

UN NUEVO SISTEMA DE DISTRIBUCION DEL AGUA. SU APLICACIÓN EN EL CANAL MATRIZ REDUCCIÓN

Ciancaglini, N.C. ^{1,2}

⁽¹⁾ Facultad de Ciencias Agrarias, U.N. Cuyo, Mendoza; ⁽²⁾ INA- CRA, Mendoza. Belgrano 210, (5500), Mendoza, Argentina; fax: (0261) 4288251; cra@ina.gov.ar

RESUMEN

Se analiza la forma de entrega del agua a nivel de parcela y de la red de riego, determinando una metodología a nivel de red de riego que incrementa la eficiencia en el uso del agua en todos los sectores.

Luego de discutir el procedimiento planteado, se da el caso de su aplicación al Canal Matriz Reducción, de 12.680 ha empadronadas bajo riego. Como resultado de su aplicación se ha obtenido una metodología para organizar los canales de riego conforme a módulos de riego y la distribución a nivel de parcela dentro de cada canal. Con estos resultados se generó un software para programar la entrega del agua mediante turnos siguiendo dicho procedimiento y por otra parte, se rediseño la red de riego del Canal Matriz Reducción, el cual se encuentra próximo a licitar.

Para ello, se hizo previamente un estudio que comprendió el proyecto del canal nuevo, un proyecto de turnado de riego bajo la alternativa de un Intervalo Administrativo (IA) de entrega del agua de 7,25 días, la determinación de los caudales máximos y mínimos que va a conducir y sugerencia de obras de control y seccionamiento de la red. Asimismo se realizó la programación del turnado de riego para tres situaciones: con una carga de 12 m³/s durante los meses de Diciembre – Enero, con 8 m³/s durante el mes de Octubre y con 6 m³/s durante el mes de Agosto, que son los 3 periodos mas significativos seleccionados luego de realizar la programación para todos los meses.

Finalmente se dan pautas para operar el sistema de riego en base a la metodología desarrollada.

Palabras clave: operación de sistemas de riego, módulo de manejo, canal matriz Reducción.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es elaborar una metodología de distribución de caudales en una red de riego, de forma tal de lograr el incremento de la eficiencia en el uso del agua a nivel parcelario así como en la red de distribución.

Entre sus objetivos secundarios se tiene el lograr un Intervalo Administrativo (IA) de entrega del agua acorde con la implementación del cultivo de hortalizas, de forma tal de rotar el agua en un tiempo inferior al actual y preparar así también la aplicación de otras técnicas modernas de entrega del agua.

INTRODUCCIÓN

El Proyecto FAO ARG/00/008, llevado a cabo dentro del Departamento General de Irrigación (DGI) de la provincia de Mendoza, tiene entre sus objetivos el lograr un mejoramiento en la eficiencia del uso del agua sobre el área irrigada por el Canal Matriz Reducción, con una superficie dominada por las obras de 22.000 ha y 12.680 ha. empadronada con derechos de riego. Se encuentra ubicada sobre la margen derecha del Río Tunuyán Inferior, aguas abajo del dique El Carrizal.

Uno de los proyectos es la reestructuración del canal matriz Reducción por medio de la eliminación de las ramas (canales secundarios) actualmente en operación y la ubicación de tomas que atiendan directamente a las hijuelas (canales terciarios) y/o ramos (canal cuaternario), previendo la unificación de algunas de ellas cuando así fuera aconsejable. Por otra parte, el canal se revestiría, con lo cual, la eficiencia de conducción actual estimada en 65% pasaría a ser del 93%, produciéndose así importantes ahorros de volúmenes de agua que permitirían reforzar las dotaciones actuales.

Asimismo, se desea modificar el sistema de turnado actual, donde el Intervalo Administrativo (IA) de entrega del agua, que se encuentra cercano a los 14 días pasaría a ser cubierto en un tiempo menor, favoreciendo así el cultivo de hortalizas que requieren menor frecuencia de riego para su explotación, como así también mejorar el riego de cultivos perennes en suelos arenosos o franco arenosos al tener un menor Intervalo entre Riegos (IR).

Actualmente, la entrega del agua de riego se programa a nivel de boca – toma del Canal Matriz, entre la Asociación de los Usuarios junto con la Subdelegación de Aguas del Río Tunuyán Inferior, organismo dependiente del DGI. Mensualmente se programan los caudales a erogar en función del programa de desembalse del dique El Carrizal, ubicado aguas arriba de la boca – toma del canal matriz Reducción. Dicho programa se encuentra en función del pronóstico nivológico anual y el derrame mensual estimado.

Sobre dicha base, se organiza la distribución de caudales en las Ramas y las Hijuelas y/o Ramos. El sistema de entrega del agua se realiza sobre el principio de que existe una infraestructura de derivación del agua mediante compartos con hoja fija para dividir el agua en forma proporcional a la superficie empadronada en cada Rama y en cada Hijuela. Por consiguiente, el agua que se entrega actualmente es para toda la superficie empadronada, sin importar que existan regantes que tienen el riego cortado por falta de pago.

En el caso de que el caudal con que se dota al canal matriz no sea suficiente como para tener al matriz con caudal en forma permanente, se procede a seccionar el canal principal en 2 a 3 tramos, entregando todo el caudal disponible a un tramo por vez. De esta forma se da un gran caudal en un muy corto tiempo de riego, que en algunos casos superan los 500 – 600 l/s, que superan la capacidad de manejo del agricultor al realizar su riego.

Dentro de cada Higuera el riego se va entregando en función de tiempo. En base de la Superficie Empadronada (en hectáreas) de cada Higuera y del Tiempo que se le da en total a la misma, se calcula el Tiempo Base (Tb) en minutos por hectárea y se va entregando de a una propiedad por vez, comenzando a veces el riego desde el final del canal hacia la toma y otras desde la toma hacia el final. En el primer caso a veces se considera el Tiempo de Recorrido para que llegue el agua hasta el final del canal y desde allí comenzar el riego. En este caso, al regante se le descuenta el Tiempo de Llenado del canal. Cuando se riega desde la toma hacia el final el regante sufre la pérdida de tiempo del avance del agua en la higuera, compensándose con el Tb algo mayor que en el primer caso.

De la problemática observada, se pueden citar los siguientes inconvenientes que han surgido mediante este procedimiento administrativo de entrega del agua:

- red de riego principal es de tierra y los regantes absorben la pérdida de agua por infiltración en la misma, con lo cual el regante que está ubicado al final del canal matriz se ve perjudicado al recibir menos agua que el regante que se encuentra ubicado cerca de la boca-toma del matriz. Ello ha llevado a la construcción de perforaciones particulares en la parte final del canal a fin de compensar esa falta de caudal.
- La textura de los suelos y sus pendientes son diferentes a lo largo del canal matriz. Es así que en el tramo superior predominan los suelos franco a franco arcillosos con cierta pendiente importante, con sistemas de riego mediante surcos con pendiente en forma preponderante, mientras que en el tramo final del matriz predominan los suelos arenosos a francos, con poca pendiente y sistemas de riego de surcos a cero, con muy poca pendiente o de melgas.
- En el sistema administrativo de entrega actual del agua, el agua que no va a ser aplicada por los usuarios a los que se tiene interrumpido el servicio de riego, es entregada a los usuarios que si tienen dicho servicio, con el consiguiente exceso de agua que alimenta directamente el agua freática. Esto se observa en mayor medida en el tramo superior del canal matriz.
- Existe un cierto número de regantes que recibe el turno, pero que no riegan durante la noche, con lo cual alimentan la freática de la zona.
- Al ser distribuida el agua en forma proporcional a la superficie empadronada y por tiempo, no se conoce el caudal que se está empleando y por ello no existe la base del conocimiento para poder mejorar el riego. Este aspecto es fundamental. Se puede decir que el usuario de riego y la Administración de Riego conocen el “arte” de la entrega del agua, pero no tienen la infraestructura de riego adecuada ni los conocimientos para aplicar la “ciencia” en la entrega del agua.
- Existe una gran diversidad de magnitud de superficies a regar. Es así que en algunas hijuelas existen predios con superficies de 20 a 40 ha y en el mismo lugar hay numerosos predios de menos de 0,3 a 0,5 ha, con lo cual los Tb a dar son totalmente inapropiados para las pequeñas propiedades.

- La infraestructura de riego actual se presenta con numerosos problemas. Además de que los canales son en tierra, las estructuras se encuentran en mal estado por falta de adecuado mantenimiento. Es dable observar la corrosión en las compuertas, varias de ellas ya irrecuperables. Se estima que en términos generales los partidores ya no cumplen su función dado el estado en que se encuentran.
- El personal de la Administración de Riego demuestra en general interés y motivación en mejorar el manejo del agua, pero la infraestructura de riego y la situación económica actual, donde hay numerosos regantes que no pagan o no pueden pagar el canon de riego, hacen de que se encuentren en un proceso de espera o aletargamiento, a la espera de una oportunidad para mejorar.

MATERIAL Y METODOS.

Característica de la zona de estudio

La cuenca del Tunuyán Inferior está constituida por el Llano o Travesía del Este que se extiende desde las Huayquerías hasta que el río desaparece en el Departamento de La Paz. La zona del proyecto se encuentra emplazada aguas abajo del Embalse el Carrizal, único regulador del río Tunuyán, en la zona de la cuenca del Tunuyán Inferior.

Desde la presa El Carrizal el río sigue un curso natural sinuoso durante 5 km. antes de llegar al dique derivador Tiburcio Benegas, que corta totalmente el cauce del río. Este dique puede derivar 55 m³/s. y suministrar agua a los canales: Matriz Reducción (margen derecha) y el Gran Matriz (margen izquierda). En la bocatoma del canal matriz Reducción tres compuertas motorizadas de 2,75 x 1,80 m. abren directamente del embalse creado por el dique. Este canal riega 13.550 ha. 12.700 ha son las empadronadas y las 850 ha restantes tienen permisos precarios

La infraestructura de riego del canal Matriz Reducción es administrada por la Inspección de Cauces Asociadas Rivadavia (ICAR). Su ubicación política corresponde al departamento de Rivadavia, abarcando los distritos de Reducción, La Libertad, Los Campamentos, La Central y El Mirador.

El área del proyecto presenta dos zonas con características diferentes: i) Bloque 1: comprende todas las propiedades abastecidas por las tomas directas del canal matriz y las ramas: Viejo Reducción, Nuevo Reducción y Libertad, con un total de 3.800 ha con derecho de riego y 600 usuarios, lo que da una superficie promedio de 6,33 ha/usuario, demostrando que existe un gran número de hijuelas. Esta zona tiene mayor pendiente y suelos franco a franco arcillosos, y ii) Bloque 2: comprende todas las propiedades dotadas por las hijuelas de las ramas Herrera y Los Andes, lo que hace un total de 8.900 ha con derecho de riego, con un número de 280 usuarios, lo que da una superficie promedio de 31,8 ha/usuario, con terrenos con poca pendiente y gran permeabilidad.

El sistema primario está conformado por la obra de toma y el canal matriz Reducción. El canal matriz Reducción nace en el Dique Tiburcio Benegas sobre margen derecha del Río Tunuyán. La longitud total que recorre el canal matriz es de 18.600 m aproximadamente, de los cuales en su tramo inicial posee 2.350 m revestidos en hormigón armado. Este revestimiento es de sección rectangular de 5 m de ancho por 2 m de altura.

A partir del compartó Viejo Reducción el canal matriz posee un trazado sinuoso con bordos elevados sobre margen izquierda. Este tramo no posee ninguna toma hasta la hijuela directa Gaviola ubicada a los 7.500 m desde el nacimiento del canal. Las hijuelas de la rama Nuevo Reducción se dotan en 3 secciones, y cada una de estas secciones se dota por una toma directa del canal matriz. La siguiente derivación sobre el canal matriz Reducción corresponde a la rama Nuevo Libertad, a ella la atraviesa el río seco Los Barrancones. El canal matriz finaliza donde nacen las ramas Herrera y Los Andes, cruzando en sifón el río seco Herrera.

En el canal matriz Reducción y rama Los Andes se presentan cauces de importantes dimensiones, de forma irregular, con alta rugosidad y suelos permeables por lo que la eficiencia de conducción es baja. Para un año medio con un aporte en cabecera de alrededor de 170 hm³/año, se pierden por infiltración en el canal matriz, rama Viejo Reducción, rama Herrera y rama Los Andes, aproximadamente 55 hm³/año, lo que representa un 33 % de dichos aportes

El sistema secundario está compuesto por las siguientes ramas: Viejo Reducción (11.800 m), Nuevo Reducción (6.000 m), Libertad (8.800 m), Herrera (7.300 m) y Los Andes (20.900 m). La rama Nuevo Reducción presenta en todo su recorrido una sección muy grande, que no es acorde a los caudales transportados, con los problemas que esto ocasiona.

Con respecto al sistema terciario y cuaternario En toda la zona hay alrededor de 250 km. de hijuelas, de los cuales 150 km. pertenecen al área irrigada por las ramas Viejo Reducción, Nuevo Reducción, Libertad y tomas directas del canal matriz (bloque 1), esto representa 39,5 m de hijuela por ha aproximadamente. Los 100 km. restantes pertenecen a las hijuelas de las ramas Herrera y Los Andes (bloque 2), en esta última zona la densidad de hijuelas es de 11 m por ha.

Por lo observado el sistema terciario y cuaternario presenta diferentes características en los dos bloques considerados. En el bloque 1 los principales problemas son los siguientes:

- Importante longitud de hijuelas (aproximadamente 150 km)
- Gran densidad de hijuelas por unidad de superficie (39,5 m/ha)
- Numerosas obras de toma en correspondencia a la gran cantidad de parcelas.
- Inexistencia de hijuelas impermeabilizadas.
- Obras de distribución precarias

Tabla 1: Longitudes del Sistema Primario, Secundario, Terciario y Cuaternario

Sistema	Canales / Hijuelas	Longitud (km)
Primario	Matriz	18,6
Secundario	Rama Viejo Reducción	11,8
	Rama Nuevo Reducción	6,0
	Rama Libertad	8,8
	Rama Herrera	7,3
	Rama Los Andes	20,9
	Tomas Directas	9,5
Terciario y Cuaternario	Ramos	250,0
TOTAL		332,9

Fuente: Equipo DGI-FAO, 2002.

En cambio el bloque 2 presenta el inconveniente de que las hijuelas recorren gran longitud en terrenos con poca pendiente y con baja eficiencia de conducción.

En relación con la distribución de caudales, el canal matriz al igual que las ramas se encuentra dotado permanentemente salvo situaciones especiales. Dentro de las ramas, el agua se distribuye entre diferentes “secciones”, que abastecen a superficies similares, cada sección está conformada por un número de hijuelas que son dotadas simultáneamente según el esquema de turnado.

Dentro de esta sección todas las hijuelas que la componen son dotadas simultáneamente y el caudal que escurre por cada hijuela es tomado en su totalidad por la propiedad a la que le toca el turno, en función del tiempo que le corresponde según su superficie empadronada. Los tiempos se miden en minutos por hectárea y van desde 15 minutos a cerca de 1 hora.

La derivación de caudales del canal matriz a las ramas y de éstas a las hijuelas se realiza mediante hojas partidoras fijas. Sólo se encuentran escalas de medición en las derivaciones de las ramas, por lo tanto, el sistema presenta pocos elementos de control y la distribución es poco elástica.

En síntesis, el canal matriz Reducción y todas sus ramas están dotadas permanentemente, cada rama se secciona en determinado número de hijuelas, y el agua se distribuye por tiempo en “tantas horas por hijuela”. Cuando un usuario no paga la tarifa de agua (no está al día), esa agua se reparte en los demás regantes de la hijuela (se les da más tiempo), vemos que esto en lugar de beneficiar a todos los regantes del canal matriz Reducción, sólo beneficia los regantes de dicha hijuela, perjudicando los recursos agua y tierra. Todo esto hace que la distribución sea ineficiente y poco equitativa.

La tabla 2 muestra este sistema de distribución, el tiempo de rotación mencionado para cada rama determina la frecuencia de los turnos de riego y su duración el tiempo por hectárea empadronada. Como puede verse el turnado varía entre 8 y 14 días, este último es excesivo en las épocas de mayor demanda y limita en parte el espectro de cultivos a realizar salvo que se cuente con el uso de agua subterránea como complemento ya que en algunos casos como el de los cultivos hortícolas este sistema los limita.

Tabla 2: Esquema de Distribución en el Sistema de Riego Reducción Los Andes

Rama	Superficie Regada (ha)	Número de Secciones	Tiempo de Rotación (días)	Tiempo aprox. por sección (días)
Viejo Reducción	1.400	4	8	2
Nuevo Reducción	840	3	9	3
Libertad	1.180	3	9	3
Herrera	2.880	3	9	3
Los Andes	6.030	2	14	7
Directas	370	2 o 3	9 o 8	2 o 3

Fuente: Equipo DGI-FAO, 2002.

Con relación a la operación y mantenimiento del sistema, el canal matriz Reducción es manejado por 11 tomeros, los cuales operan los siguientes canales: (i) rama Viejo Reducción; (ii) rama Nuevo Reducción e hijuela Gaviola; (iii) rama Libertad; (iv) rama Herrera; (v) rama Los

Andes; (vi) hijuela Carrera; (vii) hijuela Florida; (viii) hijuela La Verde; (ix) hijuela Ortega; (x) hijuela El Mirador; y (xi) hijuela Los Yoles.

Las obras de control y distribución son escasas, precarias e ineficientes. Existen hojas partidoras fijas, con compuertas en los derivados, de tal forma que se realiza una distribución automática con turnados rígidos, no permitiendo realizar una distribución adecuada a los actuales criterios de distribución del DGI conocido como superficie “al día”, esto se da en todos los sistemas.

Con relación al sistema de drenaje, el subsistema de “Dren Cañada Libertad” comprende doce colectores que convergen a un colector principal y cuya longitud total es de 10.240 m y sirve a una superficie de 563,75 ha. El “Dren Recuero” comprende un colector principal, cuya longitud es aproximadamente de 6.000 m y sirve a una superficie de 330 ha. El tercer sistema de drenes está formado por tres colectores. El “Colector Oeste”, con una longitud de 3.020 m y sirve a 166 ha; el “Colector Centro” que tiene una longitud de 3.140 m y sirve a 172,75 ha; y el “Colector Este” que tiene una longitud de 3.300 m y sirve a 181,5 ha (Cuadro 3).

La profundidad existente de los drenes es de 1,1 m a 2 m, con un ancho de solera de entre 1,5 y 3 m. Los taludes de los drenes son en general estables y suelen estar, en algunos tramos con una pendiente de 1:1,5 en promedio. El estado de mantenimiento de los colectores es regular. Gran parte de los caminos de servicios se encuentran con sedimentos donde han empezado a crecer plantas. Puede observarse también que hay obras de arte deterioradas o deficientes en su funcionamiento. Además, existen asentamientos humanos dentro de sus franjas de ocupación. También se han detectado vertidos de desagües de riego en los colectores.

Tabla 3. Longitudes de los Drenes Existentes

Dren	Longitud (km)
Dren Recuero	6,00
Dren Cañada Libertad	10,24
Dren Colector Oeste	3,02
Dren Colector Centro	3,14
Dren Colector Este	3,30
Total	25,70

Fuente: Equipo DGI-FAO, 2002.

Propuesta de mejoramiento del riego en general

El proyecto contempla el revestimiento, la unificación, la desaparición de partidores, etc. En forma anexa se da el Cuadro 4 con el listado de los canales denominados “Hijuelas” que se abastecen desde el canal principal, a partir del proyecto nuevo, donde desaparecen los canales secundarios (Ramaz) para vincular directamente las hijuelas del canal principal. El Cuadro 5 da los valores de su progresiva y la longitud de canales de cada hijuela.

Por razones de espacio, a partir de estos Cuadros se trabajará en el turnado con el número consecutivo del canal y su Código de Cauce.

Tabla 4. Listados de canales del Canal Matriz Reducción

Nº	Punto	CC	Sup. Emp (ha).	Sup. Ac (ha).
0	Boca-Toma		12679,86	12679,86
1	Hij. Funes	2022	39,10	12679,86
2	Hij. 1 (VR)	2058	47,06	12640,76
3	Hij. 2 (VR)	2059	49,94	12593,69
4	Hij. 3(VR)	2060	49,11	12543,76
5	Hij. 3a,b,c(VR)	2060	155,17	12494,64
6	Hij. 5(VR)	2062	248,25	12339,48
7	Hij. 6+7(VR)	2063+2064	83,71	12091,23
8	Gaviola R1(NR)+Hij.8+8a+9(VR)	2022+2065+2066	168,62	12007,52
9	Gav. R2 + R3 (NR)	2022	115,86	11838,90
10	Hij. 1 R1+2 R1 (NR)+ Hij10 (VR)	2024+2067+ 2026	182,68	11723,04
11	Hij. 3 R1(NR)+Hij. 11(VR)	2027+2068	138,72	11540,36
12	Hij. 4 R1 (NR)	2028	49,65	11401,63
13	Hij. 5 R1+Hij 12, 12a,b,c(VR)	2028+2069+2073+2070	163,96	11351,98
14	Hij. 6 R1 (NR)	2029	34,04	11188,03
15	Hij. Carreras+Hij.13,14,15,16,16a,17,18(VR)	2086+2071+2072+2074+2075+2076	476,89	11153,99
16	Hij. 7 R1(NR)	2029	66,64	10677,10
17	Hij. 8 R2(NR)	2030	55,27	10610,46
18	Hij. 9 R2(NR)	2612	15,84	10555,19
19	Hij. 10 R2(NR)	2031	17,93	10539,35
20	Hij. 11 R2(NR) + Hij. Terzi	2613 + 2022	15,59	10521,41
21	Hij. 12 R2 +13R2(NR)+ 19(VR)	2032+2033+2077	65,87	10505,82
22	Hij. 14 R3(NR) + Hij. 20(VR)	2034 + 2078	58,13	10439,95
23	Hij. 15 R3(NR)	2035	59,90	10381,82
24	Hij. 16 R3(NR)	2036	35,33	10321,92
25	Hij. 17 R3(NR)	2037	92,12	10286,59
26	Hij. 18 R3(NR)	2038	38,28	10194,47
27	Hij. 19 R3(NR)	2039	99,85	10156,19
28	Nuevo Libertad+California+20+21	2088+2040+2041	745,74	10056,34
29	Hij. 22	2042	84,23	9310,61
30	Hij. 23	2043	95,91	9226,38
31	Hij. 24	2044	116,63	9130,47
32	Hij 25	2045	155,40	9013,84
33	Hij. Nº 1 Titarilli	2046+2119+2121	268,14	8858,44
34	Toma d. Interagro	2080-44	24,18	8590,30
35	Hij. 2 – Forestal	2049	99,16	8566,12
36	Hij. 3ª Ozan	2050	393,01	8466,96
37	Hij. 3b – Gargantini	2050	407,48	8073,95
38	Toma directa Egea	2080-34	40,88	7666,47
39	Hij. 3c	2050	154,63	7625,60
40	Hij. Ortega	2080	868,79	7470,97
41	Hij. 4 R1-Las Trojas	2051	171,77	6602,18
42	Hij. 5- Bamac y otros	2052	340,51	6430,41
43	Hij. 6 – Calzetti y otros	2053	202,66	6089,90
44	Hij. 7	2055	661,82	5887,24
45	Hij. 8 y 9	2055-2055	188,52	5225,43

Tabla 4. (cont.)

Nº	Punto	CC	Sup. Emp (ha).	Sup. Ac (ha).
46	Hij.El Globo	2080	176,06	5036,91
47	Hij. La Verde	2083	224,70	4860,85
48	Hij. Las Higueras	2083	311,43	4636,15
49	Hij. Bestani	2080	426,62	4324,72
50	Hij. Furlani	2080	301,48	3898,10
51	Hij. La Florida	2082	989,06	3596,62
52	Hij. Pippi	2084	400,29	2607,56
53	Hij. La Serena	2080	368,20	2207,27
54	Hij. Vendimia Sur	2080	180,00	1839,07
55	Hij. Borone	2085	235,90	1659,07
56	Hij. La Bandera	2085	500,11	1423,17
57	Hij. Caruso	2080	157,42	923,06
58	Hij. Vendimia Norte	2080	134,00	765,64
59	Hij. El Mirador	2081	248,45	631,64
60	Hij. Las Yeguitas+Los Yoles	2615+2080	383,19	383,19
60	Sumas=		12679,86	

Tabla 5. Canal Matriz Reducción- Longitudes de canales derivados

Nº	CC	Dist. Parcial (m)	Progresiva (Km)	Long. cauce (m)
0		0,00	0,00	
1	2022	1798,97	1,80	600
2	2058	850,00	2,65	2290
3	2059	570,00	3,22	1305
4	2060	705,00	3,93	1435
5	2060	2,00	3,93	5540
6	2062	1790,00	5,72	4350
7	2063+2064			2115
8	2022+2065+2066	2170,00	7,89	6340
9	2022			2185
10	2024+2067+ 2026	1870,00	9,76	6430
11	2027+2068	750,00	10,51	4840
12	2028			1115
13	2028+2069+2073+2070	765,00	11,28	7491
14	2029			1180
15	2086+2071+2072+2074+2075+2076	760,00	12,04	30430
16	2029			1770
17	2030	660,00	12,70	1820
18	2612			80
19	2031	1100,00	13,80	1420
20	2613 + 2022			1055
21	2032+2033+2077	410,00	14,21	4006
22	2034 + 2078	427,00	14,63	4439
23	2035			3208

Tabla 5. (cont.)

N°	CC	Dist. Parcial (m)	Progresiva (Km)	Long. cauce (m)
24	2036	455,00	15,09	2670
25	2037			5382
26	2038	625,00	15,71	2410
27	2039			3453
28	2088+2040+2041	603,00	16,32	32907
29	2042	940,00	17,26	3092
30	2043	515,00	17,77	5931
31	2044			3327
32	2045			10885
33	2046+2119+2121	900,00	18,67	3268
34	2080-44	80,00	18,75	170
35	2049	2120,00	20,87	1150
36	2050	650,00	21,52	11125
37	2050	440,00	21,96	6185
38	2080-34	90,00	22,05	80
39	2050	1090,00	23,14	6000
40	2080	870,00	24,01	12325
41	2051	1070,00	25,08	4620
42	2052			6575
43	2053	780,00	25,86	3560
44	2055	480,00	26,34	7199
45	2055-2055			7425
46	2080	1050,00	27,39	5140
47	2083	500,00	27,89	7185
48	2083			9720
49	2080	1490,00	29,38	7475
50	2080	680,00	30,06	11595
51	2082	1160,00	31,22	29750
52	2084			13270
53	2080	1820,00	33,04	4730
54	2080	1900,00	34,94	1500
55	2085	400,00	35,34	1000
56	2085	670,00	36,01	6200
57	2080	2100,00	38,11	3800
58	2080	650,00	38,76	2900
59	2081	600,00	39,36	9440
60	2615+2080			10410
60		39,36		359298,00
		Km		359,298
				Km

Cálculo del Intervalo Administrativo de Entrega del Agua (IA)

En primer lugar se buscó de seleccionar el Intervalo Administrativo mas adecuado, por la implicancia en el ordenamiento administrativo del mismo y para lograr implementar cultivos

hortícolas, probándose las alternativas de 6,25 (6 días y 6 horas) y 7,25 días de IA, con un ejemplo con 30 turnos de un ciclo de riego. La Tabla 6 muestra el ejemplo desarrollado para las dos alternativas.

Como se observa, en el caso de IA= 6,25 días, con 187,5 días que van a insumir los 30 turnos tomados como ejemplo, habrán 23 cambios de día de semana, con 30 cambios de hora de inicio del riego, rotando entre las siguientes horas fijas: 07.00 – 13.00 – 19.00 y 01.00 horas, mientras que para el IA= 7,25 días con 271,5 días que van a insumir los 30 turnos habrán 8 cambios de días de semana en los 30 días con número similar de cambios de hora (30) en las mismas horas fijas.

Se seleccionó el IA = 7,25 días como el mas apropiado para aplicar en este caso, debido fundamentalmente a que va a ocasionar un menor manejo administrativo (comunicación de turnos, control de los mismos, etc.) y dicho Intervalo Administrativo será tomado para desarrollar los ejemplos de cálculo de turnado de riego y la capacidad que debería tener el canal principal.

Con este IA, si un agricultor riega un día domingo a las 7 horas, el siguiente turno le corresponderá el día domingo a las 13 horas, pero a los 4 turnos, se encontrará regando el día lunes a las 7 horas, o sea que tendrá también una rotación de días, con lo cual se consigue una adecuada rotación de hora y días de inicio entre los regantes.

Cálculo del caudal a aplicar dentro de la parcela

Para determinar el caudal a utilizar dentro de la parcela que será luego utilizado en el sistema de distribución, existen diferentes formas de cálculo:

- 1)- Una es el empleo de fórmulas utilizadas para el diseño y evaluación de métodos de riego por superficie, que se calculan para cada tipo de método de riego y tipo de suelo empleada propiedad por propiedad y luego promediadas entre las propiedades para aplicar como caudal de entrega en el canal que domina a dichas propiedades.
- 2)- Calcular sobre el cultivo de mayor difusión en el sector dominado por dicho canal; determinar el caudal necesario y dicho valor asignarlo como caudal del canal, considerando o no las pérdidas dentro de la parcela y las del canal.
- 3)- Dentro de cada propiedad que domina dicho canal determinar cual es el caudal necesario para el conjunto de cultivos de dicha propiedad y luego promediar el mismo con los caudales necesarios en las restantes propiedades del mismo canal.
- 4)- Considerando los métodos de riego existentes o a existir en el área a dominar por el canal, la textura del suelo y pendiente, asignar un rango de caudales que satisfaga en forma eficiente el riego de dichas unidades de riego diferentes. A esto se lo denomina “Módulo de Manejo” (MM).

Tabla 6 Rotación de días y horas con Intervalos Administrativos de Entrega del Agua

Turno nº	IA= 6,25 días			IA= 7,25 días		
	nº días Acum.	Día inicio	Hora inic.	nº días Acum.	Día inicio	Hora inic.
1	6,25	Lunes	07.00	7,25	Lunes	07.00
2	12,5	Domingo	13.00	14,5	Lunes	13.00
3	18,8	Sábado	19.00	21,8	Lunes	19.00
4	25,0	Sábado	01.00	29,0	Martes	01.00
5	31,3	Viernes	07.00	36,3	Martes	07.00
6	37,5	Jueves	13.00	43,5	Martes	13.00
7	43,8	Miércoles	19.00	50,8	Martes	19.00
8	50,0	Miércoles	01.00	58,0	Miércoles	01.00
9	56,3	Martes	07.00	65,3	Miércoles	07.00
10	62,5	Lunes	13.00	72,5	Miércoles	13.00
11	68,8	Domingo	19.00	79,8	Miércoles	19.00
12	75,0	Domingo	01.00	87,0	Jueves	01.00
13	81,3	Sábado	07.00	94,3	Jueves	07.00
14	87,5	Viernes	13.00	101,5	Jueves	13.00
15	93,8	Jueves	19.00	108,8	Jueves	19.00
16	100,0	Jueves	01.00	116,0	Viernes	01.00
17	106,3	Miércoles	07.00	123,3	Viernes	07.00
18	112,5	Martes	13.00	130,5	Viernes	13.00
19	118,8	Lunes	19.00	137,8	Viernes	19.00
20	125,0	Lunes	01.00	145,0	Sábado	01.00
21	131,3	Domingo	07.00	152,3	Sábado	07.00
22	137,5	Sábado	13.00	159,5	Sábado	13.00
23	143,8	Viernes	19.00	166,8	Sábado	19.00
24	150,0	Viernes	01.00	174,0	Domingo	01.00
25	156,3	Jueves	07.00	181,3	Domingo	07.00
26	162,5	Miércoles	13.00	188,5	Domingo	13.00
27	168,8	Martes	19.00	195,8	Domingo	19.00
28	175,0	Martes	01.00	203,0	Lunes	01.00
29	181,3	Lunes	07.00	210,3	Lunes	07.00
30	187,5	Domingo	13.00	217,5	Lunes	13.00

Rebour y Deloye (1971) describen al módulo como al caudal que un hombre puede manejar. Ciancaglioni (1986) define al módulo de manejo como aquel caudal que un hombre puede manejar con la tecnología disponible. De esta forma, para un mismo método de riego, suelo y pendiente, puede ser diferente el módulo si se emplea una azada o azadón, sifones, riego por aspersión y/o goteo. En tal sentido, dicho autor cita los siguientes valores de módulo de manejo para un regante que puede atender a la vez dos unidades de riego (2 melgas o bien 2 unidades de 10 surcos cada una, 20 surcos en total) empleando una azada o azadón (Tabla 7):

Tabla 7. Módulos de Manejo (MM) para Distintos Métodos de Riego por Superficie

Método de riego	Caudales (l/s)
surcos rectos con pendiente	30 a 80
surcos rectos sin pendiente (a cero)	60 a 180
melgas rectas con pendiente	50 a 150 l/s
melgas rectas sin pendiente (a cero)=	150 a 280

Este es un concepto de diseño importante, porque el método de riego determinará siempre el caudal necesario en la toma del predio.

En este trabajo se seguirá el concepto de “Módulo de Manejo” (MM), que será el rango de caudales que se erogará por el canal terciario o cuaternario para atender a un usuario por vez y el “Módulo” (M) que es el caudal a erogar por el canal para satisfacer 1 ó más Módulos de Manejo (MM) y que podrá considerar o no las pérdidas de conducción y administrativas.

Fórmulas de turnado a utilizar

Corresponde determinar el Caudal necesario de entrega en la hijuela y el Tiempo Base (Tb) en minutos por hectárea, que es el tiempo unitario de entrega del caudal que le corresponde a cada regante de dicha hijuela

La ecuación de turnado a emplear (Ciancaglioni, 1986) es:

$$Q = DME \times S \times \frac{NHM}{NHT \times NTM} \quad (1)$$

donde:

- Q= Caudal a derivar en el canal considerado (l/s)
- DME= Dotación Máxima Estacional durante el periodo considerado (l/sxha)
- S= Superficie regada del canal considerado (ha)
- NHM= Número de Horas del Mes considerado (h)
- NHT= Número de horas del Turno (h)
- NTM= Número de Turnos al Mes

Para calcular el Tiempo Base (Tb) en minutos/ha se emplea la siguiente ecuación:

$$Tb = \frac{NHT \times 60}{S} \quad (2)$$

donde:

- Tb= Tiempo base de entrega del agua a dar al canal considerado (min/ha)

Sin embargo, dicho caudal deberá encontrarse en el rango del “Módulo de Manejo” (MM) dado que se entrega el caudal a un agricultor por vez, mientras que si el caudal (M) que resulta del cálculo es superior al mismo, habrá que dividir a la hijuela en dos o tres tramos a fin de satisfacer el M

Para realizar el turnado de riego se seguirá el concepto de que el caudal a entregar en cada canal terciario (hijuela) va a encontrarse entre un valor mínimo y máximo comprendido dentro del módulo de manejo.

En el tramo inicial del canal principal, con suelos franco a franco arcillosos, de cierta pendiente y predominancia de surcos con pendiente se buscará entregar bajos caudales y en la zona final del canal principal, con suelos arenosos, menor pendiente y surcos anchos o melgas se entregarán caudales superiores al tramo inicial. De esta forma se podrá conseguir una mayor eficiencia en el uso interno del agua por parte del agricultor. Ello hará que el caudal y tiempo base

(minutos por hectárea) sean diferentes en cada grupo de canales con un mismo módulo, pero el volumen de agua a entregar por unidad de superficie va a ser igual en todos los casos.

Como existen canales con una gran superficie, que exigen valores elevados de caudal, se proseguirá luego con una división del caudal por tramos de canal, debiéndose colocar un aforador o compuerta para medir el agua en cada uno de los tramos. De esta forma se tendrán subsecciones de riego dentro de un canal de cierta magnitud que obligue a utilizar 2 o más módulos.

Pautas para establecer el turnado de riego

El establecimiento del sistema de turnado de riego tiene profundas implicancias en cuanto a la operación posterior de la red de riego, el requerimiento del tipo de infraestructura necesaria y la eficiencia por parte del regante dentro de la propiedad.

Es así que, logrando entregar caudales ubicados dentro del rango del “módulo de manejo” (MM) por parte del regante y acorde con las características de suelo y método de riego empleado, se puede lograr elevar consistentemente la eficiencia de riego interna.

Por ello, el establecimiento del turnado de riego se basará en los siguientes objetivos a lograr:

- El canal principal se manejará “con carga permanente”, con lo cual ya no se utilizarán más los partidores ó compartos automáticos y la entrega se realizará por aforo con compuertas y aforadores estratégicamente ubicados. Los aforadores serán preferentemente de lectura directa del caudal.
- El sistema de turnado estará basado en la entrega a cada regante del mismo volumen de agua. De esta forma, las hijuelas con distinta superficie empadronada recibirán diferentes caudales y en distintos tiempos para satisfacer el objetivo fijado.
- El regante deberá recibir en su propiedad un caudal compatible con un “módulo de manejo” (MM) a fin de lograr una buena eficiencia interna en el uso del agua.
- El caudal a entregar deberá ser compatible en la medida de lo posible con las características de cultivo, pendiente, suelo y método de riego de cada tramo del canal principal.
- El Intervalo Administrativo de Entrega del Agua (IA) deberá ser lo suficientemente corto de forma tal de propiciar el cultivo de especies hortícolas, a fin de permitir diversificar los cultivos y solucionar problemas de Intervalo entre Riegos en cultivos implantados sobre suelos arenosos o sueltos.
- El canal principal o matriz Reducción deberá tener la menor variación posible de caudales, dentro del turnado y entre turnados, a fin de reducir al máximo posible las pérdidas por causas administrativas.
- El caudal con que será abastecido el canal principal oscilará entre un valor máximo que no podrá exceder los 12 m³/s en los meses de máximo consumo y un caudal mínimo de 6 m³/s, por debajo del cual se ha visto por la experiencia de su administración de riego les cuesta mucho operarlo.

- La pérdida de conducción del canal principal y el Tiempo de llenado (TLI) de cada hijuela quedarán a cargo de la Administración de Riego. La pérdida de conducción de los canales secundarios y terciarios (hijuelas) quedará a cargo del usuario, al igual que las pérdidas por eficiencia en el uso interno del agua.

Con mira en los objetivos fijados, se seguirán las siguientes premisas para establecer el turnado:

- A cada canal derivado del canal principal (hijuelas) se le entregará un caudal compatible con un MM. En el caso de que, por razón de la superficie de la hijuela, sea necesario entregar un caudal mayor (M), se dividirá a la hijuela en tantas secciones como MM existan. En cada sección se colocará un aforador para controlar el caudal pasante en el tramo considerado.
- El “tiempo base” (Tb), en minutos por hectárea, deberá ser el mayor posible, de forma tal de favorecer una mejor aplicación del agua en el terreno por parte del agricultor.
- El Intervalo Administrativo del Agua (IA) será de 7,25 días, de forma tal de ir rotando el día y la hora de inicio del riego entre los agricultores.
- El proceso del riego se iniciará siempre con el llenado del canal (tiempo de llenado, TII) y el turnado comenzará desde aguas abajo hacia aguas arriba (desde la cola hacia la cabeza) del canal. De esa forma se eliminará uno de los varios factores de inequidad en la entrega del agua a los usuarios.
- La pérdida del canal principal será tomada en cuenta, de forma tal que cada hijuela reciba en su toma de cabecera el volumen de agua que le corresponde. El volumen de agua extra que habrá que dar para completar el llenado del canal antes del inicio del riego (Tiempo de Llenado) estará a cargo de la Administración del Agua. Las pérdidas de agua dentro de la hijuela no serán consideradas y serán a cargo del sistema de distribución dentro de cada una de ellas.
- El tramo inicial del canal principal atiende a métodos de riego por surco con pendientes y suelos medios a pesados con pendiente media a alta, por lo que recibirán MM de preferencia entre 30 a 120 l/s. El tramo final atiende a cultivos con suelos arenosos y con poca pendiente, por lo que se dará preferencia a la entrega de MM= 100 a 300 l/s. El tramo medio se encontrará con MM= 50 a 200 l/s.
- Se intentará establecer un caudal mínimo de conducción de 6000 l/s, a fin de que las obras a diseñar se encuentren en el rango de trabajo entre 6000 a 12000 l/s. Se observarán los resultados de M y Tb obtenidos en relación con las pautas fijadas.

Determinación de volúmenes y caudales necesarios para las IA seleccionadas

El Requerimiento de Riego para el Patrón de cultivos de la zona y la Dotación de Riego en litros por segundo y por hectárea, en adelante denominada como Dotación Máxima Estacional (DME) en l/s . ha, elaborado por FAO (2000)

Con dicha información, se han obtenido los siguientes parámetros:

$$\text{Volumen} = \text{Caudal(l/s)} \times \text{tiempo(segundos)} \quad (3)$$

$$Q_c = DME \times S \quad (4)$$

$$Vol = DME \times S \times \frac{\text{seg. mes}}{1000000000} \quad (\text{Hm}^3/\text{mes}) \quad (5)$$

$$Q_c = \frac{Vol}{1000000000 \times \text{seg. mes}} \quad (\text{l/s}) \quad (6)$$

$$Q = \frac{q \times \left(\frac{\text{n}^\circ \text{ días mes}}{IA} \right)}{NTM} \quad (\text{l/s}) \quad (7)$$

$$TTE(\text{días}) = \frac{(Vol/1000000000)}{Q \times 24 \times 3600} \quad (8)$$

Vol en Hm³ y Q en l/s

$$NTM = \frac{\text{n}^\circ \text{ días mes}}{IA} \quad (9)$$

NTM puede ser fijado también voluntariamente en meses de poco caudal, con valores de 1, 2 y 3 turnos al mes, ej.: en el mes de julio puede fijarse 1 solo turno al mes, agosto con 2 turnos al mes.

$$T_{\text{por Turno}} = \frac{TTPQ}{NTM} \quad (10)$$

donde:

DME= Dotación Máxima Estacional (l/sxha), valores mensuales obtenidos a través del estudio citado.

IA= Intervalo Administrativo de Riego Fijado (días)

NTM= Número de Turnos fijado en el mes considerado

Q_c= Caudal Continuo durante el mes considerado (l/s)

Q= Caudal fijado para entregar en el mes considerado (l/s)

Seg.mes= Segundos del mes considerado

Tiempo p/Q fijado= Tiempo de entrega del Caudal Q fijado (días y fracción)

TTE= tiempo Total de entrega para el Caudal fijado (días)

T_{por Turno}= Tiempo de Riego por Turno (días)

Vol. (Hm³/mes)= Volumen necesario de riego, (Hm³/mes)

La Tabla 8 da los valores obtenidos para el IA fijado:

Como se puede observar, el número total de turnos anuales va a ser de 39,4 turnos anuales

Calculo de turnado del canal principal con IA= 7,25 días

Se ha calculado el turnado de riego del canal principal (Matriz Reducción) para un IA= 7,25 días con ejemplos desarrollados para los meses de Abril, Mayo, Julio, Agosto, Setiembre, Octubre y Diciembre-Enero, a fin de poder determinar luego cuales son los caudales mínimos y máximos de diseño de las tomas y de las hijuelas.

Los parámetros determinados y fórmulas utilizadas son las siguientes:

. $Q_e = (Q)$ Caudal a erogar (l/s) en la boca – toma del canal principal (Matriz Reducción)

. Superf. Emp.= (ST) Superficie empadronada total a regar (ha)

. Sección= (NS) Número de Secciones en que se quiere dividir el canal principal

. Sup/Sección= (SS) Superficie empadronada que tendrá la Sección de Riego promedio (ha)

$$SS = ST/NS \quad (11)$$

Tiempo Total= (TT) Tiempo total en que se va a suministrar el agua (minutos)

$$TT = TTE \times 24 \times 60 \quad (12)$$

Tiempo/Sección= (TS) Tiempo por Sección de Riego (minutos)

$$TS = TT/NS \quad (13)$$

. Ef. Cond. Principal= (Ec) Eficiencia de conducción del canal principal (%)

**Tabla 8- Cálculo de Caudales y Turnos de Riego para un IA= 7,25 días
Canal Matriz Reducción - Proyecto Nuevo**

Mes	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
DME(l/s.ha)	0,03	0,19	0,39	0,67	0,82	0,92	0,92	0,67	0,44	0,28	0,11	0,03	
días/mes	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	
seg. Mes	2678400	2678400	2592000	2678400	2592000	2678400	2678400	2419200	2678400	2592000	2678400	2592000	
Vol (Hm3/mes)	1,1	6,7	13,4	23,7	28,1	32,6	32,6	21,4	15,6	9,6	3,9	1,0	190
q (l/s)	397	2514	5160	8865	10849	12172	12172	8865	5822	3705	1455	397	
Q (l/s)	6000	6000	6000	8865	10849	12172	12172	8865	6000	6000	6000	6000	
IA (días)	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	
T T E(días)	2,05	12,99	25,80	31,00	30,00	31,00	31,00	28,00	30,08	18,52	7,52	1,98	
Tpor Turno (días)	2,05	6,49	6,23	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,03	4,48	3,76	1,98	
NTM	1,00	2,00	4,14	4,28	4,14	4,28	4,28	3,86	4,28	4,14	2,00	1,00	39,38

. Q disponible=(Qd) Caudal disponible una vez afectado por la Eficiencia de Conducción (l/s)

$$Qd= Qex (Ec/100) \quad (14)$$

. Coef. Bruto= (Cb) Coeficiente bruto de riego (l/sxha),

$$Cb= Q/SS \quad (15)$$

. Coef. Neto= (Ce) Coeficiente neto de riego, descontado la eficiencia de conducción del canal principal (l/sxha)

$$Ce= Cb \times (Ec/100) \quad (16)$$

. L.canal= (LT) Longitud Total del canal principal (Km)

. Pérdida= (Pq) Pérdida total de caudal en el canal principal (l/s)

$$Pq= Q - \left(1 - \left(\frac{Ec}{100}\right)\right) \quad (17)$$

. P. cond.= (Pc) Pérdida de conducción en el canal principal (l/s x Km)

$$Pc= Pq/LT \quad (18)$$

Nº Orden= a fin de dar un número al canal o serie de canales que se han unificado. Este será el valor con el que se distinguirán los canales, en razón de que por espacio no se puede colocar toda la información

. Punto= Denominación del canal o de la serie de canales que se ha unificado

. CC= Código de Cauce del canal. Es una denominación que no se modifica y que sirve para verificar de no cometer errores en la numeración de los cauces.

. Sup. Emp= (Se) Superficie Empadronada de Canal o grupo de canales unificados, en hectáreas .

. Sup. Acum.= (Sac) Superficie Acumulada (ha), para control de la superficie total (ST)

. Dist. Parcial= (DP) Distancia parcial entre tomas de los canales, tomado desde la boca – toma (m).

. Inv. Progres.= (IP) Inversa de la Progresiva del canal. Longitud tomada desde la Toma mas alejada de la Boca – Toma del canal matriz (Km)

$$IP= LT- (DP/1000) \quad (19)$$

donde LT= Longitud total del canal principal (Km)

. Progres.= (P) Progresiva del canal. Longitud tomada desde la Boca – Toma del canal principal (Km)

$$P_i = P_{i-1} + (DP/1000) \quad (20)$$

donde:

P_i = Progresiva del punto i (Km)

P_{i-1} = Progresiva del punto anterior a i (Km)

. Q cont. Neces.= (Qc) Caudal contínuo necesario (l/s), para satisfacer el requerimiento de riego y pérdidas, si el caudal fuera constante durante todo el ciclo considerado. Es igual a la fórmula (4)

$$Q_c = DME \times S_e$$

. Mod. Base= (MM) Módulo Base ó Módulo de Manejo (l/s) establecido en función de las características de riego de las propiedades en la zona que domina la toma de la hijuela considerada. Para fijarlo se han tenido en cuenta el rango de valores de caudal citados en la Tabla 7 para los diferentes métodos de riego a utilizar dentro de la parcela.

. Tiempo Ent.= (TE) Tiempo de Entrega del módulo (horas)

$$TE = \left(\frac{q}{MM}\right) \times (TTE \times 24) \quad (21)$$

. T. Llenado (h)= (TLI) Tiempo de llenado del canal antes de iniciar el proceso de entrega del agua a los usuarios (horas). Valor estimado y ajustable en el tiempo en función de observación-

. T.Ent.(días)= (Tent.)Tiempo de Entrega del módulo, considerando el Tiempo de llenado del canal (días)

$$T_{ent} = \frac{TE + TLI}{24} \quad (22)$$

. T.acum.= Tiempo Acumulado de entrega del agua (días) en función del agrupamiento de los canales

. Grupo= Grupo de canales que se nuclean para lograr un módulo de manejo aceptable.

. Caud. Parc= (Q Parc) Caudal Parcial (l/s) obtenido en la agrupación de canales que se ha realizado. Siempre está relacionado al módulo de manejo.

. Sup. Grupo= (SG) Superficie empadronada (ha) del Grupo que se ha organizado.

. Tb incl. Pérdidas= (Tb(1))Tiempo base (minutos/hectárea) que tendrá el grupo de canales seleccionado, considerando también el Tiempo de Llenado de canales.

$$Tb(1) = TS/SS \quad (23)$$

. Tb incl. Pérd.= Tiempo base (minutos/hectárea) sin contar el Tiempo de llenado (TLI) que recibirán efectivamente los regantes

$$Tb = \frac{TS - (Tll \times 24 \times 60)}{SS} \quad (24)$$

. Vol.Entreg.= (Ve) Volumen entregado (Hm³/Turno) durante el turno de riego

$$Ve = \frac{M \times SG \times Tb}{1000000000} \quad (25)$$

. Vol Entreg= (Vte) Volumen entregado (Hm³/mes) durante el mes considerado

$$Vte = Ve \times NTM \quad (26)$$

. Caud. Ac. = (Qac) Caudal Acumulado en el canal principal, sin considerar su pérdida de conducción (l/s), acumulado desde el extremo mas alejado del canal hacia la boca-toma

. Pérdida= (Pc) Pérdida de agua por infiltración en el canal principal, en el tramo considerado (l/s)

$$Pc = Pq \times IP \quad (27)$$

. Q Total= (Qt) Caudal total de conducción en el canal principal, incluyendo las pérdidas por conducción (l/s)

$$Qt = Qac + P \quad (28)$$

RESULTADOS

Programación del riego en el canal Matriz Reducción

Programación del riego a nivel del canal matriz

En primer lugar, se realizó el cálculo del número de turnos, caudales de entrega en boca-toma, etc., los cuales se muestran en la Tabla 8. Se observa que para el mes de agosto, por ejemplo, para un volumen a entregar en el mes de 7,1 Hm³, el caudal a derivar en boca-toma es de 6.000 l/s, con un total de 2 turnos para dar todo el volumen mensual necesario. Cada turno es de 6,85 días y el volumen total se dará en 13,70 días. Mientras que para diciembre, se tiene un volumen a entregar de 32,5 Hm³, derivando 12.118 l/s, entregando 4,28 turnos en el mes de 7,25 días cada uno, con un tiempo total de riego de 31 días (caudal permanente en el canal principal). Posteriormente se decidió confeccionar la programación para 3 alternativas: mínima (mes de agosto), media (mes de octubre) y de máxima (meses de enero-febrero). La Tabla 9 da un ejemplo de los resultados obtenidos para el mes de Agosto, que es la alternativa de mínima. La información obtenida para cada alternativa indica que se pueden realizar algunas unificaciones de hijuelas a fin de mejorar el funcionamiento del sistema en general. La Tabla 10 da un ejemplo para los meses de Diciembre-Enero.

Se calculó el Turnado de Riego para los 60 canales, agrupados en 49 Grupos. Se ha confeccionado un Cuadro Resumen de todo el Sistema para los meses de Diciembre – Enero y con IA = 7,25 días, que es intervalo administrativo seleccionado.

En cada Grupo se han establecido las Secciones de Riego si hubieren sido necesarias, determinando en un plano donde se ubican los Puntos de Control de cada Sección. El criterio seguido para establecer la Sección de Riego fue un conjunto de pautas que deben funcionar en forma equilibrada, esto es, el módulo (M) a entregar debe estar de acuerdo al Módulo de Manejo (MM) que manejará el agricultor y a su vez, el MM estará en función de la superficie promedio del predio en el sector que se esté considerando. Por ejemplo, en sectores con superficies de parcela de 0,5 ha a 1,5 ha se dan MM menores que en sectores con superficies de parcela de 10 a 20 ha. Esto incidirá también en el Tiempo base (Tb) puesto que en el primer caso se obtendrán mayores Tb por unidad de superficie que en el caso de superficies mayores. Ello incidirá en forma directa en lograr un incremento en la eficiencia de riego dentro de la parcela.

Como el Tiempo de llenado se descuenta del Tiempo de Riego Total a fin de que cada agricultor reciba igual volumen de agua, se ha calculado la longitud de la higuera por la cual riega y el Tiempo de Llenado correspondiente, considerando un tiempo parejo de 47 minutos/Km de longitud.

A través de la consulta de las planillas desarrolladas se pueden ver ejemplos de los criterios seguidos. Por ejemplo, el Grupo 11 que comprende las hijuelas Carreras, Hijuelas 13, 14, 15, 16, 16ª, 17 y 18 de la Rama Viejo Reducción, comprende una superficie total de 476,8896 ha. La misma ha sido subdividida en 4 secciones de diferente superficie, acorde con el tamaño de las parcelas que comprenden. Es así que tienen los siguientes valores:

Sección	Superficie (ha)	Parcela Prom(ha)	Módulo (l/s)	Tb (min/ha)
1	182,3837	3,20	176	57,24
2	110,4956	2,70	106	94,48
3	123,6508	3,99	119	84,43
4	60,3595	0,92	60	172,96
Total	476,8896	2,46	459	21,89

Como se puede observar, la Sección 4 se encuentra compuesta por parcelas con un promedio de superficie de 0,92 ha y a ellas se las dotará con un caudal pequeño, de 60 l/s, pero con un Tb mayor de 172,96 min/ha, mientras que la Sección 1 tiene una parcela promedio de 3,20 ha, un M = 176 l/s y un Tb = 57,24 min/ha. De esta forma se espera lograr una mejor eficiencia en el manejo del agua dentro de la propiedad, a través de dar los caudales y tiempos de riego mas adecuados en cada caso.

Programación del turno a nivel parcelario

A partir del cálculo anterior, se fueron agrupando las hijuelas cercanas a fin de formar grupos que totalizaran un Módulo de Manejo (M) que se encontrará entre un mínimo de 60 l/s y puede llegar hasta 119 l/s, según la zona en el canal principal que se encuentre. Se obtuvieron los caudales (l/s) y tiempos bases (min/ha) para cada canal o higuera, agrupados en función de un M adecuado para lograr una adecuada eficiencia de riego dentro de la propiedad. Dichos valores son generales para todo el Grupo y solo dan idea de cómo se planificará la distribución de caudales entre todo el sistema de riego.

El trabajo actual consiste en la realización del Turnado de Riego para cada parcela en Cada Grupo e hijuela considerada. Para ello, partiendo del Módulo (M) de entrega asignado al Grupo de canales y su tiempo base (Tb), se ha tomado cada hijuela en forma individual y dentro de ellas las parcelas que las comprende y se les ha calculado el Tiempo de Entrega del Agua (T.Entrega) en horas que le corresponde de acuerdo a su Tb y a la superficie empadronada. Para calcular el Tiempo de Llenado (T.Ll.) en horas de la hijuela, considerando la premisa de que primero se llenará el canal con agua y luego se inicia el turnado, se ha calculado la longitud del cauce y se ha considerado que se llenará en un tiempo de 47 minutos/Km (Av.). Dicho valor deberá ser reajustado posteriormente cuando se ponga en operación este sistema, en función de las características del cauce, caudal a conducir, estado de conservación, etc.

Con dicho cálculo se obtendrá el Tiempo de Entrega Total en horas y en días, para luego comenzar a acumular el Tiempo de Entrega hasta obtener los 7,25 días del Turnado establecido.

Para establecer el horario de riego, se ha considerado que en algún momento, el inicio del turnado será a las 07:00:00 horas y que comprenderá un total de 174 horas (7,25 días), debiendo finalizar a las 13:00:00 horas. De esta forma, cada propiedad tiene su tiempo de inicio y finalización del turnado establecido. Dicho procedimiento podrá realizarse semanalmente, apoyado por un programa de computación que facilite esta tarea. El Cuadro 11 muestra un ejemplo para un grupo de canales.

Determinación de características de operación en el canal principal

En base a las programaciones realizadas se determinaron los caudales mínimos y máximos que se debe conducir en el canal principal para satisfacer los volúmenes requeridos y la eficiencia buscada a través de un adecuado módulo de manejo. Para tal finalidad se seleccionó dar un mínimo de 6.000 l/s durante los meses de Abril, Mayo, Julio, Agosto y Setiembre. Durante el mes de octubre se dará un caudal de 8710 l/s y para diciembre y enero se darán 12.118 l/s como caudal máximo.

Con los resultados obtenidos se puede establecer el diseño del canal principal, considerando los caudales pasantes luego de cada toma de hijuela, como así también los rangos de los módulos. La Tabla 12 da los valores seleccionados

Tabla 9

CANAL MATRIZ REDUCCION
CALCULO TURNADO ALTERNATIVA DE MINIMA (Agosto)

Mes de Ejemplo= Agosto	Caudal (l/s)= 6000		
Vol a incorporar (Hm3)= 6,70	Tiempo/Secc.(días)= 7,25	Ef. Cond.ppal= 93	L.canal= 39,3660 Km
IA (días)= 7,25	Total minutos= 9346	Q disponible= 6000	Pérdida= 420 l/s
T T Entrega(d)= 6,49	min/Sección= 9346	Coef.bruto= 0,4732	P. cond.= 10,6718 l/s.Km
Nº Turnos /mes= 2,00	Sup/Seco(ha)= 12680	Coef. Neto= 0,4401	
nº Secciones= 1			

nº	Sup. Emp (ha)	Progresiva (Km)	Mód. Base (l/s)	T.Ent (días)	T.Acum (d.)	Grupo	Caud.Par (Vs)	Sup. Grupo (ha)	Tb (min/ha) incluíd.pérd.	Tb (min/ha) sin Tllen.	Vol. Entreg (Hm3/mes)	Caud. Ac (l/s)	Cál.pérd. (l/s)	Q total (l/s)
0	12679,8589	0,00										5890	420	6310
1	39,1000	1,80	84	1,35	1,35	1						5890	401	6291
2	47,0648	2,65	84	1,67	3,03	1						5890	392	6282
3	49,8373	3,22	84	1,74	4,77	1						5890	386	6275
4	49,1131	3,93	84	1,72	6,49	1	84	185,22	50,46	49,18	0,091	5890	378	6268
5	155,1659	3,93	70	6,49		2	70	204,28	45,75	44,61	0,077	5806	378	6184
6	248,2460	5,72	111	6,49		3	111	403,41	23,17	22,14	0,119	5736	359	6095
7	83,7096		37	6,49		4	37	83,71	111,64	110,68	0,041	5625	0	5625
8	168,6212	7,89	76	6,49		5	76	252,33	37,04	35,98	0,083	5588	336	5923
9	115,8501		51	6,49		6	51	284,48	32,85	31,69	0,056	5511	0	5511
10	182,8840	9,76	83	6,49		7	83	298,54	31,30	30,40	0,090	5460	316	5776
11	138,7240	10,51	85	4,79	4,79	8						5377	308	5685
12	49,6510		85	1,70	6,49	8	85	188,38	49,61	47,93	0,092	5377	0	5377
13	163,8554	11,28	91	5,38	5,38	9						5292	300	5591
14	34,0366		91	1,11	6,49	9	91	197,89	47,20	46,95	0,101	5292	0	5292
15	476,8896	12,04	243	6,49		10	243	510,93	18,29	15,69	0,234	5201	292	5493
16	66,6428		30	6,49		11	30	66,64	140,23	139,12	0,033	4958	0	4958
17	55,2720	12,70	47	3,41	3,41	12						4928	285	5213
18	15,8378		47	0,97	4,38	12						4928	0	4928
19	17,9328	13,80	47	1,13	5,51	12						4928	273	5201
20	15,5926		47	0,98	6,49	12	47	33,53	278,76	277,44	0,052	4928	0	4928
21	65,8693	14,21	30	6,49		13	30	81,46	114,72	112,11	0,032	4881	268	5150
22	58,1318	14,63	54	3,22	3,22	14						4852	264	5116
23	59,9022		54	3,27	6,49	14	54	118,03	79,16	76,46	0,058	4852	0	4852
24	35,3278	15,09	58	1,81	1,81	15						4798	259	5057
25	92,1166		58	4,68	6,49	15	58	127,44	73,33	71,56	0,064	4798	0	4798
26	38,2848	15,71	62	1,82	1,82	16						4740	252	4992
27	99,8475		62	4,67	6,49	16	62	138,13	67,66	64,24	0,066	4740	0	4740
28	746,7352	16,32	385	6,49		17	385	975,98	9,58	7,88	0,346	4677	246	4923
29	84,2310	17,26	38	6,49		18	38	84,23	110,95	109,41	0,042	4692	236	4928
30	95,9056	17,77	43	6,49		19	43	180,14	51,88	50,50	0,047	4255	230	4485
31	116,6304		52	6,49		20	52	212,54	43,97	42,14	0,056	4211	0	4211
32	155,3985		72	6,49		21	72	367,93	25,40	23,10	0,073	4159	0	4159
33	268,1428	18,67	120	6,49		22	120	268,14	34,85	34,34	0,132	4087	221	4308
34	24,1804	18,75	55	1,27	1,27	23						3968	220	4188
35	99,1573	20,87	55	5,22	6,49	23	55	123,34	75,77	75,38	0,061	3968	197	4165
36	393,0126	21,62	182	6,49		24	182	492,17	18,99	17,94	0,193	3913	190	4103
37	407,4772	21,96	184	6,49		25	184	899,65	10,39	10,10	0,201	3731	186	3917
38	40,8751	22,05	88	1,32	1,32	26						3547	185	3731
39	154,6266	23,14	88	5,17	6,49	26	88	154,63	60,44	55,48	0,091	3547	173	3720
40	868,7882	24,01	405	6,49		27	405	868,79	10,76	10,16	0,429	3458	164	3622
41	171,7695	25,08	77	6,49		28	77	171,77	54,41	53,28	0,085	3053	152	3206
42	340,5093		154	6,49		29	154	340,51	27,45	26,63	0,168	2976	0	2976
43	202,6605	25,86	91	6,49		30	91	202,66	46,11	45,38	0,100	2822	144	2966
44	661,8170	26,34	301	6,49		31	301	661,82	14,12	13,66	0,327	2731	139	2870
45	188,5158		86	6,49		32	86	188,52	49,57	47,92	0,093	2490	0	2490
46	176,0617	27,39	79	6,49		33	79	176,06	53,08	51,86	0,087	2344	128	2472
47	224,6970	27,89	102	6,49		34	102	224,70	41,59	40,25	0,111	2265	122	2387
48	311,4257		142	6,49		35	142	311,43	30,01	29,04	0,154	2163	0	2163
49	426,6234	29,38	194	6,49		36	194	426,62	21,91	21,17	0,211	2021	107	2128
50	301,4839	30,06	140	6,49		37	140	301,48	31,00	29,38	0,149	1827	99	1926
51	989,0597	31,22	502	6,49		38	502	989,06	9,45	8,19	0,488	1687	87	1774
52	400,2922		187	6,49		39	187	400,29	23,35	21,95	0,198	1185	0	1185
53	368,1989	33,04	166	6,49		40	166	368,20	25,38	24,84	0,182	997	67	1065
54	180,0000	34,94	80	6,49		41	80	180,00	51,92	51,57	0,089	832	47	879
55	235,8950	35,34	104	6,49		42	104	235,90	39,62	39,44	0,116	752	43	795
56	500,1105	36,01	226	6,49		43	226	500,11	18,69	18,17	0,247	648	36	683
57	167,4191	38,11	70	6,49		44	70	167,42	59,37	58,35	0,078	421	13	435
58	134,0000	38,76	60	6,49		45	60	134,00	69,74	68,83	0,066	351	6	357
59	248,4630	39,36	114	6,49		46	114	248,45	37,62	36,02	0,123	291	0	291
60	383,1892		177	6,49		47	177	383,19	24,39	23,25	0,189	177	0	177
60	12679,8589		169	224,76		47		12679,86			6,22			

Tabla 10

CALCULO TURNADO ALTERNATIVA DE MAXIMA (Diciembre - Enero)

Mes de Ejemplo:	Diciembre-Enero	Qe. (l/s)=	12000				
Vol a incorporar (Hm3)=	32,6	T/Sección (d)=	7,25	Ef. Cond.ppal=	93 %		
IA (días)=	7,25	Total minutos=	10440	Q disponible=	12000 l/s	L.canal=	39,36 Km
T T Entrega(d)=	7,25	min/Sección=	1	Coef.bruto=	0,95 l/s.ha	Pérdida	840 l/s
Nº Turnos /mes=	4,28	Sup. Tot. (ha)=	12679,86	Coef. Neto=	0,88 l/s.ha	conducc.	21,3436 l/s.Km
nº Secciones=	1	Sup/Secc(ha)=	12679,86				

nº	Sup. Emp (ha)	Progresiva (Km)	Mód. Base (l/s)	T. Entrega (h)	Tiempo llenado(h)	T.Ent (días)	T.Acum (d.)	Grupo	Caud.Par (l/s)	Tb (min/ha) sin Tllen.	Vol. Entreg. (Hm3/mes)	Caud. Ac (l/s)	Cál.pérd. (l/s)	Q total (l/s)
0	12679,8589	0,00										11249	840	12089
1	39,1000	1,80	74	78,04	0,42	3,27	3,27	1				11249	802	12051
2	47,0648	2,65	74	93,94	1,60	3,98	7,25	1	74	119,75	0,195	11249	783	12033
3	49,9373	3,22	85	86,76	0,91	3,65	3,65	2				11175	771	11947
4	49,1131	3,93	85	85,33	1,00	3,60	7,25	2	85	104,24	0,225	11175	756	11932
5	155,1659	3,93	134	170,12	3,88	7,25		3	134	65,78	0,352	11091	756	11847
6	248,2460	5,72	214	170,96	3,05	7,25		4	214	41,32	0,563	10956	718	11674
7	83,7096		71	172,51	1,48	7,25		5	71	123,66	0,190	10743	718	10743
8	168,6212	7,89	146	169,56	4,44	7,25		6	146	60,33	0,382	10671	672	11343
9	115,8601		99	172,47	1,53	7,25		7	99	89,32	0,263	10525	672	10525
10	182,6840	9,76	159	169,51	4,50	7,25		8	159	55,67	0,414	10426	632	11058
11	138,7240	10,51	163	125,07	3,39	5,35	5,35	9				10268	616	10884
12	49,6510		163	44,76	0,78	1,90	7,25	9	163	55,17	0,436	10268	616	10268
13	163,9554	11,28	173	139,07	5,24	6,01	6,01	10				10105	599	10704
14	34,0366		173	28,87	0,83	1,24	7,25	10	173	52,48	0,463	10105	599	10105
15	476,8896	12,04	459	152,70	21,30	7,25		11	459	17,84	1,075	9931	583	10514
16	66,6428		57	172,76	1,24	7,25		12	57	155,54	0,151	9472	583	9472
17	55,2720	12,70	61	134,21	1,27	5,65	5,65	13				9415	569	9984
18	15,8378		61	38,46	0,06	1,60	7,25	13	61	146,77	0,162	9415	569	9415
19	17,9328	13,80	86	30,58	0,99	1,32	1,32	14				9354	546	9900
20	15,5926		86	26,59	0,74	1,14	2,45	14				9354	546	9354
21	65,8693	14,21	86	112,31	2,80	4,80	7,25	14	86	125,55	0,227	9354	537	9891
22	58,1318	14,63	103	83,06	3,11	3,59	3,59	15				9268	528	9796

23	59,9022		103	85,59	2,25	3,66	7,25	15	103	87,31	0,273	9268	528	9268
24	35,3278	15,09	111	46,67	1,87	2,02	2,02	16				9165	518	9683
25	92,1166		111	121,69	3,77	5,23	7,25	16	111	80,14	0,292	9165	518	9165
26	38,2848	15,71	120	47,09	1,69	2,03	2,03	17				9054	505	9558
27	99,8475		120	122,81	2,42	5,22	7,25	17	120	74,53	0,316	9054	505	9054
28	745,7352	16,32	727	150,97	23,03	7,25		18	727	10,54	1,663	8934	492	9426
29	84,2310	17,26	72	171,82	2,16	7,25		19	72	122,40	0,191	8207	472	8679
30	95,9056	17,77	83	169,85	4,15	7,25		20	83	106,26	0,217	8135	461	8596
31	116,6304		100	171,69	2,33	7,25		21	100	88,32	0,264	8052	461	8052
32	155,3985		137	166,39	7,62	7,25		22	137	64,24	0,352	7952	461	7952
33	268,1428	18,67	230	171,72	2,29	7,25		23	230	38,42	0,608	7815	442	8256
34	24,1804	18,75	105	33,94	0,12	1,42	1,42	24				7585	440	8025
35	99,1573	20,87	105	139,16	0,81	5,83	7,25	24	105	84,25	0,280	7585	395	7980
36	393,0126	21,52	348	166,22	7,79	7,25		25	348	20,16	0,887	7480	381	7861
37	407,4772	21,96	353	169,67	4,33	7,25		26	353	24,98	0,924	7132	371	7504
38	40,8751	22,05	35	173,94	0,06	7,25		27	35	255,33	0,093	6779	369	7148
39	154,6266	23,14	134	169,80	4,20	7,25		28	134	65,89	0,351	6744	346	7091
40	868,7882	24,01	773	165,37	8,63	7,25		29	773	11,42	1,969	6610	328	6938
41	171,7695	25,08	148	170,76	3,23	7,25		30	148	59,65	0,389	5837	305	6142
42	340,5093		296	169,40	4,60	7,25		31	296	29,85	0,772	5689	305	5689
43	202,6605	25,86	174	171,51	2,49	7,25		32	174	50,78	0,459	5394	288	5682
44	661,8170	26,34	576	168,96	5,04	7,25		33	576	15,32	1,500	5220	278	5498
45	188,5158		164	168,81	5,20	7,25		34	164	53,73	0,427	4644	278	4644
46	176,0617	27,39	152	170,38	3,60	7,25		35	152	58,07	0,399	4479	255	4735
47	224,6970	27,89	196	168,99	5,03	7,25		36	196	45,12	0,509	4327	245	4572
48	311,4257		274	167,20	6,80	7,25		37	274	32,21	0,706	4132	245	4132
49	426,6234	29,38	372	168,77	5,23	7,25		38	372	23,74	0,967	3857	213	4070
50	301,4839	30,06	267	165,88	8,12	7,25		39	267	33,01	0,683	3486	198	3684
51	989,0597	31,22	950	153,20	20,83	7,25		40	950	9,29	2,242	3218	174	3392
52	400,2922		358	164,71	9,29	7,25		41	358	24,69	0,907	2268	174	2268
53	368,1989	33,04	317	170,69	3,31	7,25		42	317	27,81	0,835	1911	135	2046
54	180,0000	34,94	153	172,95	1,05	7,25		43	153	57,65	0,408	1593	94	1688
55	235,8950	35,34	200	173,40	0,70	7,25		44	200	44,08	0,534	1440	86	1526
56	500,1105	36,01	434	169,66	4,34	7,25		45	434	20,35	1,134	1240	72	1312
57	157,4191	38,11	135	171,34	2,66	7,25		46	135	65,31	0,357	806	27	833
58	134,0000	38,76	115	171,97	2,03	7,25		47	115	77,00	0,304	671	13	684
59	248,4530	39,36	218	167,39	6,61	7,25		48	218	40,42	0,563	557	0	557
60	383,1892		338	166,71	7,29	7,25		49	338	26,10	0,869	338	0	338
60	12679,8589				251,51			49	11249		28,74			

10,48
días

Vol. Ent. Sin pérdidas=
Vol. Ent. Con pérdidas=
Eficiencia=

28,74 Hm3
32,60 Hm3
88 %

Tabla II

CANAL MATRIZ REDUCCION
PROYECTO DISTRIBUCION DE CAUDALES

CUADRO RESUMEN

Mes= Agosto

Av.(min/Km)= 42

Grupo	nº orden	Sección	Canal	CC	S.Emp(ha)	L.Hij (m)	TII(h)	Qe(ks)	Tb		
									(min/vha)	Tbs/II.(min/vha)	
1	1		Funes	2022	39,1049	600	0,42				
	2		Hij 1(VR)	2058	47,0648	2286	1,6				
	3		Hij 2 (VR)	2059	49,9373	1605	1,12				
	4		Hij. 3 (VR)	2060	49,1131	2230	1,56				
Suma=					185,2201	3835	2,68	84	47,70	46,18	
2	5		Hij.3a,b(VR)	2060	80,0943	924	0,65				
			Hij.3c (VR)	2060	75,0716	4850	3,40				
Suma=					155,1659	5774	4,04	70	68,67	57,10	
3	6		Hij. 5 (VR)	2062	248,2460	4350	3,05	111	36,41	35,18	
4	7		Hij.6+7 (VR)	2063+2064	83,7096	2115	1,48	37	110,68	109,52	
5	8		Gaviola R1	2022	28,7852		0,00				
			Hij. 8 (VR)	2065	21,6025	1495	1,05				
			Hij 8a (VR)	2065	27,6746		0,00				
			Hij 9 (VR)	2066	90,5589	3940	2,69				
Suma=					168,6212	5335	3,73	76	54,01	52,68	
6	9		Gav2+Gav3	2022	115,8601	2185	1,53	51	86,89	86,10	
7	10		Hij1 R1 (NR)	2024	28,4417	400	0,28				
			Hij. 2 R1(NR)	2026	69,8408	870	0,61				
			Hij 10 (VR)	2067	94,4015	6630	4,64				
Suma=					182,6840	7900	5,53	83	46,58	44,76	
8	11		Hij 3 R1 (NR)	2027	49,4201	435	0,30				
			Hij 11 (VR)	2068	80,8859	4605	3,22				
Suma=	12		Hij. 4 R1(NR)	2028	49,6610	1115	0,78				
Suma=						179,9570	6155	4,31	85	40,89	39,45
9	13		Hij. 5 R1(NR)	2028	33,4782	115	0,08				
			Hij. 12 (VR)	2069	72,9671	3686	2,58				
			Hij. 12a (VR)	2073	16,8443	590	0,41				
			Hij. 12b (VR)	2073	15,4148	1310	0,92				
			Hij. 12c (VR)	2070	18,1425	810	0,57				
			Hij. 6 R1(NR)	2029	33,9812	1465	1,03				
Suma=					190,8281	7976	5,58	91	45,55	43,79	
10	15	1º	Hij. Carreras	2086	182,3837	11355	7,95	93	45,96	43,34	
		2º	Hij. 14 (VR)	2072	110,4956	6785	4,75	56	74,12	71,54	
		3º	Hij 13+16	2071+2075	123,6508	6875	4,81	63	69,29	66,95	
		4º	Hij 15+16a+17+18 (VR)	2074+2075	60,3595	6070	4,25	31	134,32	130,10	
Suma=					476,8896	31085	21,76	243	18,29	15,55	
11	16		Hij. 7 (NR)	2029	66,6428	4350	3,05	30	139,25	136,51	
12	17		Hij. 8 (NR)	2030	55,2720	1820	1,27				
	18		Hij. 9 (NR)	2612	15,8378	80	0,06				
	19		Hij. 10 (NR)	2031	17,9328	1420	0,99				
	20		Hij. 11 (NR)	2613	13,7696	935	0,65				

**CANAL MATRIZ REDUCCION
PROYECTO DISTRIBUCION DE CAUDALES**

Tabla 12

Grupo: 3
nº= 6

Mes= Agosto
Canal= Hij. 5 (VR)

TR(días)= 6,49
CC= 2062

Qe(l/s)= 111
S.Emp(ha)= $\frac{248,2460}{\text{Suma= } 248,2460}$

L.Hij (m)= 4045
Suma= 4045

Tb (min/ha)= 36,41
TII.(h)= $\frac{5,10}{\text{Suma= } 5,10}$

Tb S/TII.= 35,18
Av.(min/Km)= 42

Hijuela	Orden Riego	C.C.	P.P.	SUP.EMP.	L.Hij.(m)	TII.(h)	T.Riego (h)	T.total(h)	Inicio	Final	Qe(l/s)	T.Ac.(h)	Tac.(días)
5 (VR)	1	2062	9	50,0000	1555	1,09	30,35	31,43	7:00:00	14:26:03	111	31,43	1,31
	2	2062	8	49,0000			29,74	29,74	14:26:03	20:10:23	111	61,17	2,55
	3	2062	22	2,5303			1,54	1,54	20:10:23	21:42:31	111	62,71	2,61
	3	2062	23	1,0499			0,64	0,64	21:42:31	22:20:45	111	63,35	2,64
	4	2062	29	3,0209	2085	1,46	1,83	3,29	22:20:45	1:38:20	111	66,64	2,78
	5	2062	21	4,6960			2,85	2,85	1:38:20	4:29:20	111	69,49	2,90
	6	2062	25	4,5779			2,78	2,78	4:29:20	7:16:02	111	72,27	3,01
	7	2062	27	4,5197			2,74	2,74	7:16:02	10:00:37	111	75,01	3,13
	8	2062	19	4,7032	405	2,55	2,85	5,40	10:00:37	15:24:46	111	80,41	3,35
	9	2062	20	4,5068			2,74	2,74	15:24:46	18:08:53	111	83,15	3,46
	10	2062	26	4,5134			2,74	2,74	18:08:53	20:53:14	111	85,89	3,58
	11	2062	24	4,5741			2,78	2,78	20:53:14	23:39:48	111	88,66	3,69
	12	2062	28	19,9215			12,09	12,09	23:39:48	11:45:14	111	100,75	4,20
	13	2062	16	4,1175			2,50	2,50	11:45:14	14:15:11	111	103,25	4,30
	14	2062	17	3,8167			2,32	2,32	14:15:11	16:34:10	111	105,57	4,40
	15	2062	18	3,8660			2,35	2,35	16:34:10	18:54:56	111	107,92	4,50
	16	2062	2	3,7298			2,26	2,26	18:54:56	21:10:46	111	110,18	4,59
	17	2062	1	68,2730			41,44	41,44	21:10:46	14:36:55	111	151,62	6,32
18	2062	15	6,8293			4,14	4,14	14:36:55	18:45:36	111	155,76	6,49	
Total=	18			248,2460	4045	5,10	150,66	155,76	7:00:00	18:45:36	111	155,76	6,49

Sugerencias de secciones de caudal a dividir el canal principal

A partir de la información obtenida, se sugiere dividir al canal principal en tramos o secciones. La tabla 13 da un resumen de las secciones propuestas:

Tabla 13- Secciones sugeridas del Canal Matriz Reducción

Tramo, Progresivas (Km)	Caudal (l/s)
12.000	0,0 a 16,7
9.000	16,7 a 24,8
6.000	24,8 a 28,8
5.000	28,8 a 34,8
2.500	34,8 a 38,8

En cada sección de canal se deberá considerar la instalación de un vertedero para evacuar todo el caudal si fuera necesario ante una emergencia durante la operación del sistema

Evaluación y comentarios sobre el sistema de distribución propuesto

En base a los resultados obtenidos, se ha evaluado si los resultados logrados coinciden con las pautas elaboradas en el informe “Estudio de Pre-Factibilidad: Modernización Sistema de Riego Reducción-Los Andes. Anexo 2: Aptitud Agrícola, Oferta Hídrica y Demanda de Riego” elaborado dentro del Proyecto FAO ARG/00/008, se tienen los siguientes valores de eficiencias, que se observan en la Tabla 14:

Tabla 14- Valores establecidos de eficiencia en el uso del agua

Situación	Eficiencia			
	Conducción	Distribución interna	Aplicación	Global del Sistema
Sin Proyecto	0,65	0,91	62,2	0,37
Con Proyecto	0,93	0,91	62,2	0,53

Como se está estudiando la Situación “Con Proyecto”, el valor general de Eficiencia Global del Sistema es de 0,53 y si se consideran juntos la Eficiencia de Distribución Interna y la Eficiencia de Aplicación, queda que a nivel del sistema de distribución propiamente dicho, la eficiencia debe ser de 0,93.

Se han evaluado los resultados obtenidos y se ha generado la Tabla 14 para ver que eficiencia Global se va a lograr considerando las pérdidas por conducción y las por el Tiempo de Llenado de los canales. De ello surge que las pérdidas originadas por estos 2 conceptos es del 14,70% (Eficiencia = 0,853), por lo que la Eficiencia Global del Sistema (EGS) será:

$$EGS = 0,853 \times 0,91 \times 0,622 = 0,483 = 48,3\%$$

Existe en consecuencia un 4,71% menos de eficiencia debido a considerar el tiempo de Llenado de las hijuelas incluido en el Tiempo de Entrega del Agua a cargo de la Administración de Riego y no a cargo de los usuarios.

Como es un valor razonable y además se soluciona uno de los problemas de inequidad existente, referido a que los usuarios que se encuentran mas alejados de la boca –toma y últimos en las hijuelas son los mas perjudicados actualmente, se acepta este valor obtenido y la metodología seguida.

Pautas generales de operación del canal matriz y sus hijuelas

El canal matriz

El canal matriz ha sido concebido de ser operado en forma continua y con carga constante. Esto quiere decir que durante largos periodos de tiempo el canal va a tener un caudal constante y que a su vez van a existir muy poca variación del tirante a lo largo del mismo y en el tiempo.

Como se ha previsto que la administración de riego se haga cargo de las pérdidas en el canal matriz, el personal de tomeros encargado del matriz será responsable de operar el canal de forma tal que existan mínimas variaciones en el tirante. Ello obliga a que sea dicho personal el que va a operar las tomas de las hijuelas, a fin de prevenir variantes en el programa de operación del canal.

Por otra parte, existirán dos caudales límites, un mínimo de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ y un máximo de $12 \text{ m}^3/\text{s}$ que serán erogados durante los meses de mínima y máxima demanda respectivamente. Durante los periodos intermedios se erogarán caudales acordes con dicha demanda.

Como las pérdidas a lo largo del canal no van a ser uniformes, el personal del canal matriz deberá ir solicitando la regulación del mismo al Tomero encargado de la boca-toma, a fin de que se cumplan las premisas básicas de operación impuestas.

Las características del sistema de derivación impuesto a cada hijuela garantizan una adecuada exactitud en la entrega del agua, pero a su vez obliga a hacer funcionar el canal dentro de los rangos de caudales con que han sido diseñadas las mismas.

El tiempo de operación del canal va a depender de la época de riego. Es así que para el ejemplo desarrollado, el canal debería ser operado de la siguiente forma:

- **Agosto:** como va a tener solo dos Turnos de Riego ($\text{NTM} = 2$) de 6,85 días cada uno, convendrá iniciar el ciclo de riego a los $= 7,25 - 6,85 = 0,40$ y realizar los 2 turnos seguidos, para luego interrumpir el servicio de riego durante el resto del mes. O sea que el canal matriz se encontrará operando durante 13,70 días del mes de agosto. Este procedimiento va a permitir ahorrar importantes volúmenes de agua durante el proceso de llenado del canal y la permanencia de un tirante constante en el canal. Si hay cultivos anuales que requieran una frecuencia de riego de 15 días o menos, se va a tener que cambiar esa modalidad y dotar el canal semana por medio, o sea que se dota durante la primer semana y en la tercer semana del mes. Ello incrementará las pérdidas durante el llenado y por la operación intrínseca de las compuertas (pérdidas administrativas), pero prestará el servicio adecuado a los cultivos.

RANGO DE CAUDALES DE MANEJO

Tabla II

n° Ord.		Sup. Emp (ha)	Progresiva (Km)	Módulos		Caudal Toma Unificada	
				Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
0	Boca-Toma	12623,1124	0,00				
1	Hij. Funes	39,1000	2,49	62	90		
2	Hij. 1 (VR)	47,0648	2,89	62	90		
3	Hij. 2 (VR)	49,9373	3,48	62	91		
4	Hij. 3 + 3a(VR)	98,9074	4,22	65	91	155	235
5	Hij. 3b + 3c (VR)	155,1659	5,10	72	145		
6	Hij. 5(VR)	248,2460	5,98	114	230	197	307
7	Hij. 6+7(VR)	83,7096	5,98	77	88		
8	Gaviola R1(NR)+Hij. 8+ 8a+ 9(VR)	168,6212	7,38	78	158	154	264
9	Gav. R2 + R3 (NR)	115,8601	7,38	75	107		
10	Hij. 1 R1+2R1 (NR)+ Hij10 (VR)	182,6840	9,11	85	171		
11	Hij. 3 R1(NR)+Hij. 11(VR)	138,7240	9,88	64	129	139	220
12	Hij. 4 R1 (NR)	49,6510	10,13	75	91		
13	Hij. 5 R1+Hij 12, 12a,b,c(VR)	163,9554	10,49	76	154	147	236
14	Hij. 6 R1 (NR)	34,0366	10,88	66	82		
15	Hij. Carreras+Hij.13,14,15,16,16a,17,18(VR)	476,8896	11,36	243	488	314	549
16	Hij. 7 R1(NR)	66,6428	11,42	61	71		
17	Hij. 8 R2(NR)	55,2720	11,98	68	82	68	181
18	Hij. 9 R2(NR)	15,8378	12,06	68	99		
19	Hij. 10 R2(NR)	17,9328	12,71	68	99	68	99
20	Hij. 11 R2(NR)	13,7696	12,96	68	99		
21	Hij. Terzi	1,8230	13,05	79	99		
22	Hij. 12 R2 +13R2(NR)+ 19+20(VR)	65,8693	13,14	60	84		
23	Hij. 14 R3(NR)	58,1318	13,56	79	99	147	187
24	Hij. 15 R3(NR)	59,9022	13,75	63	88		
25	Hij. 16 R3(NR)	35,3278	14,01	63	88	86	173
26	Hij. 17 R3(NR)	92,1166	14,42	61	85		
27	Hij. 18 R3(NR)	38,2848	14,55	69	96	69	199
28	Hij. 19 R3(NR)	99,8475	14,72	51	103		
29	Nuevo Libertad+ California+ Hij. 20	579,4639	15,03	265	535	343	611
30	Hij. 21	81,9118	15,03	76	95		
31	Hij. 22	84,9496	16,30	78	102	245	418
32	Hij. 23	95,9056	16,72	64	97		
33	Hij. 24	116,6304	16,72	77	106		
34	Hij 25	155,3985	16,72	71	142		
35	Hij. N°1 Tittarilli	268,1428	17,53	127	255		
36	Toma d. Interagro	24,1804	17,68	75	102		
37	Hij. 2 - Forestal	99,1573	19,82	75	90		
38	Hij. 3a Ozan	393,0126	20,29	182	367		
40	Toma directa Egea	40,8751	20,90	75	102		
39	Hij. 3b - Gargantini	407,4772	20,98	194	390		
41	Hij. 3c	154,6266	21,98	72	145		
42	Hij. Ortega	868,7882	22,08	398	804		
43	Hij. 4 R1-Las Trojas	171,7695	24,12	80	161	239	481
44	Hij. 5- Bamac y otros	340,5093	24,42	159	320		
45	Hij. 6 - Calzetti y otros	202,6605	24,91	94	189		
46	Hij. 7	661,8170	25,38	308	621	396	798
47	Hij. 8 y 9	188,5158	25,90	88	177		
48	Hij. El globo	176,0617	26,21	82	165		
49	Hij. La Verde	311,4257	26,42	148	297	262	527
50	Hij. Las Higueras	224,6970	26,42	114	229		
51	Hij. Bestani	426,6234	28,26	204	410		
52	Hij. Furlani	301,4839	28,94	139	280		
53	Hij. La Florida	966,1598	30,11	439	886	621	1253
54	Hij. Pippi	400,2922	30,11	182	367		
55	Hij. La Serena	368,1989	32,09	171	344		
56	Hij. Vendimia Sur	180,0000	34,04	83	167		
57	Hij. Borone	235,8950	34,20	108	218		
58	Hij. La Bandera	500,1105	34,93	235	473		
59	Hij. Caruso	157,4191	36,96	74	150		
60	Hij. Vendimia Norte	134,0000	37,63	61	124		
61	Hij. El Mirador	248,4530	38,25	117	235		
62	Hij. Los Yoles+Las Yeguitas	383,1892	38,25	180	362		
	Total=	12623,1124		7030	12903		

- **Setiembre:** Durante este mes hay que dar 4 turnos (NTM = 4), de 6,47 días cada uno. Convendrá nuclear los turnos de a 2 por vez seguidos, de forma tal de comenzar el primer turno el día 1 y finalizar con el segundo turno al día (6,47 x 2 = 12,94) 13, dejar 4 días sin riego y proceder de nuevo a la entrega del 3° y 4° turno.

- **Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero:** se operará el canal en forma continua, sin interrupción, entregando la dotación que corresponda al mes considerado. El ajuste se realizará por el caudal a erogar en cada hijuela, conforme la programación realizada. De esta forma existirán muy pocas variaciones de tirante en el canal y se obtendrá la máxima eficiencia posible con dicho sistema. El personal de tomeros del canal matriz se dedicará a realizar los ajustes periódicos y control de las tomas de las hijuelas.

- **Marzo, Abril, Mayo y Junio:** se operará el canal siguiendo las pautas establecidas para el mes de Agosto.

Cabe señalar que, excepto los meses de máxima demanda, donde todos los usuarios desean regar, convendrá establecer en los otros meses el sistema de entrega por Demanda Controlada, explicado en otro lugar de este manual.

Las hijuelas

Cada hijuela va a formar un Grupo o va a ser parte de un grupo junto con otras similares. Todo ello dependerá del módulo de que se disponga y el Tiempo de Entrega del agua. El modelo realiza el cálculo para agrupar las hijuelas.

Una vez realizada la programación del turnado general para todo el sistema, se programa la entrega del agua dentro de cada una de las hijuelas.

En cada hijuela puede existir una o varias secciones de riego, dependiendo de la superficie y caudal que se encuentre ingresando en la toma de la misma. A este efecto, dentro de la hijuela se podrán dividir en secciones de riego, conforme el criterio de entregar un módulo superior a 60 l/s e inferior a 119 l/s para cada sección. De esta forma el modelo va asignando las secciones de riego conforme el criterio anterior, lo que posibilitará al usuario manejar caudales compatibles con una buena eficiencia de riego a nivel parcelario.

Dentro de cada hijuela se han seleccionado Puntos de Control (p.c.), que son lugares desde donde se puede derivar agua a un ramo (canal cuaternario) que abastece a una o varias propiedades. Conforme la magnitud de la hijuela pueden existir desde 1 solo p.c., ubicado en la toma de la hijuela a varios en el caso de superficies grandes y/o parcelas numerosas, encontrándose ubicadas en forma estratégica dentro de la misma.

El razonamiento seguido en el modelo es que compara el caudal de ingreso en un mes dado, con la relación ≥ 60 l/s. Si es mayor que 60 l/s e inferior a 119 l/s toda la hijuela o las hijuelas que componen el Grupo respectiva se comportarán como 1 sola sección de riego. Si el caudal es superior a 120 l/s, el modelo comienza a sumar los caudales necesarios en cada tramo de hijuela, dominado por un Punto de Control, que podrá ser en el futuro un aforador o compuerta que permita controlar el caudal que ingresa a la sección. Se van sumando los caudales hasta que el resultado es superior a 60 l/s y en ese momento se le asigna una sección de riego. En el caso de que luego de asignar las secciones se llegue al último o últimos p.c. y la suma no de un valor igual o superior a

60 l/s, se incorporan dichos sectores a la última sección que había sido asignada anteriormente, no importando en este caso que de un caudal superior a 119 l/s.

Las hijuelas pueden funcionar con caudal constante durante todo el Intervalo Administrativo (IA) de entrega del agua o bien durante solo una parte de dicho tiempo, cuando forma parte de un Grupo donde existen varias hijuelas. Se ha considerado el Tiempo de Llenado (TLL) de cada hijuela y ramo a fin de que el usuario reciba el volumen de agua necesario a su propiedad. El turno siempre comienza con un TLL de la hijuela y empieza a regar la parcela mas alejada de la toma de la hijuela yendo el avance del turno desde la cola hacia la cabeza del canal. Cuando finaliza la última parcela, comienza el turno nuevamente con su TLL. y de nuevo la parcela mas alejada de la toma.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Ciancaglino, N.C.** (1996) *“Operación de la red de riego”*. INTA. Curso de Capacitación a Distancia.
- Ciancaglino, N.C.** (1985) *“Conservación de Sistemas de Riego”*- Segundo Curso Internacional sobre Operación y Conservación de Distritos de Riego organizado por INCYTH-CRA. Mendoza, 157p.
- Ciancaglino, N.C.** (1986) *“Operación de la red de riego”*- Cátedra de Hidrología Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. Mendoza. 46p.
- FAO** (2001) *“Aptitud Agrícola, Oferta Hídrica y Demanda de Riego”*. Estudio de Pre-Factibilidad: Modernización Sistema de Riego Reducción-Los Andes. Anexo 2: Proyecto FAO ARG/00/008.
- Rebour, H. y M Deloye.** (1971) *El Riego*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid., 2º ed. 326 p. (p. 47)