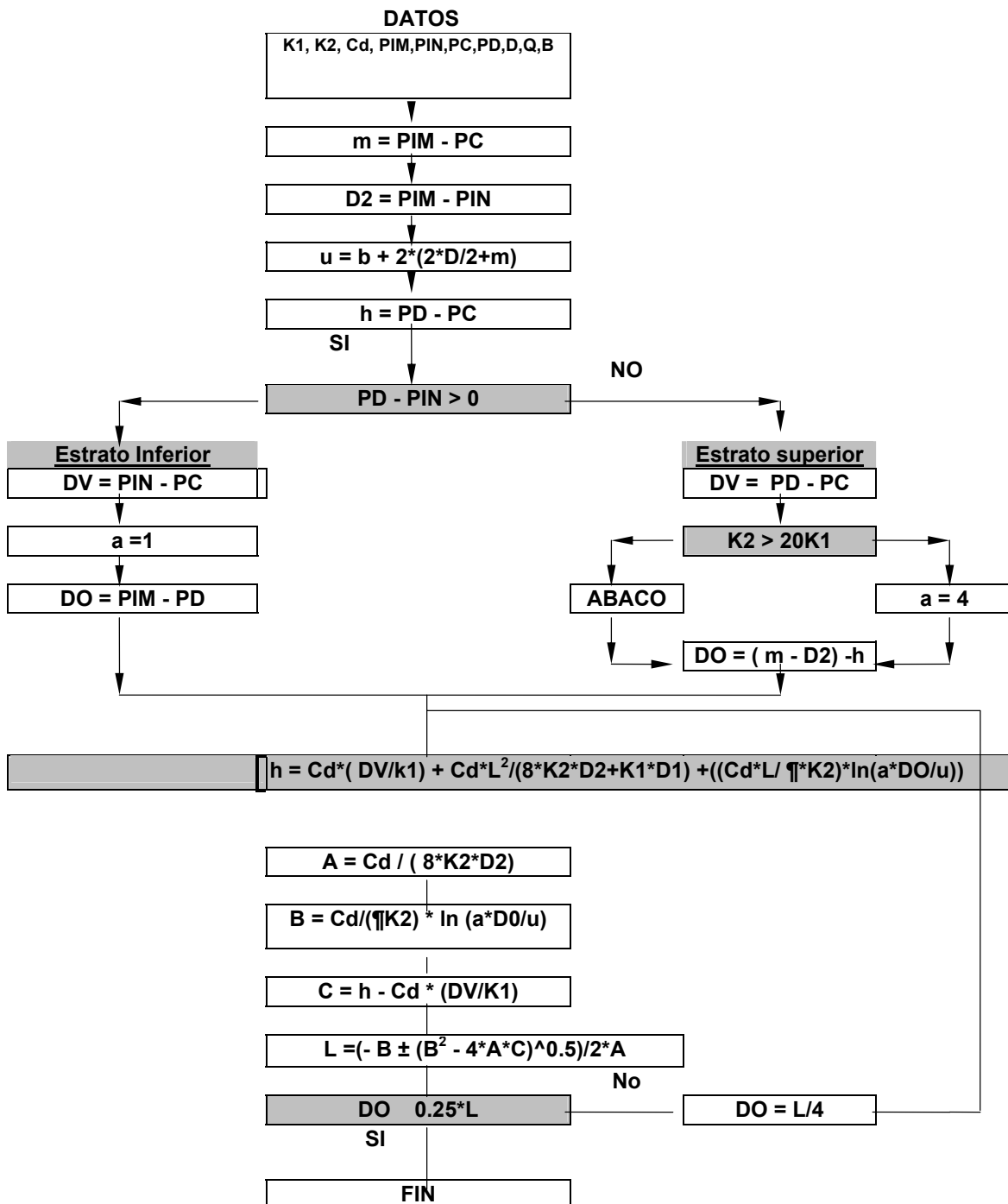
r_0 = radio del dren (m).

m = espesor con grava sobre el dren (m).

A continuación se presenta el diagrama de flujo correspondiente a Ernst

Polla, G

DIAGRAMA DE FLUJO: FORMULA DE ERNEST



Referencias:

K1= permeabilidad estrato inferior (m/día).
 k2 = permeabilidad estrato superior (m/día).
 Cd = coeficiente de drenaje (m/día)
 PIM= profundidad del estrato impermeable (m).
 PC = profundidad crítica (m).
 PIN = profundidad interfase (m).
 PD = profundidad dren (m)

D = diámetro (m).
 B = base de la zanja (m).
 Q = caudal (m³/seg).
 h = carga hidráulica (m)

Polla, G

2) Aspecto económico:

Para el análisis económico se analizaron costos fijos y costos variables.

Los precios que figuran en la planilla surgen de establecimientos de la zona que deberían ser actualizados cada vez que se quiera obtener costos asociados a cada situación planteada. Los mismos corresponden a julio de 1996.

A) COSTOS FIJOS:

Se consideraron costos fijos todos aquellos insumos importantes que son independientes de las profundidades del dren. Esta composición de costos está referida a la experiencia constructiva y condiciones locales.

Este ítem está compuesto por la mano de obra, el prefiltro de grava, el polietileno y el tablero de control de la bomba.

Los tres primeros tienen a la longitud del dren como parámetro de cálculo y sus respectivos costos unitarios.

El tablero de control tiene la función de arrancar y parar el sistema de bombeo entre dos niveles de la cámara de bombeo.

B) COSTOS VARIABLES:

Para cada profundidad propuesta (1 a 3.6 m) y para cada una de las fórmulas de espaciamiento utilizadas se calculan los siguientes ítems.

Costo de excavación:

Los costos de excavación regionales son de gran variabilidad dependiendo de las técnicas utilizadas para la construcción de la obra . Siguiendo los criterios constructivos aconsejados por la Facultad de Cs. Agrarias (Universidad Nacional del Comahue) se evita incluir costos de depresión de napa y empalzamamiento de taludes al

momento de la construcción . El costo de excavación de ésta manera se relaciona con el de utilización de una retroexcavadora pequeña. Los precios de excavación unitarios se establecieron para 3 rangos:

Menores a 1.5 m (libre de agua freática), entre 1.5 - 2.8 (libre de empalizado) y mayores de 2.8 (con necesidad de empalazamiento de taludes).

Polla,G.

$$* \$ \text{Excav.} = 0.5 * \$ \text{m}^3 \text{excav.} * Ld * (Pdren + S * Ld/2)^2 \quad (12)$$

donde:

Pdren = Profundidad del dren (m)

Ld = longitud del dren (m)

Para profundidades mayores que 3.6 m deberá evaluarse otro tipo de técnica de excavación, por lo cual no se ha incluido en este trabajo.

Costo de Tubos:

Se determinaron dos ecuaciones para el cálculo del precio de los tubos según el material de los mismos , ya que los diámetros y los costos se ajustaron a una ecuación lineal .

Ecuación válida para tubos de hormigón (utilizada en la aplicación posterior).

$$* \$ \text{Tubos} = (1.56 * \text{Diam (pulg)} - 3.26) * Ld/1.2 \quad (13)$$

Ecuación válida para tubos de PVC

$$* \$ \text{Tubos} = (1.975 * \text{Diam (pulg)} - 4.58) * Ld/1.2 \quad (14)$$

Diám = diámetro (pulg.)

COSTOS TOTALES

Este valor es de significartiva importancia pués es el valor con que debe contar el productor a la hora de construir su dren.

$$\$ \text{Costos de inversión/ha} = \$ \text{Total de Obra} + \$ \text{Cam.de Insp} + \$ \text{Cam.de Bombeo} + \$ \text{ Bomba} / \text{Ha} \quad (15)$$

donde:

$$\text{Total de Obra} = \$ \text{Excav.} + \$ \text{Tubo} + \$ \text{Costos fijos} \quad (16)$$

Cámara de Inspección: Se computó el valor de caños premoldeados de construcción industrial pues los mismos cumplen con todas las condiciones necesarias para la inspección,

Polla, G.

limpieza y mantenimiento del dren.

En el cálculo se adoptó una profundidad media, a la que se encontrará la cámara de inspección.

$$h = Pdren + S * Ld/2 \quad (17)$$

En función de dicho valor de h, la pendiente de proyecto, la longitud del dren, el espaciamiento definido entre cámaras y el costo unitario, se calcula el costo producido por este ítem.

Cámara de bombeo: Se computó el costo en base a la construcción in-situ de una perforación de 3 m de diámetro encamizado con anillos de hormigón cada 1.2 m de profundidad y mampostería de ladrillos entre los anillos.

El mismo se estimó como una función del diámetro y la altura de la cámara.

$$\begin{aligned} \$ \text{Camara de Bombeo} = & \text{¶} * \text{Diam. C. de b.} * 0.016 * \text{altura} * \$ H^{\circ} A^{\circ}/m^3 + \text{¶} * (\text{Diam. C. de B.})^2 * \\ & \text{altura}/4 * \$ \text{Exc}/m^3 + \text{¶} * \text{Diam C. de B.} * \text{altura} * \$ \text{Pared de Lad.}/m^2 \end{aligned} \quad (18)$$

donde :

Diam C. de B. : Diámetro cámara de bombeo (m)

$$\text{altura} = h \text{ dren} + h \text{ almacenamiento} + 0.3. \quad (19)$$

La variable h dren se consideró en función de la profundidad del tubo en su punto final, al interceptar la cámara de bombeo.

La altura de almacenamiento se estimó en función de aquel valor que permita el arranque y la parada de la bomba.

El adicionar 30 cm más es para asegurar un volumen muerto que no permita que se produzca el fenómeno de cavitación.

$$h_{alm} = \frac{Q_{dren} * 4 * n^{\circ} \text{ de ciclos/h}}{\pi * (\text{Diam C. de B.})^2} \quad (20)$$

$$\pi * (\text{Diam C. de B.})^2$$

$$h_{dren} = L_d * S + \text{Prof. dren} \quad (21)$$

S= pendiente del dren (m/m).

Bomba: Se consideró para caudales de hasta 8 l/seg una bomba autocebante AC22R, con base, acople, motor 2 HP y 2900 r.p.m. y para caudales que oscilaban entre 8 y 30 l/seg una **Polla, G.**

bomba autocebante AC44, con base, acople y motor 4 HP y 1500 r.p.m.

$$\text{\$ Costos de Op. y Mant./ha año} = (1.10 * (\text{\$ Bombeo/mes} * \text{N}^{\circ} \text{ de meses}))/\text{ha año} \quad (22)$$

Se adicionó un 10 % por eventuales desperfectos o imprevistos.

donde:

$$\text{\$ Bombeo /mes} = 1.38 * ((P_{dren} - P_{des.} + 0.10) * Q * 0.736 * 24 * 30 / (0.75 * 75)) * \$0.0634 \quad (23)$$

El 38 % adicional incluye el I.V.A más impuestos.

Valor Presente:

El valor presente se utilizó como parámetro de costo. Este se calculó adicionando a la inversión inicial el valor presente de las anualidades que corresponde a los flujos anuales de operación y mantenimiento de la obra en una vida útil de n años y sujeto a un interés i anual.

$$\text{\$ Valor Presente} = (\text{\$ Costos de Inversión/ha} + (\text{\$ Costos de Op. y M./Ha año}) * \text{Cte}) \quad (24)$$

donde:

$$Cte = ((1 + Taza\ de\ Interés)^{Vida\ U\tilde{t}il} - 1) / (Taza\ de\ Interés * (1 + Taza\ de\ Interés)^{Vida\ U\tilde{t}il}) \quad (25)$$

APLICACIONES:

A efectos de ejemplificar el uso del programa se hizo una aplicación a las condiciones típicas del Alto Valle. En esta región el control de la capa freática es factor clave en la productividad del cultivo típico: frutales de carozo y pepita. Se consideraron dos estratos diferenciados en el acuífero cuyo espesor oscila entre 8 - 14 metros. El primer horizonte comprende el suelo edáfico con una permeabilidad de 1m/día. (CIL,1987) y un

Polla, G.

espesor de 1.2 - 1.5 m .

El segundo estrato está conformado por material aluvial grueso (de granulometría variable), el mismo llega hasta el estrato impermeable que conforma el fondo del acuífero, siendo el valor adoptado para este caso de 25 m/día. El coeficiente de drenaje se calculó teniendo en cuenta una evaporación real diaria de 10 mm/día que corresponde al período diciembre-enero y según una eficiencia de riego del 50%, valor que ha sido adoptado como lámina de diseño para el cálculo de espaciamiento.

La profundidad del desagüe se incluyó ya que el agua bombeada deberá elevarse hasta el mismo.

La profundidad crítica se establece a partir de dos valores:

La profundidad libre de agua saturada o de exploración radicular y la altura capilar del suelo que varía en los suelos del Alto Valle entre 0.20 y 1.80 m.

Los datos hidráulicos y/o hidrogeológicos utilizados fueron los siguientes:

- * Coeficiente de drenaje = 5 mm/día.
- * Conductividad hidráulica del estrato inferior: 25 m/día.
- * Conductividad hidráulica del estrato superior: 1 m/día.
- * Profundidad del desagüe : 1 m
- * Prof. interfase: 1.2 m

* Profundidad del estrato impermeable: 10 m

* Profundidad crítica elegida: 1.5 m

* Longitud del dren : 300 m

Además se consideraron valores típicos usados en los drenes construidos hasta el momento.

* N de Manning : 0.02

* Pendiente del dren : 0.001

* Eficiencia de la bomba : 75%

* Distanciamiento de la cámara de Inspección : 150m

Polla, G.

El valor de números de meses de bombeo se adoptó según el período de riego en la zona.

* Meses de bombeo: 8

* N° de ciclos de la bomba: 20

* Diámetro de la cámara de bombeo: 3 m.

* Vida Util : 40 años

* Taza de interés : 0.08

Polla, G.**RESULTADOS -Tabla 1:**

Prof.(m)	L (Hoog)(m)	L(Ernst)(m)	Excav .(\$)	Tubo (\$)	Inv. Ini/ha (\$)	Op. Y Mant./Ha (\$)	Valor Actual
1.6	148	162	1378	1397	2013	2.93	2048
1.8	280	297	1711	1947	1201	3.8	1246
2.0	368	390	2080	2259	977	4.6	1032
2.2	437	466	2485	2471	866	5.5	931
2.4	495	532	2926	2637	800	6.3	875
2.6	543	591	3400	2800	758	7.1	844
2.8	586	645	7832	2895	933	8	1029
3.0	624	694	8930	3000	927	8.81	1033
3.2	657	741	10100	3093	928	9.65	1043
3.4	687	785	11342	3180	935	10.5	1060
3.6	713	826	12656	3624	947	11.3	1082

Polla, G.

Los resultados que se observan en la tabla 1 demuestran que para el Alto Valle de Río Negro (Argentina), la profundidad a que deberían estar los drenes es de 2.4 m para que estos sean económicamente convenientes.

El ponerlos a profundidades entre 1.6 y 2.2 m abarata los costos de excavación pero la cantidad de tubos, debido al menor espaciamiento entre drenes, es mayor aumentando por ende el costo de este ítem.

Para profundidades que superan los 2.4 m los valores son mayores ya que a medida que las profundidades aumentan, los costos también aumentan en forma considerable, dado que tales profundidades requieren de maquinarias especiales y técnicas de obra más complejas.

CONCLUSIONES

- 1) El programa desarrollado ha permitido interrelacionar todas las variables que intervienen en el cálculo de espaciamiento y en los costos constructivos del dren y jugar dentro del rango de variación de cada uno de ellos. Se puede observar la composición de los costos afectados y la relación con la profundidad del dren.
- 2) La profundidad del dren es la variable principal en el diseño pues tiene un efecto significativo en el costo del control de la napa por unidad de superficie.
- 3) La aplicación al Alto Valle y el análisis para las diferentes condiciones imperantes dió como resultado profundidades óptimas mayores a los 2 m. Esto se explica por la mayor permeabilidad del estrato inferior y la profundidad de la interfase.
- 4) Este programa es aplicable a cualquier situación con parámetros físicos y costos unitarios asociados.

Polla,G.

5) El análisis de costos ha permitido visualizar el alto valor del prefiltro, por lo cual se recomienda realizar un estudio en detalle de los distintos materiales existentes en el mercado.

REFERENCIAS:

- CIL (Consortio Inconas Latinoconsult),1987. Estudio para el Aprovechamiento Integral del Río Negro. Agua y Energía Eléctrica,Provincia de Río Negro, 3 Tomos.
- GRASSI,Carlos, 1991. Drenaje de tierras agrícolas. Serie Riego y Drenaje. RD-39. Centro Interamericano de Desarrollo Inetgral de Aguas y Tierras Centro Interamericano de Desarrollo Inetgral de Aguas y Tierras. 377 pág.
- KUIPER, Edward, 1975. Economía de Proyectos de Recursos Hidráulicos. Centro Interamericano de Desarrollo Inetgral de Aguas y Tierras (CIDIAT), Venezuela. 500 pág.
- MARTINEZ BELTRAN, 1991. Series de Ingeniería Rural y Desarrollo Agrario. Manual Técnico N° 5.Drenaje Agrícola.Vol 1. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. 235 pág.
- RAZURI RAMIREZ, L. y ALVA, C., 1978.Ecuaciones para el cálculo de espaciamiento de drenes. Centro Interamericano de Desarrollo Inetgral de Aguas y Tierras (CIDIAT), Venezuela. 112 pág.
- WESSELING, J., 1972. Cap. 8: Flujo subsuperficial de agua a los drenes, Pág 2 – 61, Teorías del drenaje agrícola y de la escorrentía,Vol 2. Editado a partir de Apuntes del Curso Internacional de Drenaje Agrícola. Wageningen.