552

22 MAYO 1979

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
FACULTAD DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE SUELOS

BIBLIOTECA
IREN

ESTUDIO DE TASAS DE RIEGO Y EFICIENCIA DE METODOS DE RIEGO PARA EL AREA DE CONVENTO VIEJO

Dr. LUIS GUROVICH R.
Ingeniero Agrónomo

Santiago, CHILE, Abril 1977

INTRODUCCION

Uno de los parámetros fundamentales que deben establecerse en todo proyecto de factibilidad o evaluación de recursos en los cuales el riego juege un papel importante, es la tasa de riego, o cantidad de agua que se utiliza - o debe utilizarse - por unidad de superficie, para regar.

La definición de tasa de riego así expresada es muy vaga. No indica quién ni cuando utiliza el agua para el riego, en qué forma ésta es utilizada, ni cual es el objetivo que se persigue en un riego específico para el cual se utiliza la cantidad de agua estimada como tasa de riego.

Definiremos más precisamente la tasa de riego como una relación entre el uso - consumo y la eficiencia de utilización del agua, de acuerdo con la ecuación 1.

$$TR = \frac{U.C.}{Eu} \qquad \text{Ecuación 1}$$

De acuerdo con esta definición, la tasa de riego es función directa de la variable Uso - Consumo (U.C.) e inversa de la variable Eficiencia de utilización (Eu). Sin embargo, existe una diferencia fundamental en el efecto de un cambio de alguna de estas dos variables sobre la tasa de riego, debido a que el Uso Consumo varía en un rango relativamente amplio, ya que es la resultante de tres procesos que interactúan:

- la demanda evaporativa de la atmósfera
- el contenido de agua del suelo
- el estado de desarrollo del cultivo.

Por otra parte, la eficiencia de aplicación (Ea), como la definiremos más adelante, es una variable contínua solamente en el rango de 0 a 1 (0 a 100%).

Por esto, una variación relativamente pequeña en la eficiencia de aplicación, tiene un efecto muy significativo sobre la tasa de riego, al compararlo con el efecto de una variación similar en el Uso consumo. De allí que debe estudiarse con cierto detalle los valores de eficiencia de aplicación que se usarán en los estudios de riego, con el fín de no sobre-estimar o sub-estimar las tasas de riego para los diferentes cultivos o suelos.

Definiremos como eficiencia de utilización a la resultante de la interacción de las eficiencias de tres condiciones de aplicación del agua durante el riego, de acuerdo con la ecuación 2.

$$Eu = Eap \times Eal \times Ed \qquad \text{Ecuación 2}$$

en que Eu es la eficiencia de utilización
Eap es la eficiencia de aplicación
Eal es la eficiencia de almacenamiento
Ed es la eficiencia de uniformidad

Esta definición de Eu es solamente válida a nivel predial. Nos interesa, en la determinación de la tasa de riego, tal como fue definida anteriormente, qué cantidad de agua debe utilizarse por unidad de superficie, a nivel del potrero que se está regando, sin considerar la pérdida que a nivel de zona puedan tener los canales de conducción, ni la reutilización o recuperación de las aguas en otros potreros o predios en la zona de riego. Esos procesos, con sus eficiencias correspondientes, deben incluirse en un balance hidrológico a nivel de cuencas, pero la tasa de riego corresponde a un valor a nivel de la unidad superficial continua que está regándose en una temporada determinada.

Entenderemos aquí como eficiencia de aplicación a la relación que existe entre el agua a la entrada del sector de riego y el agua que efectivamente quedó retenida en la zona radicular, de acuerdo a la ecuación 3:

$$Eap = \frac{V\ entrada - V\ salida}{V\ entrada} \qquad \text{Ecuación 3}$$

Esta eficiencia se ha definido en base a volúmenes de agua, que es la forma que se determina normalmente. Sin embargo, es posible traducir esta información a cualquier unidad de las comunmente utilizadas en riego, como caudales, cargas de agua, etc.

El volúmen de entrada corresponde a la cantidad total de agua que se hace entrar al sector del riego durante el tiempo que dure esta práctica. El volúmen de salida está representado por dos tipos de pérdida :

1. la cantidad total de agua que sale del sector de riego por escurrimiento superficial y no tiene la posibilidad de infiltrar al perfil, y

2. la cantidad total de agua que sale del sector de riego por percolación bajo la zona de arraigamiento del cultivo y no queda a disposición de las plantas.

Es así como una eficiencia de aplicación cercana al 100% no indica necesariamente un buen riego, ya que, de acuerdo con la definición de la ecuación 3, agregar un litro de agua a una hectárea de suelo relativamente seco, tendría una eficiencia de aplicación de 100%, ya que no habrían pérdida de ningún tipo.

Esta eficiencia de aplicación representa en realidad la eficiencia que debe utilizarse en aquellos estudios en que incluyan balances hidrológicos, ya que guarda relación con la técnica misma del riego. Si bien no indica si el riego es satisfactorio desde el punto de vista de una práctica agronómica, es el parámetro que indica cuanta agua del volumen total que se aplica por unidad de superficie, se utiliza para regar el suelo.

Sin embargo, además de minimizar las pérdidas de agua desde el sector de riego por escurrimiento superficial y por percolación profunda, o sea, además de mejorar la eficiencia de aplicación, debe tenerse en cuenta la segunda variable de la ecuación 2, la efi-

ciencia de almacenamiento, que se define como la relación entre el agua almacenada en el perfil como efecto del riego y el agua necesaria para llevar ese mismo perfil hasta capacidad de campo en toda la profundidad de arraigamiento del cultivo (Ecuación 4)

$$Eal = \frac{\text{Volúmen almacenado}}{\text{Volúmen necesario para CC}} \qquad \text{Ecuación 4}$$

Para un suelo con una velocidad de infiltración determinada, el volúmen almacenado dependerá del tiempo de riego; el volúmen necesario para llevar el perfil hasta la profundidad de arraigamiento del cultivo a capacidad de campo depende del contenido de agua antes del riego.

Tampoco en este caso una eficiencia de almacenamiento de 100% está indicando un riego adecuado, ya que es posible llevar el perfil del suelo hasta capacidad de campo pero con una pérdida por escurrimiento superficial y/o percolación profunda significativamente altas.

La última componente de la eficiencia de utilización es la eficiencia de uniformidad, definida como la relación entre el promedio de profundidad alcanzada por el agua en un perfil durante el riego y la desviación de este promedio para un número de puntos específicos de muestreo.

$$Ed = 1.0 - \frac{\Sigma x}{n M} \qquad \text{Ecuación 5}$$

En que Σx es la suma de los valores absolutos de la desviación de observaciones individuales con respecto al promedio de profundidades de mojado M, y n es el número de observaciones.

Así, mientras más pequeña sea la desviación respecto al promedio, o sea, mientras más uniforme sea la profundidad de mojado del perfil regado, mayor será la eficiencia de uniformidad.

El objetivo de esta parte del estudio es determinar las eficiencias de utilización del agua de riego a nivel predial, a través de una estimación de sus componentes, con determinaciones de campo, para el riego por tendido y por surcos en los diferentes tipos de suelos que se presentan en la zona de estudio.

Se incluye además, un análisis de los valores de eficiencia ehcontrados en condiciones reales de campo en el área de Convento Viejo, explicando las causas de valores relativamente bajos en algunos suelos y cultivos y altos en otras condiciones, así como una estimación del nivel de eficiencia recomendado para utilizar diferentes sistemas de riego en forma económica en esta zona en el futuro.

Metodología

a) Eficiencia de aplicación

Durante un riego normal dado por un agricultor en un potrero cercano a la ubicación del perfil característico del tipo de suelo (un radio no mayor de 500 m. de distancia de la calicata), se midió el volúmen total de agua que entró a un sector seleccionado, a través de aforos continuos de caudal en la acequia abastecedora.

Este aforo contínuo se determinó a partir de la velocidad de flujo de un flotador moviéndose en una sección de acequia previamente medida, utilizando la ecuación de Manning para establecer la velocidad de flujo promedio y el caudal en la acequia.

Un aforo similar se realizó en la zona más baja del sector de riego, hasta donde se canalizaron todas las posibles pérdidas por escurrimiento superficial.

A través del uso de la ecuación de infiltración y del tiempo de riego se determinó cuanta agua infiltró en el perfil durante el riego, y se estableció que cantidad de esta agua quedó realmente retenida en la zona de arraigamiento del cultivo, al estimarse la humedad existente al momento del riego en un 50% de la humedad aprovechable (capacidad de campo - punto de marchitez permanente) + 2).

b) Eficiencia del almacenamiento

Con los mismos datos anteriores, fue posible establecer que proporción del agua retenida en el suelo después del riego completó hasta capacidad de campo el perfil hasta la profundidad de arraigamiento del cultivo.

c) Eficiencia de uniformidad

Esta eficiencia se estimó en base a los parámetros señalados anteriormente y a la longitud del sector de riego que el agua debió recorrer hasta salir de éste por escurrimiento superficial.

Así fue posible determinar un modelo de frente de mojado del perfil que representa la uniformidad conseguida durante el riego.

El uso de esta metodología de determinación de los componentes de la eficiencia no es novedosa. Se encuentra descrito en varios textos que se relacionan con la materia, como "Irrigation of Agricultural Lands" Agronomy N°10. ed : R.M. Hagan. Capitulo 61; Irrigation Principles and Practices". Israelsen, Dand Hausen, ed Capítulo 13.

Los suelos considerados en este estudio se presentan en la Tabla Nº 1, donde se indica además sus características generales, que permitieron determinar las eficiencias de riego y las tasas de riego por cultivo.

TABLA Nº 1. Características de los suelos considerados.

Suelo Nº	Textura	Ubicación del perfil característico	CC %	PMP %	Db gr/cm^3	VI cm/hr.
1 Aluvial franco arenoso	0 - 94 arenosa franco gruesa 94 + arena + grava	3.5 km. al Sur Oeste de Chimbarongo	8	4	1,5	10
2 Aluvial franco arcillo arenoso	0 - 105 franco arcillo arenoso	3.5 km. al Norte de Nancagua	20	11	1.4	3
3 Arcilloso	0 - 120 arcilloso	Norte de Santa Cruz	45	30	1.2	0.1
4 Pumicítico	0 - 50 franco arenoso 50 + pomez	Al este de Marchigue	16	12	1.5	7
5 Granítico	0 - 40 franco arenoso 40 - 100 arcilla + grava	Valle de Nilahue	16	10	1.5	6

Tal como se definió en la Ecuación 1 la tasa de riego está determinada, además de la eficiencia de aplicación, por el uso consumo de los cultivos. Se ha definido al uso consumo de un cultivo como la cantidad de agua liberada hacia la atmósfera en forma de vapor, a través de los procesos de transpiración desde la parte aérea de la planta y de evaporación desde la superficie desnuda del suelo. Se incluye además la cantidad de agua que forma parte del tejido vegetal, y que, en general, no representa más de un 1% de la cantidad evapotranspirada durante una temporada de cultivo.

Existen muchos enfoques para determinar experimentalmente o para estimar en forma empírica el uso-consumo de los cultivos. Se han establecido fórmulas y procedimientos de cálculo para estimar el uso consumo en base a estadísticas meteorológicas, en que se utilizan datos de varios años consecutivos acerca de temperatura, humedad relativa, viento, horas de luz, radiación, etc.

Desafortunadamente, las estadísticas climatológicas en Chile no incluyen todos estos parámetros para todas las estaciones meteorológicas en operación. Asimismo, en aquellas en que determina este conjunto de parámetros, las estadísticas son relativamente recientes, por lo que se hace necesario adoptar un enfoque sencillo en la estimación del uso consumo, que permita utilizar el mayor número de datos disponible, y que es el conjunto de temperaturas, que

vienen registrándose en forma relativamente contínua desde 1930 en la zona del estudio.

Se ha realizado un estudio acerca de la confiabilidad de utilizar el enfoque de D. Papadakis (1965) en la estimación del uso consumo, al comparar los resultados obtenidos a través del uso de registros de temperaturas máximas medias y mínimas medias, con la evaporación de bandeja y con otros enfoques que incluyen otros parámetros meteorológicos, para estaciones experimentales donde existe un cierto volúmen de datos meteorológicos además de la temperatura.

Para la Estación Experimental de La Platina, en Santiago, se han analizado estos antecedentes. Sin embargo, los datos de evaporación de bandeja, radiación, velocidad de viento, etc., representan valores promedio para un número relativamente pequeño de años, por lo que tampoco los diferentes enfoques para la estimación del Uso consumo son lo suficientemente confiables para ser considerados reales.

Juan Tosso (1975) presentó un trabajo de comparación de enfoques de estimación de evapotranspiración, basado en datos de pocos años para algunas estaciones experimentales, concluyendo que el error de estimación atribuible a parámetros estimados, como velocidad del viento, humedad relativa, número de horas de luz y radiación neta es superior al máximo permisible estadísticamente, y que es posible establecer aproximadamente la evapotranspiración de un cultivo en una zona determinada, por cualquier enfoque que se utilice. Las variaciones encontradas entre enfoques serán inferiores al error que se comete en la estimación de parámetros que no se han medido por suficiente número de años.

Se seleccionaron la estación meteorológica "La Platina" en Santiago dependiente del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, y para la que existen estadísticas bastante completas y confiables acerca de valores climáticos diversos que permiten calcular la evapotranspiración potencial a través de diferentes enfoques.

El objetivo de este estudio es determinar si los valores de evapotranspiración potencial que se obtienen a través de diferentes enfoques son comparables entre sí estadísticamente, con el fin de utilizar un enfoque basado solamente en estadísticas térmicas, que son los conjuntos de datos más confiables y completos que existen para la mayoría de las estaciones meteorológicas del país.

La Tabla Nº 2 presenta los valores de evapotranspiración potencial (ETp) en mm mensuales, entre los años 1968 y 1975, para la Estación Meteorológica "La Platina", estimados de acuerdo con el enfoque de Blanney y Criddle (1950).

La Tabla Nº 3 presenta los resultados de las observaciones acerca de evaporación de bandeja (Clase A, U.S.D.A.) obtenidos para la Estación Meteorológica "La Platina" entre los años 1968 y 1975.

TABLA N°2 **EVAPOTRANSPIRACION** POTENCIAL SEGUN EL METODO DE BLANNEY Y CRIDDLE, " LA PLATINA "

AÑOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1968	161.2	156.3	101.9	51.5	37.5	23.4	29.7	44.9	57.0	69.7	107.7	127.4
1969	186.9	124.0	97.3	53.4	39.6	22.8	33.7	41.2	58.5	70.9	133.2	138.5
1970	138.8	123.2	101.9	73.2	23.5	19.5	26.3	38.1	55.2	74.7	132.0	125.2
1971	126.1	103.8	92.0	59.1	48.3	18.6	27.2	35.8	51.6	88.3	144.0	159.6
1972	140.4	166.7	127.4	62.4	39.6	24.3	25.4	37.8	54.0	88.8	126.6	163.6
1973	199.9	131.0	122.1	52.8	37.2	23.7	25.1	36.5	48.3	65.4	131.7	177.3
1974	232.5	148.9	93.6	64.2	36.2	19.5	24.1	43.7	62.1	87.4	100.5	177.3
1975	191.8	129.6	93.9	61.8	34.7	26.1	24.8	36.5	49.8	110.3	100.2	184.4
Promed.	172.2	135.4	103.7	59.8	38.7	22.2	27.0	39.2	54.5	81.6	121.9	156.6

TABLA N°3 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL SEGUN DETERMINACIONES DE BANDEJA DE EVAPORACION CLASE A,"LA PLATINA"

AÑOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
						mm/mes						
1968	221.8	183.0	150.0	69.6	71.4	44.3	33.7	56.0	77.7	95.8	155.1	191.3
1969	170.3	138.2	114.3	84.6	30.4	24.3	25.5	39.0	63.9	92.9	110.8	149.8
1970	180.0	139.3	115.2	102.0	59.2	21.8	15.0	33.3	60.3	88.4	77.1	144.3
1971	156.9	133.2	82.0	57.7	33.1	14.5	20.9	26.7	57.3	92.0	147.0	169.4
1972	194.6	132.0	99.0	69.2	20.8	9.6	15.3	16.6	40.8	58.9	108.3	186.4
1973	188.5	137.7	105.6	69.6	27.1	16.2	22.8	37.6	55.2	104.1	134.0	159.6
1974	167.7	124.1	104.9	68.9	30.8	23.7	20.3	44.6	51.8	84.0	117.9	153.7
1975	160.5	127.5	93.5	49.5	28.5	20.4	18.8	34.6	51.9	91.2	99.5	157.9
Prom.	180.0	139.3	108.0	72.6	37.7	21.8	21.5	36.0	57.3	88.4	118.7	164.3

La Tabla Nº 4 presenta los datos de evapotranspiración potencial para la estación meteorológica "La Platina", estimados según el enfoque de Tosso (1975).

TABLA Nº 4 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL SEGÚN EL METODO DE TOSSO, "LA PLATINA".

AÑOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1968												
1975												
Prom.	226.1	142.0	77.3	43.0	25.5	26.5	26.3	42.9	69.8	116.9	171.2	214.6

La Tabla Nº 5 presenta los valores de evapotranspiración potencial estimados de acuerdo al enfoque de Papadakis (1965). para la estación meteorológica "La Platina

TABLA N°5 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL SEGUN EL METODO DE PAPADAKIS, "LA PLATINA"

AÑOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
					mm							
1968	163	173	117	107	95	68	78	88	92	90	133	148
1969	177	168	142	107	83	49	86	69	92	101	131	148
1970	196	-	136	144	75	54	59	63	89	88	126	140
1971	147	147	125	105	94	52	58	63	82	99	148	150
1972	165	163	136	107	72	50	59	47	59	76	101	156
1973	170	146	124	98	71	56	50	69	77	83	117	134
1974	154	137	131	125	64	53	54	81	86	95	112	135
1975	150	145	125	108	83	69	51	59	75	107	107	151
Promedio	167	153	130	112	80	55	58	66	81	91	122	148

Los valores promedios de evapotranspiración potencial para los cuatro enfoques de estimación, se han graficado en el Cuadro Nº1, donde puede observarse que las diferencias entre ellos son de relativa poca importancia.

De los datos presentados en las cuatro Tablas anteriores, se hizo un análisis de regresión y se determinaron los coeficientes de correlación y el análisis estadístico (test de t-student) para establecer si los métodos de estimación de la evapotranspiración son comparables entre si estadísticamente y si es posible utilizar el método de Papadakis, para el cual existe la mayor información disponible en el país.

La Tabla Nº 5 resume el análisis de regresión y el análisis estadístico mencionado, al comparar cada método de estimación, con la evapotranspiración calculada a partir de datos de evaporación, de bandeja clase A, que es el método de estimación que más se aproxima a la situación real en condiciones de campo.

TABLA Nº 5. Análisis de regresión y análisis estadístico entre diferentes métodos de estimación de evapotranspiración, "La Platina".

	Ec. de regresión	Coeficiente de correlación	Valor de t-student 1%
Bandeja vs. Blanney y Criddle	y = 1.05x - 1.52	0.996	t calculado: 0.123 t tabla : 2.818
Bandeja vs. Método de Tosso	y = 0.75x + 4.01	0.994	t calculado: 0.912 t tabla : 2.218
Bandeja vs. Método de Papadakis	y = 1.38x - 56.6	0.968	t calculado: 0.9325 t tabla : 2.8188

De los valores presentados en la Tabla Nº 5 se concluye que es perfectamente posible, con un rango de error no superior a un 5%, utilizar el método de Papadakis para estimar la evapotranspiración en la zona de influencia de la Estación Meteorológica de "La Platina".

La metodología utilizada ha sido reunir los antecedentes de temperaturas máximas medias y mínimas medias mensuales de un período de 13 años, para las cuatro estaciones meteorológicas de la zona de estudio, que son :

Estación 1 :	Puente Arqueado	34º 17'5	71º 21' 30	w	119 m s n m
Estación 2 :	Rancagua	34º 35'5	70º 45'	w	500 m s n m
Estación 3 :	San Fernando	34º 47'5	71º 00'	w	350 m s n m
Estación 4 :	Curicó	34º 51'5	71º 13'	w	225 m s n m

Se estimó la evapotranspiración potencial, ETp mensual para los años de estudio, de acuerdo al enfoque de J. Papadakis, a través de la siguiente ecuación:

$$ETp = 5.625\ (ema - emi - 2) \qquad \text{Ecuación 6}$$

en que ETp expresa la evapotranspiración en milimetros por mes; ema = presión de vapor saturante en milibares, correspondiente a la temperatura máxima media mensual.

emi - 2 = presión de vapor saturante, en milibares, correspondiente a la temperatura mínima media mensual menos 2ºC (2 es la diferencia normal entre la temperatura mínima y la temperatura del punto de rocío).

La Tabla Nº 6 presenta los valores de presión de vapor saturante, en mm, multiplicados por 5.625.

TABLA Nº 6

°C	mm	°C	mm
0.0	32	17.4	112
0.1	34	17.7	114
0.6	36	18.0	116
1.4	38	18.3	118
2.1	40	18.5	120
2.8	42	18.8	122
3.5	44	18.0	124
4.1	46	19.3	126
4.7	48	19.5	128
5.3	50	19.8	130
5.8	52	20.0	132
6.4	54	20.3	134
6.9	56	20.6	136
7.4	58	20.8	138
7.9	60	21.0	140
8.4	62	21.2	142
8.9	64	21.5	144
9,3	66	21.7	146
9.8	68	21.9	148
10.2	70	22.2	150
10.6	72	22.4	152
11.0	74	22.6	154
11.4	76	22.8	156
11.8	78	23.0	158

TABLA Nº 6 (Continuación)

°C	mm	°C	mm
12.2	80	23.2	160
12.6	82	23.4	162
12.9	84	23.6	164
13.3	86	23.6	166
13.6	88	24.0	168
14.0	90	24.2	170
14.3	92	24.4	172
14.7	94	24.6	174
15.1	96	24.8	176
15.4	98	25.0	178
15.7	100	25.2	180
16.0	102	25.4	182
16.3	104	25.5	184
16.6	106	25.7	186
16.9	108	25.9	188
17.2	110	26.1	190
26.2	192	31.8	264
26.4	194	31.9	266
26.6	196	32.0	268
26.8	198	32.2	270
26.9	200	32.3	272
27.1	202	32.4	274
27.3	204	32.5	276
27.4	206	32.7	278
27.6	208	32.8	280
27.8	210	33.0	282
28.0	212	33.1	284
28.1	214	33.2	286
28.3	216	33.3	288
28.5	218	33.5	290
28.6	220	33.6	292
28.7	222	33.7	294
28.9	224	33.8	296
29.1	226	33.9	298
29.2	228	34.0	300
29.3	230	34.2	302
29.5	232	34.3	304
29.7	234	34.4	306
29.8	236	34.5	308
29.9	238	34.6	310
30.1	240	34.7	312
30.2	242	34.9	314
30.4	244	35.0	316
30.5	246	35.1	318
30.7	248	35.2	320
30.8	250	35.3	322
30.9	252	35.4	324
31.1	254	35.5	326
31.2	256	35.6	327
31.3	258	35.7	328
31.5	260	35.8	330
31.6	262	35.9	332
		36.0	334

TABLA N° 7. COEFICIENTES Kc PARA LOS DIFERENTES PERIODOS DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO PARA SER UTILIZADOS EN LA DETERMINACION DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL.

CULTIVO	% de la Estación de Crecimiento									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Alfalfa	0.55	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95	0.95	0.80	0.65	0.55
Avena, trigo primaver	0.15	0.20	0.30	0.40	0.55	0.75	0.85	0.90	0.90	0.30
Avena, trigo invierno	0.20	0.35	0.40	0.50	0.60	0.75	0.85	0.90	0.90	0.30
Arroz	0.80	0.85	1.05	1.20	1.30	1.30	1.20	1.10	0.90	0.50
Remolacha azucarera	0.30	0.45	0.70	0.80	0.85	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Frutal hoja caduca	0.20	0.35	0.65	0.70	0.75	0.70	0.60	0.50	0.30	0.20
Cítricos y paltos	0.45	0.50	0.55	0.60	0.60	0.63	0.60	0.50	0.45	0.45
Tomate	0.25	0.45	0.57	0.75	0.95	1.15	1.07	0.80	0.65	0.50
Maravilla	0.18	0.38	0.56	0.73	0.92	1.07	1.06	0.86	0.60	0.45
Hortalizas arraigamiento sup.	0.10	0.25	0.45	0.60	0.60	0.55	0.45	0.35	0.30	0.25
Nogales	0.30	0.35	0.55	0.75	0.75	0.75	0.65	0.50	0.30	0.15
Maíz	0.30	0.50	0.70	0.87	0.91	0.82	0.75	0.65	0.45	0.35
Melón, zapallo, Viña	0.10	0.25	0.40	0.60	0.60	0.55	0.45	0.30	0.20	0.10
Papas	0.15	0.25	0.45	0.65	0.85	0.95	0.95	0.85	0.85	0.85
Frejoles	0.15	0.35	0.53	0.72	0.88	0.91	0.82	0.66	0.51	0.33

Una vez estimada la evapotranspiración potencial, es necesario conocer el uso-consumo actual o real de cada cultivo que se desarrolla en las condiciones climáticas para las cuales se ha establecido la evapotranspiración potencial.

Para ello se ha utilizado coeficientes de evapotranspiración de cada cultivo, Kc, que se han recopilado de trabajos experimentales realizados en Chile y en el extranjero, y que se presentan en la Tabla Nº 7, de acuerdo con Tosso (1975). Agricultura técnica Vol 36 Nº 3.

La evapotranspiración real o actual de los diferentes cultivos, se obtiene al multiplicar la evapotranspiración potencial por el coeficiente del cultivo, de acuerdo con la ecuación 7.

$$ET\ real = Kc \times ETp \qquad \text{Ecuación 7}$$

En la Tabla Nº 7 se presentan los coeficientes Kc de varios cultivos, para los diferentes períodos de crecimiento de las plantas.

Como los resultados del estudio interesan bajo un punto de vista de tasa de riego mensual, en la Tabla Nº 8 se ha traducido la información de la Tabla anterior, estimándose el porcentaje de la estación de crecimiento que corresponde a cada mes del año, para los diferentes cultivos mencionados.

TABLA Nº 8 COEFICIENTE DE EVAPOTRANSPIRACION DE LOS CULTIVOS PRINCIPALES, SEGUN MES DEL AÑO

CULTIVOS	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb	Mar.	Abr.
Trigo (invierno)	0.75	0.85	0.90	0.30	-	-	-	-
Empastadas	0.57	0.60	0.65	0.76	0.90	0.95	0.85	0.80
Maíz	-	0.20	0.40	0.65	0.90	0.75	0.45	0.30
Arroz	-	0.82	1.10	1.25	1.28	0.80	0.60	-
Frejol	-	-	0.40	0.75	0.80	0.45	-	-
Maravilla	-	-	0.42	0.75	1.05	0.90	0.50	-
Trigo (primav.)	-	-	0.28	0.48	0.75	0.85	0.90	0.30
Papas	-	-	0.30	0.60	0.90	0.92	0.85	0.85
Frutal y Viña	0.28	0.63	0.72	0.70	0.55	0.44	0.30	-
Melón, Sandía	-	-	0.30	0.40	0.52	0.35	0.20	-

RESULTADOS

1.- Eficiencias de riego.

De acuerdo a lo explicado en el capítulo de Materiales y Métodos, se determinó un terreno la eficiencia de aplicación del agua durante el riego realizado por un agricultor típico en cada uno de los suelos considerados, para cultivos que se riegan por surco y por tendido.

Se midió el caudal de entrada de agua a un paño de riego determinado y se consideró todo el tiempo de riego para calcular el volumen total de agua aplicado. Al mismo tiempo se midió el escurrimiento superficial desde el paño de riego en forma similar.

La percolación profunda se calculó en base a la velocidad de infiltración básica del suelo y sus característica de retención de agua, presentadas en la Tabla Nº 1, y los tiempos de riego y dimensiones del paño de riego considerados, que se presentan en la Tabla Nº 9

TABLA Nº 9 TIEMPOS DE RIEGO Y DIMENSIONES DE LOS PAÑOS DE RIEGO EN LAS DETERMINACIONES REALIZADAS PARA EL ESTUDIO DE EFICIENCIA DE APLICACION

SUELO	UBICACION	RIEGO POR TENDIDO			RIEGO POR SURCO		
		Tiempo (mm)	Largo (m)	Ancho (m)	Tiempo (mm)	Largo del surco (m)	Dist.entre surcos (m)
Aluvial franco-arenoso	Chimbarongo	30	30	30	10	40	0.8
Aluvial franco-arcillo-arenoso	Nancagua	180	200	12	15	84	0.5
Arcilloso	Sta.Cruz	40	100	30	7	35	0.6
Pumicitico	Marchigue				2	20	0.60
Granítico	Nilahue				9	40	0.90

TABLA Nº 10 EFICIENCIA DE APLICACION DEL AGUA DE RIEGO

Suelo	Volúmen entrada m^3	Escurrimiento superficial m^3	Percolación profunda m^3	Eficiencia aplicación %
1. Aluvial franco arenoso				
a) Tendido	194.0	68.0	98.9	13.95
b) Surcos	5.61	0.89	1.84	51.50
2. Aluvial franco arcillo arenoso				
a) Tendido	92.1	-	-	100
b) Surcos	6.38	0.64	2.95	43.54
3. Arcilloso				
a) Tendido	232.1	-	-	100
b) Surcos	10.32	0.64	-	93.71
4. Pumicítico				
a) Tendido	No se riega por tendido			
b) Surcos	0.35	-	-	100
5. Granítico				
a) Tendido	No se riega por tendido			
b) Surcos	3.63	0.85	1.16	44.5

Los resultadis presentados en la Tabla Nº 10 indican que existen diferencias apreciables entre los diferentes suelos regados en cuanto a la eficiencia de aplicación, así como una diferencia marcada entre los dos métodos de riego, por surco y por tendidos.

En aquellos suelos que tienen mayor velocidad de infiltración, las pérdidas por percolación profunda bajo la zona radicular son de importancia. Es el caso del suelo aluvial franco arenoso, en que casi el 50 % de agua aplicada se pierde por percolación. Es posible que esta agua participe en las recuperaciones de rios y esteros aguas abajo y que en un balance hidrológico zonal pueda considerarse un uso más eficiente que el valor señalado (14%) ya que el agua se utiliza más de una vez para el riego en una cuenca determinada. Sin embargo, desde el punto de vista de un suelo individual, estas pérdidas son considerables. Si analizamos la causa de esta percolación profunda elevada en este suelo aluvial franco arenoso, aparte de su alta velocidad de infiltración vemos que el tiempo de riego es muy largo (30 minutos) en paños de riego de dimensiones relativamente pequeños. Es posible mejorar la eficiencia de aplicación en este suelo disminuyendo el tiempo de riego, de tal forma que el agua de riego esté en contacto con la superficie del suelo en tiempo suficiente para mojar hasta la profundidad de raíces y no provocar una percolación profunda significativa.

La otra causa de tan baja eficiencia de aplicación en el suelo aluvial franco-arenoso es el escurrimiento superficial, que es de aproximadamente un 30% del total de agua aplicada. Este escurrimiento se produce por un tiempo de riego muy largo en relación a las características de este suelo y una pendiente de aproximadamente un 1.5 a 2% que es demasiado grande para estos métodos de riego.

La eficiencia de aplicación del riego por tendido en el suelo aluvial franco-arenoso puede mejorarse desde el 14% determinado, a un 35% con la adopción de una serie de prácticas sencillas de manejo del riego, que no requiere de una inversión mayor en infraestructura, pero sí representan un esfuerzo significativo en extensión y capacitación de administradores y regadores agricola., Estre estas prácticas se encuentran :

1.- disminuir drásticamente los tiempos de riego

2.- nivelar o " emparejar" los suelos de tal manera de que la pendiente máxima en cada paño de riego no sobrepase el 0.7%

3.- canalizar o dirigir el agua en su flujo sobre el suelo durante el riego, ya sea utilizando el método de riego por corrugación o tendiendo a realizar cada vez más riegos por bordes, en aquellos cultivos que se adapten a estos sistemas

4.- utilizar caudales significativamente menores que los actuales durante el riego, para manejar en forma más adecuada el agua durante el riego y disminuir las pérdidas por escurrimiento superficial.

En el caso de mejorar la eficiencia de aplicación hasta el nivel señalado (30%) para el riego por tendido, resulta evidente que las tasas de riego calculadas más adelante disminuirán significativamente, con lo que puede disponerse de volúmen adicionales para el riego de otras areas.

En el caso de los suelos aluvial franco arcillo-arenoso y arcilloso, la eficiencia de aplicación medida es del 100% para el riego por tendido ya que el agricultor, a traves de sus prácticas de riego minimiza las pérdidas tanto por percolación profunda como por escurrimiento superficial. Sin embargo, como se verá más adelante, desde el punto de vista del riego mismo, esta alta eficiencia de aplicación está indicando un riego poco adecuado, ya que la uniformidad de distribución y almacenamiento del agua que resultan de este riego son bastante ineficientes.

Para el suelo aluvial franco-arcillo-arenoso, el paño de riego es exageradamente largo. Si bien con el tiempo de riego empleado no hay pérdidas de agua, en la cabecera del paño de riego, el agua penetra mucho más abajo que el límite de la zona radicular pero al final de este paño, el agua alcanza a profundizar solamente unos pocos centímetros. Por esto es que en promedio, en un paño de riego como el que se estudió en este caso, no hay pérdidas por percolación profunda, pero para adecuar más convenientemente el riego a las necesidades de los cultivos y asegurar una disponibilidad de agua para las plantas en forma homogenea en todo el paño de riego, esta eficiencia de riego debe disminuirse hasta un 45% apróximadamente. Cabe recordar que el método de riego por tendido, para que cumpla en forma adecuada su función de aporte de agua para las plantas, no debe alcanzar una eficiencia mayor que un 45%, ya que el agua debe fluir sobre la superficie del suelo por un tiempo determinado, para lograr una infiltración hasta la profundidad de raíces.

La práctica que debe hacerse en este caso es disminuir, el largo del paño de riego, hasta aproximadamente 70m, con lo que es posible disminuir también el tiempo de riego.

En el caso del suelo arcilloso el problema principal radica en el tiempo de riego, que es muy corto para las características de infiltración de este suelo que son muy lentas. Con el fin de lograr una penetración adecuada del agua de riego hasta la profundidad de las raíces, este tiempo debe alcanzar a 240 minutos, p para paños de riego de dimensiones superiores a lo utilizado normalmente, o sea, 150 m de largo y 45 metros de ancho. Con esto, la eficiencia de aplicación se llevará a 50% y se obtendrá un riego adecuado para los cultivos que crecen en ese suelo.

Los suelos puniciticos y grániticos se riegan en estos momentos en la zona de Convento Viejo con agua bombeada desde pozos, por lo que prácticamente no hay agricultores que rieguen por tendido. Dadas las características de infiltración, retención de agua, susceptibilidad a la erosión y topografía, esos suelos en general debieran regarse casi exclusivamente por aspersión, lo que implica una situación de inversión económica cuyo análisis escapa a este trabajo.

Para el riego por surcos, la eficiencia de aplicación es bastante alta en casi todos los suelos, lo cual no indica tampoco que el riego sea adecuado para suplir el deficit de agua del suelo provocado por la evapotranspiración de los cultivos. En general puede decirse que los tiempos de riego son muy cortos, variando entre 15 y 2 minutos, con lo que se consigue un escurrimiento superficial mínimo y prácticamente no hay percolación profunda en el

promedio del surco. Sin embargo, especialmente en los dos suelos aluviales es probable que en las cabeceras de los surcos, que son relativamente largos, se produzca una cierta percolación profunda bajo la zona radicular y al final de los surcos solo se alcance a unos pocos centímetros del perfil del suelo.

La eficiencia del riego por surco alcanza en el mejor de los casos a un 55% ya que el método está diseñado para perder agua al final del surco, por escurrimiento superficial, con el fin de lograr una infiltración adecuada en toda la profundidad del perfil. Para alcanzar esta eficiencia la inversión en infraestructura es algo superior al caso del riego por tendido, ya que se requiere construir una red de acequias de abastecimiento y de recepción de derrames, con algunos elementos sencillos de control de caudales, así como el uso de sifones y otros implementos de riego. Sin embargo, la inversión más onerosa que debe realizarse para alcanzar una eficiencia adecuada de aplicación en el riego por surco es el esfuerzo en capacitación y extensión agrícola a nivel de productores, administradores y regadores.

La Tabla Nº 11 presenta los resultados del cálculo de la eficiencia de almacenamiento del agua de riego en relación a la recuperación del contenido de agua hasta capacidad de campo en todo el perfil después del riego, tal como fue definida en la Ecuación Nº 4.

TABLA Nº 11 EFICIENCIA DE ALMACENAMIENTO DEL AGUA DE RIEGO

SUELO	V Almacenado m^3	V Necesario m^3	Eficiencia de almacenamiento
1. Aluvial franco arenoso			
a) Tendido	126.0	27.0	100 %
b) Surco	4.72	2.88	100 %
2. Aluvial franco arcilloso			
a) Tendido	92.1	158.7	58 %
b) Surco	5.73	2.77	100 %
3. Arcilloso			
a) Tendido	232.0	324.0	71%
b) Surco	9.67	18.9	49%
4. Pumicítico			
a) Tendido	-	-	-
b) Surco	0.345	0.432	79 %
5. Granítico			
a) Tendido	-	-	-
b) Surco	2.78	1.62	100 %

Como puede observarse en la Tabla Nº 11, en varios casos el riego no suple hasta capacidad de Campo todo el perfil y esto es especialmente evidente en el caso del suelo aluvial franco arcillo-arenoso, por lo exageradamente largo de los paños de riego y el suelo arcilloso, por el tiempo de riego tan breve. Es interesante notar que en los suelos Pumicitico y Granítico, donde existe una mayor especialización en el riego por surco, este cumple en gran medida con una relativamente alta eficiencia de almacenamiento.

Adoptandose las prácticas de mejoramiento del riego señaladas anteriormente, la eficiencia del almacenamiento en la mayoría de los suelos, para ambos métodos de riego, alcanzará valores del 100%, lo que es deseable desde el punto de vista de los cultivos.

La Tabla Nº 12 presenta la estimación de la eficiencia de distribución de agua de riego en el perfil del suelo, que resulta de las características de cada uno de ellos, para las mediciones realizadas en terreno.

TABLA Nº 12 EFICIENCIA DE DISTRIBUCION DEL AGUA DE RIEGO

SUELO	EFICIENCIA DE DISTRIBUCION ESTIMADA
1. Aluvial franco arenoso	
a) Tendido	90 %
b) Surco	90 %
2. Aluvial franco arcillo arenoso	
a) Tendido	30 %
b) Surco	85 %
3. Arcilloso	
a) Tendido	30 %
b) Surco	80%%
4. Pumicítico	
a) Tendido	-
b) Surco	45 %
5. Franco arenoso	
a) Tendido	-
b) Surco	95 %

Los valores de eficiencia de distribución estimados para los suelos y métodos de riego estudiados son muy bajos (o sea el riego es muy des-uniforme) en el caso del suelo aluvial franco-arcillo-arenoso (riego por tendido) por lo exageradamente grande del largo del paño de riego, tal como se explicó anteriormente, en el caso del suelo arcilloso por lo corto del tiempo de riego y en el suelo pumicítico, también por el tiempo de riego tan corto (2 minutos).

Se ha preparado en la Tabla Nº 13 de acuerdo con la Ecuación Nº 2, que define la Eficiencia de utilización como el producto entre las tres componentes que se han discutido, anteriormente

TABLA Nº 13 EFICIENCIA DE UTILIZACION DEL AGUA DE RIEGO

SUELOS	EFICIENCIA DE UTILIZACION
1. Aluvial franco arenoso	
a) Tendido	12.55 %
b) Surco	46.35 %
2. Aluvial franco arcillo arenoso	
a) Tendido	17.4 %
b) Surco	37.0 %
3. Arcilloso	
a) Tendido	21.3 %
b) Surco	39.2 %
4. Pumicítico	
a) Tendido	-
b) Surco	35.5 %
5. Graníticos	
a) Tendido	-
b) Surco	42.2 %

La eficiencia de utilización representa el porcentaje de agua que efectivamente queda a disposición de los cultivos, en relación al total del agua captada y aplicada a la entrada del paño de riego. Vemos que en la situación actual esta eficiencia es bastante baja, y que las fuentes de pérdida causantes de esta baja eficiencia se relacionan solamente con práctica de manejo deficientes en el momento del riego en la preparación de los suelos previas al riego.

Estas prácticas pueden ser mejoradas significativamente sin una gran inversión en infraestructura, solamente a través de un programa de capacitación masiva.

La Tabla Nº 14 indica las eficiencias estimadas como posibles de conseguir para los diferentes métodos de riego en los suelos estudiados, de acuerdo con las normas relativamente sencillas de adoptar que se relacionan con :

1. Nivelación o emparejamiento.

TABLA Nº 14 EFICIENCIAS POSIBLES DE CONSEGUIR EN LA UTILIZACION DEL AGUA DE RIEGO

SUELO	E.aplicación %	E.almacenamiento %	E.distribución %	E.utilización %
1. Aluvial franco arenoso				
a) Tendido	35	100	100	35
b) Surco	50	100	80	40
2. Aluvial franco arcillo arenoso				
a) Tendido	45	90	90	36
b) Surco	55	95	90	47
3. Arcilloso				
a) Tendido	45	85	80	30
b) Surco	55	80	80	35
4. Pumicítico				
a) Surco	55	90	85	42
b) Aspersión	80	95	95	72
5. Granítico				
a) Surco	45	90	85	34
b) Aspersión	80	95	95	72

Es interesante destacar que las eficiencias de utilización, salvo para el riego por aspersión, no sobrepasan el 50%. Esto se debe a que los sistemas de riego por tendido y por surco están diseñados originalmente para perder agua por escurrimiento superficial, con el fin de lograr un humedecimiento homogéneo del perfil, llevándolo hasta capacidad de campo en toda la profundidad de raíces.

No resulta lógico suponer que en un plazo breve se logrará en promedio , eficiencias de aplicación y utilización como las señaladas en la Tabla Nº 14 en la Zona de Convento Viejo. Sin embargo, para el diseño de las estructuras de riego mayores (canales etc.) se ha calculado las tasas de riego tanto de acuerdo con la eficiencia de aplicación actual como con las eficiencias posibles, o sea con las Tablas Nº 10 y Nº 14 en forma paralela. Estos resultados de tasa de riego se presentan más adelante en este informe, después del análisis de los resultados del uso consumo.

2.- Uso Consumo

De acuerdo con la metodología presentada en el capítulo correspondiente, se ha calculado la evapotranspiración mensual para un grupo de 13 años consecutivos, en las cuatro zonas de influencia de las Estaciones meteorológicas para las cuales existen datos de temperaturas en la zona de Convento Viejo.

La información de temperaturas disponible se obtuvo de la Oficina Meteorológica de Chile y se elaboró para conocer las temperaturas máximas medias (promedios de las máximas temeraturas alcanzadas diariamente para cada mes) y las temperaturas mínimas medias (promedio de las mínimas temperaturas alcanzadas diariamente para cada mes). Se ha utilizado en este estudio toda la información existente respecto a temperaturas, pero los grupos de años para los cuales esta información está disponible, no son coincidentes para todas las Estaciones. Sin embargo, el considerar un grupo de 13 años consecutivos permite compensar posibles efectos de años de sequía, calurosos con años con un número de días relativamente más fríos que el promedio.

A través del uso de la Ecuación Nº 6 y los valores de presión de vapor saturante de la Tabla Nº 6, se determinó la evapotranspiración potencial mensual y promedio. Los valores presentados guardan una buena relación con algunas mediciones aisladas de evaporación de bandeja en las mismas Estaciones Meteorológicas y representan, dentro de un rango relativamente estrecho, la evapotranspiración potencial real de la zona. Los valores determinados se presentan en las Tablas Nº 15 a - d .

TABLA Nº 15.a EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MENSUAL, POR AÑOS Y PROMEDIO EN mm MENSUALES. Estación Meterológica de Puente Arqueado.

Años	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1963					[illegible]	47	46	46	51	75	89	131
1964	139	141	109	99	88	58	53	49	81	97	138	114
1965	151	174	162	87	61	53	47	51	72	77	112	126
1966	144	133	111	78	66	35	46	52	77	102	120	116
1967	146	154	128	127	70	53	48	63	68	93	109	140
1968	165	167	131	92	82	61	62	67	82	91	132	139
1969	160	164	136	112	56	47	46	56	83	96	118	145
1970	142	159	156	141	78	51	52	53	77	90	122	135
1971	151	137	128	100	73	44	47	54	75	91	151	120
1972	152	147	121	85	52	40	44	43	53	67	85	137
1973	150	124	116	95	62	47	36	49	58	60	88	106
1974	150	121	117	101	58	37	46	54	67	79	98	114
1975	123	97	86	72	44	37	37	40	47	73	70	94
Promedio	148	143	125	99	66	47	47	52	69	84	110	124
Promedio mm/día	4.8	5.1	4.0	3.8	2.1	1.6	1.5	1.7	2.3	2.7	3.7	4.0

TABLA Nº 15 b. EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MENSUAL, POR AÑOS Y PROMEDIO EN mm MENSUALES. ESTACION METEOROLOGICA DE RANCAGUA

AÑOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1963	143	135	114	122	77	53	47	51	54	50	86	142
1964	148	140	119	94	79	57	53	57	78	93	123	114
1965	153	145	147	83	60	61	49	48	66	83	88	112
1966	144	141	114	85	76	40	51	59	73	90	109	120
1967	144	145	132	116	64	45	41	60	64	86	104	140
1968	142	149	116	95	83	60	64	72	80	80	129	139
1969	165	147	122	103	61	47	53	61	78	86	116	150
1970	148	145	137	126	74	49	51	58	77	88	116	130
1971	139	-	-	-	77	43	54	52	68	90	-	134
1972	150	151	115	95	62	42	49	42	59	68	93	148
1973	157	126	114	94	67	46	40	62	67	71	112	136
1974	150	134	118	112	66	46	52	69	76	97	108	128
1975	148	131	113	89	68	58	-	-	-	-	-	-
Promed. mm/día	4.8	5.0	3.9	3.4	2.3	1.7	1.6	1.9	2.3	2.6	3.6	4.3
Promed. mensual	149	141	122	101	70	50	50	58	70	82	108	133

TABLA Nº 15 c. EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MENSUAL, POR AÑOS Y PROMEDIO EN mm MENSUALES. ESTACION METEOROLÓGICA DE SAN FERNANDO

	MESES											
AÑOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1964	150	132	113	90	63	41	37	42	67	89	117	112
1965	153	141	144	78	49	47	41	42	61	70	108	115
1967	139	142	127	103	60	36	39	52	57	80	107	118
1944	128	124	111	79	47	39	41	40	69	66	93	136
1845	133	106	104	83	60	51	42	53	64	90	91	124
1946	126	121	106	82	47	42	38	54	59	79	112	129
1947	142	136	115	86	50	42	41	49	56	73	111	124
1948	133	128	105	65	47	40	34	43	58	73	104	126
1949	142	118	95	73	49	41	41	42	57	96	107	119
1950	137	136	113	61	40	43	41	46	58	71	79	125
1951	123	106	104	77	61	39	39	51	58	85	101	121
1942	132	132	105	74	45	35	42	44	61	77	95	113
1943	129	136	102	76	53	33	41	44	57	80	97	118
Promed.	136	128	111	79	52	41	40	46	60	79	102	122
Promed. mm/día	4.4	4.5	3.6	2.6	1.7	1.4	1.3	1.5	2.0	2.6	3.4	4.0

TABLA Nº 15 d. EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MENSUAL, POR AÑOS Y PROMEDIO EN mm mensuales.
ESTACION METEOROLOGICA DE CURICO

AÑOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1967	150	150	144	111	62	39	38	47	66	88	114	151
1968	172	173	132	95	63	50	56	61	80	85	134	150
1969	187	183	140	107	56	42	47	56	72	85	124	172
1970	164	165	138	114	68	44	50	54	76	90	120	148
1971	169	161	131	99	68	35	47	53	71	96	144	148
1972	177	178	117	81	51	38	44	44	59	72	96	162
1973	178	161	135	100	64	42	36	58	73	104	110	159
1974	158	162	128	105	63	36	46	57	76	103	114	141
1975	172	148	131	86	64	50	41	51	73	103	113	157
1943	165	191	135	107	68	42	52	54	72	110	130	161
1944	173	164	153	112	57	49	53	52	90	81	125	176
1945	180	146	138	114	72	62	49	63	85	115	118	156
1946	166	164	144	106	64	57	57	71	80	108	145	164
Promed.	170	165	137	103	63	45	47	56	75	95	122	157
Promed. mm/día	5.5	5.9	4.4	3.4	2.0	1.5	1.5	1.8	2.5	3.0	4.0	5.0

Los valores de evapotranspiración potencial para las zonas de influencia de las Estaciones Meteorológicas de Convento Viejo, que se presentaron en las Tablas Nº 15 a-d, sirven de base para calcular la evapotranspiración real o uso-consumo de los cultivos que se desarrollan en aquellas areas, de acuerdo con la Ecuación Nº7. Para ello se han multiplicado los valores promedios de evapotranspiración potencial mensual, por los coeficientes Kc de cada cultivo, que se presentaron anteriormente en la Tabla Nº 8, de acuerdo con la información publicada por Tosso (1975).

Los resultados de cálculo de la evapotranspiración real por cultivo y Estación meteorológica se presentan en la Tabla Nº 16 a-d. Aquí se incluye la ET real en mm por mes y mm por día ya que ambos valores tienen interés para los estudios comparativos de diferentes zonas agroclimáticas. Sin embargo, para este estudio, resulta más interesante expresar además los resultados en m3/Há/mes consumidos por ñbos cultivos, para estimar luego con mayor facilidad la tasa de riego.

La ET real o uso consumo calculados corresponden a una situación en la cual los cultivos no están sometidos a un stress hídrico en ninguna etapa de su desarrollo, ya que en ello va implicíta la definición de ET potencial y los coeficientes Kc de los cultivos han sido estudiados también para esta condición. Es interesante notar este punto, ya que una de las primeras nociones de tecnificación de riego en la zona de Convento Viejo, y en general en otras zonas en que quiera abordarse el problema tecnológico del riego, debe ser establecer frecuencias de riego que permitan evitar períodos de stress hídrico prolongado. Volveremos sobre este punto más adelante, cuando se considere la frecuencia de riego adecuada, en relación a los diferentes tipos de suelo que se encuentran en la zona.

TABLA Nº 16 a. EVAPOTRANSPIRACION REAL DE LOS CULTIVOS, PARA LA ESTACION METEOROLOGICA DE PUENTE ARQUEADO

MES	ET real mm/mes	ET real mm/día	ET real m3/há.mes
Trigo invierno			
Septiembre	51.8	1.7	518.0
Octubre	71,4	2.3	714.0
Noviembre	99,0	3.3	990.0
Diciembre	37.2	1.2	372.0
Total	259.4		2594.0
Empastadas			
Septiembre	39.3	1.3	393.0
Octubre	50.4	1.6	504.0
Noviembre	71.5	2.4	715.0
Diciembre	94.2	3.0	942.0
Enero	133.2	4.3	1332.0
Febrero	135.9	4.9	1359.0
Marzo	106.3	3.4	1063.0
Abril	79.2	2.6	792.0
Total	710.0		7100.0
Maíz			
Octubre	25.2	0.8	252.0
Noviembre	55.0	1.8	550.0
Diciembre	80,6	2.6	806.0
Enero	133.2	4.3	1332.0
Febrero	107.3	3.8	1073.0
Marzo	56.3	1.8	563.0
Abril	29.7	1.0	297.0
Total	487.3		4873.0
Arroz			
Octubre	68.9	2.2	689.0
Noviembre	121.0	4.0	1210.0
Diciembre	155.0	5.0	1550.0
Enero	189.4	6.1	1894.0
Febrero	114.4	4.1	1144.0
Marzo	75.0	2.4	750.0
Total	723.7		7237.0
Frejol			
Noviembre	44.0	1.5	440.0
Diciembre	93.0	3.0	930.0
Enero	118.3	3.8	1183.0
Febrero	64.4	2.3	644.0
Total	319.7		3197.0

Tabla Nº 16 a. (Continuación)

Mes	ET real mm/mes	ET real mm/día	ET real m3/há/mes
Maravilla			
Noviembre	46.2	1.5	462.0
Diciembre	93.0	3.0	930.0
Enero	155.4	5.0	1554.0
Febrero	128.7	4.6	1287.0
Marzo	62.5	2.0	625.0
Total	485.8		4858.0
Melón y Sandía			
Noviembre	33.0	1.1	330.0
Diciembre	59.0	1.9	595.0
Enero	77.0	2.5	770.0
Febrero	50.0	1.8	580.0
Marzo	25.0	0.8	250.0
Total	244.5		2445.0
Trigo primavera			
Noviembre	30,8	1.0	308.0
Diciembre	59.5	1.9	595.0
Enero	11.0	3.6	1110.0
Febrero	121.6	4.3	1216.0
Marzo	112.5	3.6	1125.0
Abril	29.7	1.0	297.0
Total	465.1		4651.0
Papas			
Novimbre	33.0	1.1	330.0
Diciembre	74.4	2.4	744.0
Enero	133.2	4.3	1332.0
Febrero	131.6	4.7	1316.0
Marzo	106.3	3.4	1063.0
Abril	84.2	2.8	842.0
Total	562.7		5627.0
Frutales y Viñas			
Septiembre	19.3	0.6	193.0
Octubre	52.9	1.7	529.0
Noviembre	79.2	2.6	792.0
Diciembre	86.8	2.8	868.0
Enero	81.4	2.6	814.0
Febrero	62.9	2.2	629.0
Marzo	37.5	1.2	375.0
Total	420.0		4200.0

TABLA Nº 16 b. EVAPOTRANSPIRACION REAL DE LOS CULTIVOS, PARA LA ESTACION METEOROLOGICA DE RANCAGUA.

Mes	ET real mm/mes	ET real mm/día	ET real m3/há/mes
Trigo invierno			
Septiembre	52.5	1.8	525.0
Octubre	69.5	2.2	695.0
Noviembre	96.8	3.2	968.0
Diciembre	39.8	1.3	398.0
Total	258.6		2586.0
Empastadas			
Septiembre	40.0	1.3	400.0
Octubre	49.0	1.6	490.0
Noviembre	69.9	2.3	699.0
Diciembre	100.0	3.2	1009.0
Enero	133.7	4.3	1337.0
Febrero	133.8	4.8	1338.0
Marzo	103.5	3.3	1035.0
Abril	81.0	2.7	810.0
Total	711.8		7118.0
Maíz			
Octubre	24.5	0.8	245.0
Noviembre	53.8	1.8	538.0
Diciembre	86.3	2.8	863.0
Enero	133.7	4.3	1337.0
Febrero	105.6	3.8	1056.0
Marzo	54.8	1.8	548.0
Abril	30.4	1.0	304.0
Total	489.1		4891.0
Arroz			
Octubre	67.1	2.2	671.0
Noviembre	118.4	3.9	1184.0
Diciembre	166.0	5.4	1660.0
Enero	190.1	6.1	1901.0
Febrero	112.6	4.0	1126.0
Marzo	73.1	2.4	731.0
Total	727.3		7273.0
Frejol			
Noviembre	43.0	1.4	430.0
Diciembre	99.6	3.2	996.0
Enero	118.8	3.8	1188.0
Febrero	63.4	2.3	634.0
Total	324.8		3248.0

Tabla Nº 16 b. (Continuación)

Mes	ET real mm/mes	ET real mm/día	ET real m3/há/mes
Maravilla			
Noviembre	45.2	1.5	452.0
Diciembre	99.6	3.2	996.0
Enero	155.9	5.0	1559.0
Febrero	126.7	4.5	1267.0
Marzo	60.9	2.0	609.0
Total	488.3		4883.0
Melón y Sandía			
Noviembre	32.3	1.0	323.0
Diciembre	63.7	2.1	637.0
Enero	77.2	2.5	772.0
Febrero	49.3	1.8	493.0
Marzo	24.4	0.8	244.0
Total	246.9		2469.0
Trigo primavera			
Noviembre	30.1	1.0	301.0
Diciembre	63.7	2.1	637.0
Enero	111.4	3.6	1114.0
Febrero	119.7	4.3	1197.0
Marzo	109.6	3.5	1096.0
Abril	30.4	1.0	304.0
Total	464.9		4649.0
Papas			
Noviembre	32.3	1.0	323.0
Diciembre	79.7	2,6	797.9
Enero	133.7	4.3	1337.0
Febrero	129.5	4.6	1295.0
Marzo	103.5	3.3	1035.0
Abril	86.0	2.8	860.0
Total	564.7		5647.0
Frutales y Viñas			
Septiembre	19.6	0.7	196.0
Octubre	51.5	1.7	515.0
Noviembre	77.5	2.6	775.0
Diciembre	93.0	3.0	930.0
Enero	81.7	2.6	817.0
Febrero	62.0	2.2	620.0
Marzo	36.5	1.2	365.0
Total	421.8		4218.0

BIBLIOTECA IREN

TABLA Nº 16cc. EVAPOTRANSPIRACION REAL DE LOS CULTIVOS, PARA LA ESTACION METEOROLOGICA DE SAN FERNANDO

Mes	ET real mm/mes	ET real mm/día	ET real m3/há/mes
Trigo invierno			
Septiembre	45.1	1.5	451.0
Octubre	67.2	2.2	672.0
Noviembre	91.4	3.0	914.0
Diciembre	36.5	1.2	365.0
Total	240.2		2402.0
Empastadas			
Septiembre	34.3	1.1	343.0
Octubre	47.5	1.5	475.0
Noviembre	66.0	2.2	660.0
Diciembre	92.3	3.0	923.0
Enero	122.3	3.9	1223.0
Febrero	121.4	4.3	1214.0
Marzo	94.4	3.0	944.0
Abril	63.2	2.1	632.0
Total	641.4		6414.0
Maíz			
Octubre	23.7	0.8	237.0
Noviembre	50.8	1.7	508.0
Diciembre	79.0	2.5	790.0
Enero	122.3	3.9	1223.0
Febrero	95.9	3.4	959.0
Marzo	50.0	1.6	500.0
Abril	23.7	0.8	237.0
Total	445.4		4454.0
Arroz			
Octubre	64.9	2.0	649.0
Noviembre	111.8	3.7	1118.0
Diciembre	151.9	4.9	1519.0
Enero	174.0	5.6	1740.0
Febrero	102.2	3.7	1022.0
Marzo	66.6	2.1	666.0
Total	671.4		6714.0
Frejol			
Noviembre	40.6	1.4	406.0
Diciembre	91.1	2.9	911.0
Enero	208.7	3.5	1087.0
Febrero	57.5	2.0	575.0
Total	297.9		2979.0

Tabla Nº 16 c. (Continuación)

Mes	ET real mm/mes	ET real mm/día	ET real m3/há/mes
Maravilla			
Noviembre	42.7	1.4	427.0
Diciembre	91.1	2.9	911.0
Enero	142.7	4.6	1427.0
Febrero	115.0	4.1	1150.0
Marzo	55.5	1.8	555.0
Total	447.0		4470.0
Melón y Sandía			
Noviembre	30.5	1.0	305.0
Diciembre	58.3	1.9	583.0
Enero	70.7	2.3	707.0
Febrero	44.7	1.6	447.0
Marzo	22.2	0.7	222.0
Total	226.4		22264.0
Trigo primavera			
Noviembre	28.4	0.9	284.0
Diciembre	58.3	1.9	583.0
Enero	101.9	3.3	1019.0
Febrero	108/6	3.9	1086.0
Marzo	99.9	3.2	999.0
Abril	23.7	0.8	237.0
Total	420.8		4208.0
Papas			
Noviembre	30.5	1.6	305.0
Diciembre	72.9	2.4	729.0
Enero	122.3	3.9	1223.0
Febrero	117.6	4.2	1176.0
Marzo	94.4	3.0	944.0
Abril	67.2	2.2	672.0
Total	504.9		5049.0
Frutales y Viñas			
Septiembre	16.8	0.6	168.0
Octubre	49.8	1.6	498.0
Noviembre	73.2	2.4	423.0
Diciembre	85.1	2.7	851.0
Enero	74.7	2.4	747.0
Febrero	56.2	2.0	562.0
Marzo	33.0	1.0	333.0
Total	289.1		3891.0

TABLA 16 d. EVAPOTRANSPIRACION REAL DE LOS CULTIVOS, PARA LA ESTACION METEOROLOGICA DE CURICO

Mes	ET real mm/mes	ET real mm/día	ET real m3/há/mes
Trigo invierno			
Septiembre	56.1	1.9	561.0
Octubre	81.1	2.6	811.0
Noviembre	109.6	3.7	1098.0
Diciembre	47.2	1.3	472.0
Total	294.2		2942.0
Empastadas			
Septiembre	42.6	1.4	426.0
Octubre	57.2	1.8	572.0
Noviembre	79.3	2.6	793.0
Diciembre	119.5	3.9	1195.0
Enero	153.0	4.9	1530.0
Febrero	156.8	5.6	1568.0
Marzo	116.0	3.7	1160.0
Abril	82.2	2.7	822.0
Total	806.6		8066.0
Maíz			
Octubre	28.6	0.9	286.0
Noviembre	61.0	2,0	610.0
Diciembre	102.2	3.3	1022.0
Enero	153.0	4.9	1530.0
Febrero	123.8	4.4	1238.0
Marzo	61.4	2.0	614.0
Abril	30.8	1.0	308.0
Total	560.8		5608.0
Arroz			
Octubre	78.2	2.5	782.0
Noviembre	134.2	4.5	1342.0
Diciembre	195.6	5.3	1966.0
Enero	217.6	7.0	2176.0
Febrero	132.0	4.7	1320.0
Marzo	81.9	2.6	815.0
Total	840.5		8405.0
Frejol			
Noviembre	48.8	1.6	488.0
Diciembre	118.0	3.8	1180.0
Enero	136.0	4.4	1360.0
Febrero	74.3	2.7	743.0
Total	377.1		3771.0

TABLA Nº 16. d (Continuación)

mes	ET real mm/mes	ET real mm/día	ET real m3/há/mes
Maravilla			
Noviembre	51.2	1.7	512.0
Diciembre	118.0	3.8	1180.0
Enero	179.0	5.8	1790.0
Febrero	149.0	5.3	1490.0
Marzo	68.3	2.2	683.0
Total	565.0		5655.0
Melón y Sandía			
Noviembre	36.5	1.2	366.0
Diciembre	75.5	2.4	755.0
Enero	88.4	2.9	884.0
Febrero	57.8	2.1	578.0
Marzo	27.3	0.9	273.0
Total	285.6		2856.0
Trigo primavera			
Noviembre	34.2	1.1	342.0
Diciembre	75.5	2.4	755.0
Enero	127.5	4.1	1275.0
Febrero	140.3	5.0	1403.0
Marzo	122.9	4.0	1229.0
Abril	30.8	1.0	308.0
Total	531.2		5312.0
Papas			
Noviembre	36.6	1.2	366.0
Diciembre	94.4	3.0	944.0
Enero	153.0	4.9	1530.0
Febrero	151.8	5.4	1518.0
Marzo	116.0	3.7	1160.0
Abril	87.4		874.0
Total	639.2		6392.0
Frutales y Viñas			
Septiembre	20.9	0.7	209.0
Octubre	60.1	1.9	601.0
Noviembre	87.8	2.9	878.0
Diciembre	110.1	3.6	1101.0
Enero	93.5	3.0	935.0
Febrero	72.6	2.6	726.0
Marzo	41.0	1.3	410.0
Total	486.0		4860.0

3. Tasas de riego.

Con los antecedentes presentados en las dos secciones anteriores, eficiencia de riego y uso-consumo, se han determinado las tasas de riego, tomando también en consideracipon parámetros hídricos de los suelos que son relevantes en esta tasa de riego.

Los parametros hídricos de los suelos, que se presentan en la Tabla Nº 1 permiten determinar la Humedad aprovechable por los cultivos, que se ha definido como el volumen de agua almacenado en el suelo, que se encuentra entre los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Como una primera aproximación de tecnificación de riego, se ha establecido realizar un riego cuando la humedad aprovechable almacenada en el suelo haya sido consumida en un 50% por la evapotranspiración del cultivo creciendo en ese suelo y ese clima. Este valor se utiliza normalmente en todos los estudios de suelos, y hasta hace algunos años, representaba un valor ampliamente aceptado como indicador de frecuencia de riego, tal como fue establecido por Viermeyer y Hendrickson en 1936. Sin embargo, en los últimos años se han realizado muchos estudios que permiten afirmar que una frecuencia mayor de riego, que aquella indicada por este criterio de regar cuando se ha consumido el 50% de la humedad aprovechable, permite alcanzar rendimientos mayores en muchos cultivos.

Una frecuencia de riego relativamente alta tiene implicita una función de costo de grah importancia, tanto en mano de obra como en organización del predio. En Chile en general la frecuencia de riego es incluso inferior a aquella determinada por el criterio de reponer el agua del suelo (regar) cuando se ha consumido el 50% de la humedad aprovechada.

Por esto, el adecuar las frecuencias de riego por lo menos hasta este nivel, debe ser tarea muy importante en cualquier programa de tecnificación de regadío en la zona de Convento Viejo. Una frecuencia de riego menor que la indicada, tiene efectos negativos sobre el rendimiento de tal magnitud que cualquier inversión necesaria para lograr esta frecuencia se paga muchas veces con el aumento de rendimientos conseguido.

La Humedad aprovechada se cálcula de acuerdo a la Ecuación Nº 8

$$H.A = \frac{CC - PMP}{100} \times DB \times 4 \qquad \text{Ecuación Nº 8}$$

en que cc = Capacidad de Campo

PMP = Punto de Marchitez permanente
DB = Densidad aparente del suelo
H = Profundidad de arraigamiento del cultivo considerado.

Este valor de H es variable durante la temporada de crecimiento del cultivo y para su estimación se ha considerado la profundidad del perfil y el porcentaje de desarrollo que alcanza el cultivo en cada mes considerado.

Las frecuencias de riego que resultan de aplicar el criterio de reponer el agua del suelo cuando se ha consumido el 50% de la Humedad aprovechable, así como los parámetros necesarios para este cálculo, que son: la profundidad arraigamiento del cultivo H, el Uso-Consumo, de la Tabla Nº 16 a-d, y la Humedad aprovechable H.A calculada de acuerdo a la Ecuación Nº 8, se presentan en las Tablas Nº 17 anexas a este estudio.

Se ha elaborado un programa de computación para hacer el cálculo de los valores señalados. Como en cada riego se debe reponer la Humedad del suelo consumida por la evapotranspiración del cultivo, que se ha puesto en un valor límite de 50%, dentro de este cálculo se establece un uso-consumo corregido, que resulta de multiplicar el agua a reponer en el suelo por el número de riegos necesarios en el mes determinado.

Al dividir el Uso-consumo corregido por la eficiencia de aplicación del agua de riego, correspondiente al método de riego utilizado para cada tipo de cultivo, se obtiene la tasa de riego actual, de acuerdo con la Ecuación Nº 1, Esta tasa de riego corresponde a la situación del riego en este momento en la zona de Convento Viejo. Se ha incluido también en la Tabla Nº 17 la tasa de riego posible, calculada en base a las eficiencias posibles de conseguir con los métodos de riego por tendido, surcos y aspersión, que se presentan en la Tabla Nº 14.

Los resultados presentados en la Tabla Nº 17 anexa a este estudio indican el número de riegos en cada mes del cultivo (y el número de riegos totales en la temporada). En general puede observarse que este número de riegos es significativamente menor que aquel empleado por los agricultores hoy en día. La frecuencia de riegos en la actualidad es muy baja y debe enfocarse este problema de capacitación para asegurar un buen rendimiento de los cultivos.

Se ha considerado que los suelos están en capacidad de campo el 1º de Septiembre, como resultado de las lluvias invernales, qúe en general en años normales reponen el agua de todo el perfil del suelo, evapotranspirada en el verano y otoño anteriores. Sin embargo, en aquellos cultivos de primavera que se siembran alrededor del 15 de Octubre, es frecuente realizar un riego de presiembra para reponer el agua evaporada desde la superficie desnuda del suelo entre el 1º de septiembre y el 15 de octubre, durante las laborés de preparación de los suelos para la siembra, asegurando así a las plántulas una humedad adecuada durante las primeras etapas de su desarrollo.

Las siguientes Tablas presentan los valores de tasa de riego que deben agregarse a aquellas consideradas en la Tabla Nº 17 anexa, en el caso de tratarse de cultivos de primavera que reciban un riego de presiembra. Como esta práctica no es de ocurrencia permanente entre los agricultores, no se han sumado los valores y debe estimarse el porcentaje de la superficie dedicada a chacras y hortalizas de primavera que reciban el riego de presiembra alrededor de la primera quincena de Octubre.

Para las estaciones meteorológicas de la zona de Convento Viejo, durante este período la evapotranspiración es muy similar, alcanzando un valor de 118 mm en promedio, variando entre 99.7 y 122.5 mm entre las diferentes estaciones. Se ha considerado un coeficiente Kc = 0.10, que corresponde a un suelo casi desnudo, con un cubrimiento de malezas de arraigamiento superficial, de un 25% de su superficie.

En base al uso consumo calculado y a la eficiencia de riego por tendido actual y posible, se han establecido las tasas de riego de presiembra que se presentan en la Tabla Nº 18.

TABLA Nº 18 RIEGOS DE PRESIEMBRA

SUELO	Tasa de riego actual de presiembra (1º Sep- 15-Oct.) m3/Há	Tasa de riego posible de presiembra (1º Sep- 15-Oct.) m3/há
Aluvial franco arenoso	800	320
Aluvial franco arcillo-arenoso	115	250
Arcilloso	115	250
Pumicítico	115	139
Granítico	115	139

De la Tabla Nº 18 resulta claro que en el caso del suelo aluvial franco arenoso, la tasa de riego de presiembra es muy alta, dada la baja eficiencia del riego por tendido detectada en este suelo, que en el caso de aumentarse, desde 15% (Eficiencia de aplicación actual) hasta 35% (eficiencia de aplicación posible) reduciría esta tasa de riego de manera altamente significativa.

En el caso de los otros suelos, la tasa de riego de presiembra es muy baja, solamente 115 m3/Há, lo que es el resultado de una alta eficiencia de aplicación, que está indicando un riego muy desuniforme. Esto es un claro reflejo de la realidad, ya que después de un riego de presiembra en estos suelos, es posible apreciar grandes diferencias en la germinación y el desarrollo de los cultivos de primavera, debida a una aplicación muy desuniforme del riego. Cuando esta eficiencia de aplicación alcance los valores adecuados, 45% en el caso de los suelos aluvial franco-arcillo arenoso y arcilloso y 80% en el caso de los suelos pumicitico y granítico al ser regados por aspersión, se alcanzará la tasa de riego necesaria para una aplicación adecuada del riego de presiembra.

Otro aspecto que es interesante analizar, con los resultados que se dispone de este estudio, es la situación que se presenta en un año promedio durante el invierno, en que existe una cierta evapotranspiración de los cultivos, pero no se riega, y el agua del suelo consumida por estos cultivos es repuesta en base a la lluvia.

Se han utilizado los valores de ET potencial de los meses de invierno, presentados en la Tabla Nº 15 a-d y se ha utilizado un coeficiente Kc - 0.1 que corresponde a una cobertura vegetal de 25% de la superficie del suelo. La Tabla Nº 19 presenta los valores de Uso-consumo mensual en m3/Há durante los meses de invierno.

TABLA Nº 19 USO CONSUMO INVERNAL
m3/Há

Estación Meteorológica	Mes: Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Puente Arqueado	99	66	47	47	52	69
Rancagua	101	70	50	50	58	70
San Fernando	79	52	41	40	46	60
Curicó	103	63	45	48	56	75

En base a los datos de la Tabla Nº 19, y conociendo cual es el valor del 50% de la humedad aprovechable de los suelos, se puede determinar sí en un año de precipitación diferente al promedio habitual, se producirán situaciones de stres hídrico para los cultivos durante el invierno.

Los valores del 50% de la humedad aprovechable son :

Suelo:	m3/Há
Aluvial franco arenoso	300
Aluvial franco arcillo arenoso	662
Arcilloso	1080
Pumicitico	180
Granítico	338

Si durante un invierno específico no se producen precipitaciones hasta por ejemplo el fin del mes de Junio, existirá un déficit de 212 m3/Há para la zona de influencia de Puente Arqueado y los cultivos creciendo en Suelos Pumiciticos de esta zona estarán sometidos a un stress hídrico ya que el 50% de la humedad aprovechable equivale a 180 m3/Há.

En esta forma es posible determinar la necesidad de aplicar riegos invernales en cultivos y suelos determinados, si la precipitación no alcanza a suplir el déficit hídrico. En general, dadas las características hídricas de los suelos presentes en la zona de Convento Viejo, y el modelo de distribución de la precipitación durante el invierno, esta situación no se presentará y no es necesario realizar riegos invernales.

Tal como se señaló al comienzo de este informe, la eficiencia de aplicación del agua de riego juega un papel fundamental en la determinación de las tasas de riego, mucho más importante que el uso-consumo. Es por esto que invertir esfuerzos adicionales en perfeccionar la estimación del uso consumo y refinar técnicas y enfoques de medición, no tiene una justificación para el tipo de estudios de planificación regional como el presente. Solamente se justifica ese esfuerzo adicional en el caso de querer establecer algún sistema perfeccionado de predicción de frecuencias de riego que tenga aplicabilidad a nivel de productores, como existe en países de agricultura altamente tecnificada y donde el agricultor requiere de esa información en la planificación de sus actividades productivas.

Una diferencia en la estimación del uso consumo de un 10% no afecta al resultado final del cálculo de tasas de riego más que en porcentaje insignificante, frente a la magnitud del impacto en la estimación de la eficiencia de aplicación.

En este estudio de planificación de recursos de agua en Convento Viejo debe tenderse a utilizar los valores de eficiencia de aplicación que es posible alcanzar con los métodos de riego tradicionales, siempre que estos sean aplicados en forma adecuada y realmente cumplan con la función de reponer en forma homogénea el agua consumida por los cultivos en un paño de riego determinado.

Los valores medidos en condiciones de campo para la eficiencia de aplicación confirman los conocimientos y estudios existentes en otras zonas del país, a saber, o esta eficiencia es muy baja, debido a las pérdidas enormes de agua por percolación profunda y/o por escurrimiento superficial o, por otra parte, esta eficiencia es tan alta, que el negocio no cumple su función.

Las causas de estas eficiencias poco adecuadas ya han sido puntualizadas: tiempos de riego muy cortos en general, dimensiones de los paños de riego excesivamente grandes, mucha pendiente, uso de caudales muy grandes durante el riego, poca dirección del flujo de agua sobre la superficie, durante el riego, etc.

Los métodos de riego tradicionales, tendido y surco, tienen una eficiencia límite de aplicación, sobre la cual el riego no cumple su función por falta de homogeneidad y reposición adecuada del agua consumida por los cultivos (el caso de aplicar una regadera a una hectárea o de utilizar un paño de riego muy largo). Pero está eficiencia de aplicación tiene también un límite inferior, bajo el cual lás pérdidas por percolación profunda limitan la aplicación del método.

El diseño de un método adecuado a las condiciones de suelo, cultivo y dispobibilidades de agua lleva a conseguir una eficiencia adecuada para el método. Esta eficiencia es la que debe considerarse con seriedad en la determinación de las tasas de riego para una zona en la que se quiere tecnificar el regadío como es Convento Viejo.

BIBLIOTECA IREN