

# ECONOMIA DEL AGUA DEL CULTIVO DEL TRIGO EN EL SECANO COSTERO DE LA VI REGION. II. RENDIMIENTO DEL CULTIVO Y EFICIENCIA DEL AGUA<sup>1</sup>

## Economy of water on dryland wheat in the coastal range of chilean VI Region. II. Crop yield and water efficiency

Elías Letelier A.<sup>2</sup>, Lido Tortello M.<sup>3</sup> y Claudio Ubilla R.<sup>4</sup>

### S U M M A R Y

Yields and efficiency of water are presented in two factorial trials on rain fed wheat sown in 1983 and 1984 in the coastal range of chilean VI Region where climate is marine-mediterranean and soils are mainly clayey.

During the growing period rainfall was 690 mm in 1983 and 1.113 mm in 1984.

Pan evaporation in the same periods was 660 mm and 764 mm, respectively.

The crop was healthy in 1983; in 1984 there were symptoms of *Septoria* sp in the short-cycle variety sown early and leaves showed generalized yellowness. This yellowness seems to be related to excess of water during winter.

Estimated dry matter yields were high, reaching a maximum of 17 ton/ha in 1983 and near 19 ton/ha in 1984. The most important effect was that of nitrogen which increased yields in about 5 ton/ha of dry matter in the short-cycle variety seeded at normal date in 1983.

Grain yields in the N treatments were 5-6 ton/ha, when potential yields in that area are 7-8 ton. This shows the presence of some limitations in both years. In 1983 the decrease in yield in relation to potential yield in the region showed a good relation with the deficit of evapotranspiration ( $E_t/E_{T_m}$ ) thus indicating that in 1983 the limiting factor was water deficit. However in 1984 yield decrease in relation to potential yield was bigger than expected according to the aforementioned relationship, which indicate that a different limiting factor was acting. Observations most probably show that the limiting factor in 1984 was *Septoria* sp and excess of water in winter.

Efficiency of supplied water in springtime (initial water plus rainfall) in 1983 was 894 L of water/kg of grain as average of treatments without N, and 701 L of water/kg of grain in those with N. In 1984 the figures were 1.524 and 1.289 L/kg, respectively.

In the whole cropping period, efficiency of evapotranspired water was estimated in 1983 in 547 L/kg of grain as average of treatment without N and 444 L/kg of grain in those with N. In 1984 the figures were 809 and 727 L/kg, respectively.

**Key words:** wheat, water balance, water efficiency.

### INTRODUCCION

Durante las temporadas 1983 y 1984 se siguió el desarrollo del trigo y la humedad del suelo en

sendos ensayos de variedades x fecha de siembra x dosis de nitrógeno (Letelier, Tortello y Ubilla, 1993). Los ensayos se efectuaron en la Subestación Experimental Hidango, VI Región de Chile, la que tiene un clima mediterráneo marítimo. Durante el período de crecimiento, la lluvia fue de 690 mm en 1983 y de 1.113 mm en 1984. La evaporación en los mismos períodos fue de 660 y 764 mm, respectivamente. Otros detalles sobre el suelo en que se verificaron los experimentos y datos climáticos de los años involucrados, así como también una reseña de las

<sup>1</sup>Recepción de originales: 26 de abril de 1993.

<sup>2</sup>Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

<sup>3</sup>Actividad particular, La Verbena 3943, Santiago, Chile.

<sup>4</sup>Agrícola Nacional (ANASAC), Almirante Pastene 300, Santiago, Chile.

observaciones de diversos autores en relación a los factores implicados en los ensayos, se encuentran en Letelier y otros (1993).

En el presente artículo se indican los rendimientos en materia seca, grano y raíces, y se relacionan con los parámetros hídricos medidos en ambos años y con el desarrollo del cultivo. Se indica, además, la eficiencia del agua suministrada y del agua evapotranspirada.

## MATERIALES Y METODOS

Los ensayos fueron factoriales 2 x 2 x 2, con 5 bloques, de los cuales dos se destinaron a muestreos.

Las parcelas fueron de 10 m cuadrados. Los factores fueron: variedades (precoz versus semi-precoz), fechas de siembra (temprana versus normal) y dosis de nitrógeno fertilizante, los cuales conformaron los tratamientos indicados en el Cuadro 1.

En el presente estudio se consideró como fecha de siembra "normal" la época en que los agricultores de la zona acostumbran a efectuar la siembra, lo que sucede después que las primeras lluvias del otoño han humedecido satisfactoriamente el suelo y éste posteriormente ha perdido humedad, hasta el punto de permitir el paso de la maquinaria y de lograr una buena germinación de la semilla y emergencia de la plántula. Esta época abarca generalmente todo el mes de mayo y principios de junio. Por siembra "temprana" se entiende el período anterior al descrito. La siembra temprana se hace "en polvo", o sea, antes de las primeras lluvias abundantes; coincide con el mes de abril y, a veces, principios de mayo.

Los muestreos periódicos para materia seca correspondieron a 1 m cuadrado en cada uno de los dos bloques destinados a este efecto. Esta determinación es poco precisa, debido al tamaño de las muestras y al escaso número de repeticiones; por este motivo, se estimó la materia seca final dividiendo la producción de grano en los otros tres bloques, por los índices de cosecha obtenidos en dichas muestras.

La producción de grano se midió en el total de la superficie de las parcelas.

Las muestras de suelo para raíces se extrajeron con el método "pin board" en 1983 y con un cilindro de 7 cm de diámetro en 1984, efectuándose una determinación para cada tratamiento en 1983 y una determinación en los tratamientos 2 y 6, en 1984.

El agua suministrada en la temporada se obtuvo sumando a las lluvias en el período de cultivo el agua acumulada en el perfil del suelo a la fecha de siembra. El agua suministrada en la primavera se obtuvo sumando las lluvias primaverales al agua acumulada en el perfil el 6 y 26 de septiembre de 1983 y 1984, respectivamente.

La evapotranspiración en la temporada se obtuvo sumando a la evapotranspiración real, después del 6 y 26 de septiembre de 1983 y 1984, respectivamente, la evapotranspiración máxima estimada para un cultivo, sin limitaciones de humedad antes de esas fechas.

Las fechas 6 y 26 de septiembre mencionadas anteriormente, separan el período invernal en el que las precipitaciones superan la evaporación, del primavera, en el que sucede lo contrario.

CUADRO 1. Descripción de los tratamientos

TABLE 1. Description of treatments

Tratamiento	Nominación	Fecha de siembra		Fertilización nitrogenada kg/ha
		1983	1984	
1. Precoz: Aurifén (AU)	Temprana (T)	15.04	17.04	0
2. Precoz: Aurifén (AU)	Temprana (T)	15.04	17.04	150
3. Precoz: Aurifén (AU)	Normal (N)	25.05	8.06	0
4. Precoz: Aurifén (AU)	Normal (N)	25.05	8.06	0
5. Semi-precoz: Andifén (AN)	Temprana (T)	15.04	17.04	0
6. Semi-precoz: Andifén (N)	Temprana (T)	15.04	17.04	150
7. Semi-precoz: Andifén (AN)	Normal (N)	25.05	8.06	0
8. Semi-precoz: Andifén (AN)	Normal (N)	25.05	8.06	150

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Accidentes y enfermedades durante el período de cultivo

En 1983, el desarrollo del cultivo fue bastante normal. Hubo algún ataque de *Septoria* sp, pero de pequeña intensidad. Una evaluación del ataque, efectuada en septiembre, no indicó diferencias importantes entre tratamientos.

En 1984, las intensas lluvias de principios de julio produjeron "planchado" del suelo en la época de siembra normal y tendedur de las plantas en la variedad Aurifén. A fines de agosto se observó una fuerte amarillez en Aurifén tanto en hojas antiguas como nuevas. Esta amarillez se presentó en forma abigarrada con manchas amarillas y/o necróticas en medio de la lámina verde. Esto también se observó, en menor grado, en Andifén, siembra temprana, y menor aún en Andifén sembrada en fecha normal. La amarillez disminuyó hacia fines de agosto, posiblemente debido a mejores condiciones de aireación.

Las observaciones efectuadas en 1984, aunque solo cualitativa, indicarían que la intensidad y generalidad de la amarillez foliar observada, estarían relacionadas con ataque de *Septoria* sp y déficit de aireación a nivel radical, ambos factores inducidos por las altas precipitaciones ocurridas en el invierno de ese año.

### Producción de materia seca

La producción estimada de materia seca fue alta en casi todos los casos (Cuadro 2), especialmente en el año lluvioso de 1984. Sin embargo, uno de los rendimientos más bajos los tuvo la variedad precoz, sembrada temprano en 1984, debido al ataque de *Septoria* y al efecto depresivo del exceso de humedad. La variedad semi-precoz presentó un mayor rendimiento que la variedad precoz, aún en el año más seco de 1983, en el que alcanzó rendimientos muy semejantes a los obtenidos en 1984, lo que indica que las lluvias invernales fueron suficientes para alcanzar un buen desarrollo vegetativo en 1983.

En 1983, la siembra tardía tuvo un pequeño efecto depresivo sobre la variedad semi-precoz; en cambio, fue ligeramente favorable para la variedad precoz al nivel de 150 kg de N/ha.

El fertilizante nitrogenado actuó favorablemente en todos los casos, pero sus incrementos fueron variables. El efecto promedio del fertilizante nitrogenado fue de 3,17 ton/ha en 1983 y 3,46 ton/ha en 1984.

### Producción de raíces

En el Cuadro 3, se indica el porcentaje de raíces por estratas de 20 cm a 100 cm de profundidad, en todos los tratamientos del ensayo 1983 y un promedio de los tratamientos 2 y 6, en 1984; en ambos años no se hizo repeticiones.

**CUADRO 2. Rendimiento estimado de materia seca (rendimiento en grano : índices de cosecha de los tratamientos en muestras de 1 m<sup>2</sup>)**

**TABLE 2. Estimated yields of dry matter (grain yields : harvest indexes of samples of treatments)**

Tratamientos	1983		1984	
	Fecha siembra	Rendimiento kg/ha	Fecha siembra	Rendimiento kg/ha
1 Aurifén-N <sub>0</sub>	15.04	12.000	17.04	8.465
2 Aurifén-N <sub>150</sub>	15.04	13.243	17.04	9.347
3 Aurifén-N <sub>0</sub>	25.05	9.317	08.06	11.969
4 Aurifén-N <sub>150</sub>	25.05	14.278	08.06	15.092
5 Andifén-N <sub>0</sub>	15.04	14.061	17.04	16.391
6 Andifén-N <sub>150</sub>	15.04	17.028	17.04	18.892
7 Andifén-N <sub>0</sub>	25.05	13.129	08.06	15.493
8 Andifén-N <sub>150</sub>	25.05	16.620	08.06	19.058

CUADRO 4. Rendimiento de granos en 1983 y valores de F

TABLE 4. Grain yields in 1983 and F values

Tratamiento	Rendimiento kg/ha	Valores de F	
1. Aurifén - 15.04 N <sub>0</sub>	5.110	Repeticiones	0.79
2. Aurifén - 15.04 N <sub>150</sub>	5.562	Variedades (V)	12,97**
3. Aurifén - 25.05 N <sub>0</sub>	4.053	Fechas siembra (F)	0,78
4. Aurifén - 25.05 N <sub>150</sub>	5.854	V x F	1,29
5. Andifén - 15.04 N <sub>0</sub>	3.937	Nitrógeno (N)	29,04**
6. Andifén - 15.04 N <sub>150</sub>	4.938	V x N	0,31
7. Andifén - 25.05 N <sub>0</sub>	4.070	F x N	2,43
8. Andifén - 25.05 N <sub>150</sub>	4.903	V x F x N	4,00

\*\*Diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0,01$ ).  
C.V.: 12,5%.

Promedio tratamientos, kg/ha				Promedio interacciones, kg/ha				
				Siembra 15.04	Siembra 25.05	N <sub>0</sub>	N <sub>150</sub>	
Aurifén	5.145	Andifén	4.462	Aurifén	5.336	4.953	4.581	5.708
Siembra 15.04	4.887	Siembra 25.05	4.720	Andifén	4.437	4.486	4.003	4.920
N <sub>0</sub>	4.292	N <sub>150</sub>	5.314	N <sub>0</sub>	4.523	4.061		
				N <sub>150</sub>	5.250	5.378		

CUADRO 5. Rendimiento de granos en 1984 y valores de F

TABLE 5. Grain yields in 1984 and F values

Tratamiento	Rendimiento kg/ha	Valores de F	
1. Aurifén - 17.04 N <sub>0</sub>	2.963	Bloques	1,12
2. Aurifén - 17.04 N <sub>150</sub>	2.991	Variedades (V)	10,41**
3. Aurifén - 08.06 N <sub>0</sub>	4.189	Fechas siembra (F)	36,13**
4. Aurifén - 08.06 N <sub>150</sub>	5.735	V x F	2,90
5. Andifén - 17.04 N <sub>0</sub>	3.770	Nitrógeno (N)	12,44**
6. Andifén - 17.04 N <sub>150</sub>	4.723	V x N	0,22
7. Andifén - 08.06 N <sub>0</sub>	4.803	F x N	2,64
8. Andifén - 08.06 N <sub>150</sub>	5.908	V x F x N	1,77

\*\*Diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0,01$ ).  
C.V.: 14,4%.

Promedio tratamientos, kg/ha				Promedio interacciones, kg/ha				
				Siembra 17.04	Siembra 08.06	N <sub>0</sub>	N <sub>150</sub>	
Aurifén	3.969	Andifén	4.801	Aurifén	2.977	4.962	3.576	4.363
Siembra 17.04	3.611	Siembra 08.06	5.158	Andifén	4.246	5.355	4.286	5.315
N <sub>0</sub>	3.931	N <sub>150</sub>	4.839	N <sub>0</sub>	3.366	4.496		
				N <sub>150</sub>	3.857	5.821		

La interacción variedad x fecha fue alta, en 1984, aunque no alcanzó el límite de  $P \leq 0,05$ ; esta interacción refleja el gran efecto negativo que ocasionó en el rendimiento la combinación de variedad precoz con fecha de siembra temprana.

El efecto de la fertilización nitrogenada fue alto y muy significativo en ambos años. El efecto promedio del fertilizante nitrogenado fue de 1.022 kg/ha en 1983 y 908 kg/ha en 1984. El nitrógeno produjo un mayor efecto en combinación con fecha de siembra normal, en ambos años.

Dentro de los tratamientos con nitrógeno, los más altos rendimientos en 1983, correspondieron a la variedad precoz, ya sea en siembra temprana o normal. Estos resultados sugieren una importante influencia del déficit hídrico primaveral en los rendimientos.

En 1984, los más altos rendimientos se obtuvieron con fecha normal de siembra y los más bajos en la siembra temprana. Esto indica que en este año, el déficit hídrico primaveral no fue un factor depresivo de importancia.

Doorenbos y otros (1979) postulan, en base a numerosos experimentos, que el detrimento de rendimiento causado por déficit hídrico tiene una relación lineal con el déficit de humedad en los diversos períodos fenológicos. La relación es la siguiente:

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right)$$

donde:

- $Y_a$  = rendimiento esperado cuando la única limitante es el agua.
- $Y_m$  = rendimiento máximo posible.
- $ET_a$  = evapotranspiración real.
- $ET_m$  = evapotranspiración máxima del cultivo\* en cada etapa de su desarrollo.

$K_y$  = factor que relaciona la disminución relativa de rendimiento con la disminución relativa de la evapotranspiración cuando la única limitante del rendimiento es la humedad. Este factor es característico para cada etapa del desarrollo del cultivo.

\* $ET_m$  = evapotranspiración potencial  $ET_0 \times K_c$  (coeficiente de cultivo).

Aplicando la relación anterior y los valores de  $K_y$  indicados por Doorenbos y otros (1979), y los valores de  $ET_0$  y  $K_c$  por Letelier y otros (1983), se han confeccionado los cuadros 6 y 7, en los que se

indican los porcentajes en que deberían haber disminuido los rendimientos en los diversos tratamientos con fertilización nitrogenada, si el déficit hídrico fuera el único factor involucrado en esta disminución. Se han considerado solamente las fechas posteriores al 9 y 26 de septiembre en 1983 y 1984, respectivamente, por ser en este período en el que se tienen datos efectivos de  $ET_a$  y además, porque en el período anterior las precipitaciones fueron siempre superiores a la evaporación. Para calcular el déficit de rendimiento se ha utilizado las cifras de 70 y 80 qqm/ha como rendimiento potencial para la variedad precoz y semi-precoz, respectivamente, las que resumen los resultados de numerosas mediciones efectuadas por el programa de mejoramiento de trigo en la Subestación Experimental Hidango (I. Ramírez A., INIA, comunicación personal).

En 1983, se observó una relación general entre los déficit de rendimiento teóricos y los reales. Se podría aceptar que en 1983, el déficit hídrico fue el principal factor que afectó los rendimientos. En cambio, en 1984, sólo el tratamiento siembra normal, con variedad semi-precoz, se ajusta aceptablemente a la estimación basada en el déficit hídrico. En los demás tratamientos, que no deberían haber tenido mermas en los rendimientos, de acuerdo con la condición hídrica, se observan notables bajas en la realidad. En el caso de la combinación siembra temprana con variedad precoz, esta diferencia está explicada, por lo menos, en su mayor parte, por la citada relación encontrada por Ramírez y Caglevic (1983), entre ataque de *Septoria* y presencia temprana de hoja bandera o espigadura. Sin embargo, el hecho de que en los tratamientos 4 y 6 también existe una depresión considerable en los rendimientos, indicaría que este factor afectaría también, aunque en menor grado, a otras combinaciones que llevan el componente variedad precoz o siembra temprana, o que existen otros factores independientes del déficit hídrico que afectan negativamente los rendimientos; estos factores pueden ser también fitopatológicos, o simplemente originados por una deficiencia de oxígeno a nivel radical; cabe señalar que la macroporosidad de este suelo está en su límite crítico entre los 60 y 100 cm de profundidad (Letelier y otros, 1993). Es interesante acotar que, adyacente a este ensayo en 1984, se efectuó una comparación entre siembra corriente y siembra sobre corrugaciones, o sea, en mejores condiciones de aireación, la siembra fue temprana y la variedad semi-precoz (Letelier y Ubilla, 1985). Se obtuvo una diferencia significativa del "corrugado" sobre la siembra corriente de más de 10 qqm/ha, llegando el rendimiento máximo a 66 qqm/ha, o sea, una depresión de 17,5%, atribuible a déficit de aireación. Este mismo ensayo, efectuado en 1983, no dio diferencias entre tratamientos.

**CUADRO 6. Estimación de la disminución de rendimientos en grano, según déficit hídrico comparado con disminución real, 1983**

**TABLE 6. Estimated decrease of grain yield based in water deficit compared with actual decrease, 1983**

Siembra 15 abril													
Aurifén + 150 kg N/ha (trat. 2)      Andifén + 150 kg N/ha (trat. 6)													
Período	Estado fenológico	$K_y$	$ET_m$ mm	$ET_a$ mm	$1-ET_a/ET_m$	$1-Y_a/Y_m$	Estado fenológico	$K_y$	$ET_m$ mm	$ET_a$ mm	$1-ET_a/ET_m$	$1-Y_a/Y_m$	
09.09-20.10	Espigadura a grano lechoso	*	106	116	0,00	0,00	Embucho a espigadura	*	117	117	0,00	0,00	
20.10-10.11	Grano lechoso a formación grano	0,55	51	39	0,24	0,13	Antesis a grano lechoso	0,60	63	35	0,44	0,27	
10.11-21.12	Maduración	**	44	23	0,48	0,00	Formación grano	0,40	53	23	0,57	0,23	
Suma ( $1-Y_a/Y_m$ ) Disminución real						0,13	Suma ( $1-Y_a/Y_m$ ) Disminución real					0,50	0,38
Siembra 25 mayo													
Aurifén + 150 kg N/ha (trat. 4)      Andifén + 150 kg N/ha (trat. 8)													
Período	Estado fenológico	$K_y$	$ET_m$ mm	$ET_a$ mm	$1-ET_a/ET_m$	$1-Y_a/Y_m$	Estado fenológico	$K_y$	$ET_m$ mm	$ET_a$ mm	$1-ET_a/ET_m$	$1-Y_a/Y_m$	
09.09-20.10	Embucho a antesis	0,6	117	86	0,26	0,16	Encañado a embucho	*	74	108	0,00	0,00	
20.10-10.11	Grano lechoso a formación grano	*	51	51	0,00	0,00	Espigadura a antesis	0,65	87	74	0,15	0,10	
10.11-21.12	Maduración	**	44	17	0,61	0,00	Formación grano a maduración	0,40	71	28	0,61	0,24	
Suma ( $1-Y_a/Y_m$ ) Disminución real						0,16	Suma ( $1-Y_a/Y_m$ ) Disminución real					0,34	0,39

\*Si  $ET_a > ET_m$ , no hay disminución de rendimiento por déficit hídrico.

\*\*Según Doorenbos y otros (1979), la deficiencia de humedad durante la maduración tiene un efecto insignificante en el rendimiento.

**CUADRO 7. Estimación de la disminución de rendimientos en grano, según déficit hídrico comparado con disminución real, 1984****TABLE 7. Estimated decrease of grain yield based on water deficit compared with actual decrease, 1984**

Siembra 17 abril												
Período	Aurifén + 150 kg N/ha (trat. 2)						Andifén + 150 kg N/ha (trat. 6)					
	Estado fenológico	$K_y$	$ET_m$ mm	$ET_a$ mm	$1-ET_a/ET_m$	$1-Y_a/Y_m$	Estado fenológico	$K_y$	$ET_m$ mm	$ET_a$ mm	$1-ET_a/ET_m$	$1-Y_a/Y_m$
26.09-25.10	Antesis a grano lechoso	*	73	80	0,00	0,00	Embuche a espigadura	*	100	101	0,00	0,00
25.10-06.11	Grano lechoso a maduración	*	76	85	0,00	0,00	Antesis a formación grano	*	127	141	0,00	0,00
06.12-07.01							Maduración	**	38	30	0,21	0,0
Suma ( $1-Y_a/Y_m$ ) Disminución real						0,00	Suma ( $1-Y_a/Y_m$ ) Disminución real					0,00 0,41
Siembra 8 junio												
Período	Aurifén + 150 kg N/ha (trat. 4)						Andifén + 150 kg N/ha (trat. 8)					
	Estado fenológico	$K_y$	$ET_m$ mm	$ET_a$ mm	$1-ET_a/ET_m$	$1-Y_a/Y_m$	Estado fenológico	$K_y$	$ET_m$ mm	$ET_a$ mm	$1-ET_a/ET_m$	$1-Y_a/Y_m$
26.09-25.10	Embuche a espigadura	*	100	105	0,00	0,00	Encañado a embuche	0,30	64	112	0,00	0,00
25.10-06.11	Antesis a formación grano	*	127	137	0,00	0,00	Espigadura a grano lechoso	0,55	152	157	0,00	0,00
06.12-07.01	Maduración	**	38	22	0,42	0,00	Formación grano a maduración	0,40	68	21	0,69	0,28
Suma ( $1-Y_a/Y_m$ ) Disminución real						0,00	Suma ( $1-Y_a/Y_m$ ) Disminución real					0,28 0,26

\*Si  $ET_a > ET_m$ , no hay disminución de rendimiento por déficit hídrico.

\*\*Según Doorenbos y otros (1979), la deficiencia de humedad durante la maduración tiene un efecto insignificante en el rendimiento.

Al parecer las condiciones negativas inducidas por una deficiente aireación del suelo o lluvias muy intensas (*Septoria* sp. asfixia radical, producción de toxinas en el suelo, enfermedades radicales), han afectado más a la producción de granos que al total de la materia seca en el ensayo de 1984.

El único tratamiento levemente afectado en su producción de materia seca por el exceso de humedad en invierno fue el correspondiente a la variedad precoz sembrada temprano, y aún en este caso, el porcentaje de reducción de rendimiento fue inferior al de grano.

#### Indices de cosecha

En general, éstos fueron bajos (Cuadro 8), especialmente en 1984 y en la variedad Andifén. Ello puede deberse a que en ese año, las lluvias invernales fueron muy abundantes y se prolongaron hasta octubre (76 mm), favoreciendo el desarrollo vegetativo.

#### Eficiencia del agua suministrada

Dadas las condiciones del invierno chileno y las grandes pérdidas que se producen por escorrentía superficial, 56% del agua suministrada aproximadamente, según Letelier y otros (1993), no es extraño que la eficiencia de dicha agua, en el total del cultivo, sea muy baja, especialmente en el año lluvioso de 1984. En cambio, los valores correspondientes al período primaveral fueron muy buenos, especialmente las del año más seco, 1983 (cuadros 9 y 10).

### CUADRO 8. Índices de cosecha

TABLE 8. Harvest indexes

Tratamiento	1983	1984
1. Aurifén T - N <sub>0</sub>	0,42*	0,35*
2. Aurifén T - N <sub>150</sub>	0,42	0,32
3. Aurifén N - N <sub>0</sub>	0,43	0,35
4. Aurifén N - N <sub>150</sub>	0,41	0,38
5. Andifén T - N <sub>0</sub>	0,28	0,23
6. Andifén T - N <sub>150</sub>	0,29	0,25
7. Andifén N - N <sub>0</sub>	0,31	0,31
8. Andifén N - N <sub>150</sub>	0,29	0,31

\*Los índices de cosecha del tratamiento 1 se obtuvieron promediando los correspondientes a los otros tratamientos de Aurifén.

La eficiencia primaveral del agua suministrada, obtenida en estos ensayos, se compara favorablemente con la eficiencia en los cultivos de riego. Según la Comisión Nacional de Riego (1978), la tasa de riego de septiembre a diciembre en la hoya de Rapel, sería de 10.040.000 L/ha (eficiencia de riego: 0,3). Si se supone que el 1 de septiembre hay acumulados en el suelo 3.500.000 litros, y considerando el rendimiento medio del ensayo en esa época (2.800 kg/ha), la eficiencia sería de 4.835 L de agua/kg de grano. Si el rendimiento se elevara a 60 qm/ha y la eficiencia del riego a 0,5, la eficiencia del agua sería de 1.587 L/kg de grano.

### CUADRO 9. Eficiencia del agua suministrada, 1983

TABLE 9. Efficiency of total water delivered, 1983

Tratamiento	Siembra a cosecha Agua suministrada*		9 de septiembre a cosecha Agua suministrada**	
	L/kg de m.s.	L/kg de grano	L/kg de m.s.	L/kg de grano
1. Aurifén - 15.04 N <sub>0</sub>	818	1.921	307	720
2. Aurifén - 15.04 N <sub>150</sub>	742	1.766	298	708
3. Aurifén - 25.05 N <sub>0</sub>	989	2.272	422	970
4. Aurifén - 25.05 N <sub>150</sub>	645	1.573	247	601
5. Andifén - 15.04 N <sub>0</sub>	698	2.494	278	993
6. Andifén - 15.04 N <sub>150</sub>	577	1.989	223	772
7. Andifén - 25.05 N <sub>0</sub>	702	2.262	276	892
8. Andifén - 25.05 N <sub>150</sub>	554	1.878	214	724

\*Agua inicial + lluvias en el período de cultivo.

\*\*Agua en el suelo al 9 de septiembre + lluvias desde el 9 de septiembre.

**CUADRO 10. Eficiencia del agua suministrada, 1984****TABLE 10. Efficiency of total water delivered, 1984**

Tratamiento	Siembra a cosecha*		26 de septiembre a cosecha**	
	L agua por kg m.s.	L agua por kg grano	L agua por kg m.s.	L agua por kg grano
1. Aurifén - 17.04 N <sub>0</sub>	1.836	5.245	684	1.954
2. Aurifén - 17.04 N <sub>150</sub>	1.663	5.196	621	1.942
3. Aurifén - 08.06 N <sub>0</sub>	1.207	3.450	490	1.399
4. Aurifén - 08.06 N <sub>150</sub>	957	2.519	376	990
5. Andifén - 17.04 N <sub>0</sub>	948	4.122	357	1.551
6. Andifén - 17.04 N <sub>150</sub>	823	3.290	314	1.257
7. Andifén - 08.06 N <sub>0</sub>	932	3.009	370	1.193
8. Andifén - 08.06 N <sub>150</sub>	758	2.446	300	968

\*Agua inicial + lluvias en el período de cultivo.

\*\*Agua en el suelo al 26 de septiembre + lluvia desde el 26 de septiembre.

En esta mayor eficiencia influye, no sólo el manejo del agua de riego sino también la menor evapotranspiración que hay en el secano costero de la VI Región, con respecto a la que existe en la olla del río Rapel.

Puede apreciarse en estos cuadros la mayor eficiencia en el uso del agua de los cultivos fertilizados con N, con respecto a los que no recibieron.

**Eficiencia del agua evapotranspirada**

Las eficiencias en materia seca (cuadros 11 y 12), fueron altas, especialmente las del año más seco de 1983. Así, por ejemplo, Briggs y Shantz, citados por Russel (1950), dan en el Estado de Colorado, EE. UU., valores entre 315 y 413. Kostikov, citado por Tschapek (1959), señala una eficiencia de 300 a 1.000, para cereales de Rusia.

**CUADRO 11. Eficiencia del agua evapotranspirada, 1983****TABLE 11. Efficiency of evapotranspired water, 1983**

Tratamiento	Siembra a cosecha Agua evapotranspirada*	
	L/kg de m.s.	L/kg de grano
1. Aurifén - 15.04 N <sub>0</sub>	220	450
2. Aurifén - 15.04 N <sub>150</sub>	200	476
3. Aurifén - 25.05 N <sub>0</sub>	259	594
4. Aurifén - 25.05 N <sub>150</sub>	139	340
5. Andifén - 15.04 N <sub>0</sub>	181	645
6. Andifén - 15.04 N <sub>150</sub>	144	496
7. Andifén - 25.05 N <sub>0</sub>	157	498
8. Andifén - 25.05 N <sub>150</sub>	137	463

\*Los valores de evapotranspiración antes del 9 de septiembre son estimados, según los indicados por Doorenbos y otros (1979), para cultivos de trigo sin déficit hídrico. Los posteriores al 9 de septiembre son reales.

**CUADRO 12. Eficiencia del agua evapotranspirada, 1984****TABLE 12. Efficiency of evapotranspired water, 1984**

Tratamiento	Siembra a cosecha Agua evapotranspirada*	
	L/kg de m.s.	L/kg de grano
1. Aurifén - 17.04 N <sub>0</sub>	139	877
2. Aurifén - 17.04 N <sub>150</sub>	213	942
3. Aurifén - 08.06 N <sub>0</sub>	328	730
4. Aurifén - 08.06 N <sub>150</sub>	230	574
5. Andifén - 17.04 N <sub>0</sub>	254	947
6. Andifén - 17.04 N <sub>150</sub>	219	790
7. Andifén - 08.06 N <sub>0</sub>	249	681
8. Andifén - 08.06 N <sub>150</sub>	214	603

\*Los valores de evapotranspiración antes del 26 de septiembre son estimados, según los indicados por Doorenbos y otros (1979), para cultivos de trigo sin déficit hídrico. Los posteriores al 26 de septiembre son reales.

También, en el año más seco de 1983 y en algunos tratamientos en 1984, la eficiencia en producción de grano fue alta; Brown (1971) señala para trigo de invierno de secano en el Estado de Montana, una eficiencia de 870 L de agua por kg de grano.

Como comprobaron Demolon (1950) y otros autores, la fertilización nitrogenada mejoró la eficiencia del agua evapotranspirada.

Dentro de los tratamientos con N, la eficiencia fue mejor en los tratamientos sembrados en fecha normal que en los sembrados en fechas tempranas.

Las altas eficiencias obtenidas en Hidango están determinadas, probablemente, por el régimen hídrico mediterráneo, que permite, a través del agua acumulada en el sub-suelo en una primavera con lluvias escasas, buen aprovechamiento de la evapotranspiración real; al respecto, Demolon (1950), cita para la avena variaciones del coeficiente de transpiración de 252 en condiciones de sequedad a 422 en condiciones de humedad excesiva. A esta situación se agrega una evapotranspiración potencial relativamente baja en el secano costero.

## RESUMEN

Se presentan los rendimientos del cultivo y la eficiencia del agua en dos ensayos factoriales sobre trigo de secano, sembrados en 1983 y 1984 en el litoral de la VI Región chilena, en la cual el clima es mediterráneo marítimo, y los suelos predominantemente arcillosos.

Durante el período de cultivo la lluvia fue de 690 mm en 1983 y 1.113 mm en 1984. La evaporación de bandeja en estos mismos períodos fue de 660 y 764 mm, respectivamente.

El cultivo se presentó bastante sano en 1983; en cambio, en 1984 hubo síntomas de *Septoria* sp en la variedad precoz, fecha de siembra temprana y se presentó amarillez foliar en forma bastante generalizada. Esta clorosis parece haber estado relacionada con exceso de humedad durante el invierno.

La producción estimada de materia seca fue alta, alcanzando un máximo de 17 ton/ha en 1983 y cerca de las 19 ton/ha en 1984.

El efecto más importante en el rendimiento de materia seca fue el del nitrógeno, alcanzándose un incremento de cerca de 5 ton/ha en la variedad precoz, sembrada en fecha normal, en 1983.

Los rendimientos en grano en los tratamientos fertilizados con N, fueron del orden de 5 a 6 ton/ha, siendo que el potencial en la zona alcanza entre 7 y 8 ton/ha, lo que indica que hubo limitaciones en ambos años. En 1983, el déficit de rendimiento en relación al potencial en la zona, se relacionó bien con el déficit de evapotranspiración ( $E_t/E_{T_m}$ ), lo que indica que en este año el factor limitante fue el déficit hídrico. En cambio, en 1984, la disminución del rendimiento fue superior a la esperada, según dicha relación, lo que indica que fue otro el factor limitante. Las observaciones efectuadas indican con gran probabilidad que el factor limitante fue el exceso de agua en invierno y el ataque de *Septoria* sp.

La eficiencia del agua suministrada en la primavera (agua inicial + lluvia) fue, en 1983, de 894 L de agua/kg de grano, como promedio de los tratamientos sin N y de 701 L de agua/kg de grano en los con N. En 1984, estos índices fueron de 1.524 y 1.289 L/kg, respectivamente.

Tomando en cuenta el total del período de cultivo, la eficiencia del agua evapotranspirada se estimó, en 1983, en 547 L/kg de grano, como promedio de los tratamientos sin N, y de 444 L/kg en los con N. En 1984, estos índices fueron 809 y 727 L/kg, respectivamente.

## LITERATURA CITADA

BRAWN, PAUL L. 1971. Water use and soil depletion by dryland winter wheat as affected by nitrogen fertilization. *Agronomy Journal* 63: 43-46.

COMISION NACIONAL DE RIEGO. 1978. Estudio de prefactibilidad de la hoya del río Rapel. Informe final, Resumen y Conclusiones. Comisión Nacional de Riego. Santiago, Chile. p.: 86-115.

DEMOLON, A. 1950. Croissance des vegetaux cultives. Ed. Dunod. p.: 96-101.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H.; BENTRELSSEN, C.L.M.; BRANSCHIED, V.; PLUSJED, M.G.A.; SMITH, M.; VITTENBOGOARD, G.O. y VAN DER VAL, H.K. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. Estudio FAO: Riego y Drenaje 33. 181 p.

- LETELIER A., ELIAS, TORTELLO M., LIDO y UBILLA R., CLAUDIO. 1993. Economía del agua del cultivo del trigo en el secano costero de la VI Región de Chile. I. Balance hídrico. *Agricultura Técnica (Chile)* 53: 160-178.
- LETELIER A., ELIAS y UBILLA R., CLAUDIO. 1985. Cultivo del trigo sobre terreno corrugado. *Investigación y Progreso Agropecuario La Platina* 28: 23-25.
- RAMIREZ A., IGNACIO and CAGLEVIC D., MILAN. 1983. *Septoria* leaf blotch in Chile. In: A. L. Scharen (ed.), *Septoria of cereals*. Proceedings of the workshop held at Montana State University. P.: 42-44.
- RUSSEL, SIR E. JOHN. 1950. Soil conditions and plant growth. Longmans, Green and Co. Londres, Inglaterra. p.: 365-367.
- TSCHAPEK, MARCOS W. 1959. El agua en el suelo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires, Argentina. p.: 330-332.