

Programa Desarrollo de Nuevas Áreas Bajo Riego

Proyecto MARI MENUCO Perfil de Proyecto Componente Riego PROVINCIA DE NEUQUÉN



AUTORES

J.A. Morábito, L. Martín, L. Sponton, A. Mariani, R. Hernández

Subsecretaría de Recursos Hídricos
Secretaría de Obras Públicas



ARGENTINA
200 AÑOS DE
INDEPENDENCIA



Ministerio del Interior,
Obras Públicas y Vivienda
Presidencia de la Nación

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	3
II.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
A.	Área de estudio	3
B.	Periodo libre de heladas	4
C.	Clasificación climática.....	4
D.	Determinación de la Evapotranspiración	7
E.	Disponibilidad hídrica de la cuenca	9
III.	RESULTADOS.....	10
F.	Datos meteorológicos.....	10
G.	Periodo libre de heladas	17
H.	Clasificación climática de Papadakis	19
I.	Clasificación climática de Thornthwaite.....	22
J.	Determinación de la ETo.....	23
K.	Determinación de la precipitación efectiva	30
L.	Cultivos y parámetros necesarios para el cálculo de las necesidades de riego	33
M.	Evapotranspiración de los cultivos.....	34
N.	Modelos de cultivos.....	36
O.	Necesidades de riego de los cultivos.....	40
P.	Eficiencias de los sistemas de riego.....	42
Q.	Requerimiento bruto de riego a nivel de bocatomas en propiedad, en canal secundario y en canal primario (cabecera del sistema)	58
R.	Dotaciones de riego (caudal ficticio continuo)	59
S.	Disponibilidad hídrica de la cuenca	60
IV.	BIBLIOGRAFIA	66
V.	ANEXOS.....	68

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene por objeto estimar las necesidades brutas de riego del modelo de cultivos que se implementará en el proyecto de riego “Mari Menuco” en la provincia de Neuquén para determinar la dotación de riego que se usará para el diseño de la red de riego, ya sean canales o tuberías.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Área de estudio

A los fines de proceder a la determinación de las necesidades de riego resulta necesario seleccionar una estación meteorológica que sea representativa del lugar y que provea datos confiables. En Argentina el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) administra una vasta red de estaciones meteorológicas y realiza un análisis pormenorizado de dichos datos para un uso confiable de los mismos. Se seleccionaron las siguientes estaciones meteorológicas (Tabla 1 y Figura 1).

Tabla 1: Características principales de las estaciones meteorológicas Cutral Co (SMN, 1969 y 1971) y Neuquén Aeropuerto (SMN, 2016) del proyecto Mari Menuco, Neuquén

Estación del SMN	Número de identificación	Coordenadas		Altitud	Periodo de la serie analizada
		Latitud	Longitud		
Cutral Co	87711	38 57 S	69 13 W	612 m	1959-1970
Neuquén Aeropuerto	87715	38 57 S	68 08 W	270 m	1996-2016



Figura 1: Ubicación de las estaciones meteorológicas Cutral Co y Neuquén Aeropuerto y los proyectos de riego Patagonia sustentable y Mari Menuco en la provincia de Neuquén

B. Periodo libre de heladas

Se utilizó el método de estimación indirecta de heladas propuesto por Emberger (1955), el cual evalúa el riesgo de heladas mensual a partir de la temperatura media de las mínimas de cada mes. Los meses fríos o con riesgo de heladas son aquellos que poseen temperaturas medias mínimas por debajo de 7°C. De acuerdo a este criterio se ha concluido que anteriormente a la fecha de la primera helada (otoño) o posteriormente a la de la última (primavera), el riesgo que se den temperaturas inferiores a 0°C es menor del 20%, riesgo admitido por la Organización Meteorológica Mundial en Guide or Agricultural Meteorological Practices, como aceptable en estudios relacionados con las actividades agrarias.

Este método divide el año en períodos según la probabilidad de producirse la helada de acuerdo al siguiente criterio:

- Periodo de heladas seguro: se produce cuando la temperatura media mínima es inferior a 0°C
- Periodo de heladas muy probable: ocurre cuando la temperatura media mínima se encuentra entre 0°C y 3°C
- Periodo de heladas probable: se da cuando la temperatura media mínima es mayor a 3°C y menor a 7°C

Para su determinación se utilizaron los datos de temperatura de las estaciones meteorológicas Cutral Co y Neuquén Aeropuerto (SMN). Se realizó el cálculo del inicio y finalización del período de heladas por interpolación lineal, suponiendo que las temperaturas medias mínimas se producen el 15 de cada mes.

C. Clasificación climática

Se efectuó un análisis de toda la información agroclimática disponible de las estaciones meteorológicas próximas al área de estudio (Cutral Co y Neuquén Aeropuerto).

Con posterioridad se usó esa información para la clasificación climática utilizando las metodologías de Papadakis (1966) y Thornthwaite (1948).

1. Papadakis

Papadakis (1966) clasifica a los climas en función de las zonas agrícolas y tiene en cuenta diversos factores para la viabilidad de los cultivos como son la severidad de los inviernos, la duración y calor de los veranos, la disponibilidad o no de agua y su distribución estacional. Con ellas se define el régimen térmico (combinación del tipo de invierno y tipo de verano) y el régimen hídrico, a partir de los cuales se obtienen los tipos climáticos de la clasificación.

El tipo de invierno define la severidad de la estación fría en función de la temperatura media de mínimas absolutas del mes más frío (t_{a1}), la temperatura media de mínimas del mes más frío (t_1) y la temperatura media de máximas del mes más frío (T_1)

El tipo de verano define el calor estival. Para definirlo se deben considerar los siguientes datos:

- la estación libre de heladas en meses.
- la media de las temperaturas medias máximas de los 2, 4 o 6 meses más cálidos del año ($1/n \sum_{i=1}^n T_i$, siendo $n=2, 4, 6$)
- la media de máximas del mes más cálido (T_{12})
- la media de mínimas del mes más cálido (t_{12}).

Papadakis distingue tres tipos de periodos de regímenes libre de heladas:

- Estación libre de heladas mínima (EmLH): la temperatura media de las mínimas absolutas es mayor a 7°C.
- Estación libre de heladas disponible (EDLH): la temperatura media de las mínimas absolutas es mayor a 2°C.
- Estación libre de heladas media (EMLH): la temperatura media de las mínimas absolutas es mayor a 0°C.

Papadakis opta por temperaturas más extremas que describirán mejor los sucesos de helada y considera, con criterio agronómico, que en la estación mínima libre de heladas es posible el cultivo de especies muy sensibles a la helada (como algodón y arroz) y en la disponible de otras especies; la estación disponible representaría la posibilidad de cultivos de verano normales. La estación media prácticamente no la considera. Por lo tanto, al no contar con los datos de temperatura media mínima mensual en la estación Cutral Co y Neuquén Aeropuerto, y solamente tener el dato de temperatura mínima mensual (no media) que representa el día más frío del mes, se considera que la ELH es disponible.

El régimen térmico resulta de la combinación de los tipos de invierno y verano.

El régimen hídrico utiliza la información de la precipitación y evapotranspiración de referencia acumulada media mensual y define los índices climáticos propios como una forma de estimar la disponibilidad de agua para las plantas. La metodología establece que se deben clasificar los meses del año desde el punto de vista hídrico (árido, seco, húmedo y sus variantes) y calcular dos índices para obtener los requerimientos hídricos de la zona:

- el índice de humedad anual: $I_h = \text{Precipitación anual (mm)}/\text{ETo anual (mm)}$
- y el índice de lluvia de lavado: $L_n = \text{Precipitación mensual (mm)} - \text{ETo mensual (mm)}$, sólo en los meses “húmedos”, si el mes no es húmedo es 0.

Finalmente, se define el tipo de clima (unidad climática) del área de estudio en función del régimen térmico e hídrico.

2. Thornthwaite

Thornthwaite (1948) se basó en una serie de índices calculados a partir de la temperatura media, reflejada a través de la evapotranspiración potencial de referencia, y de las precipitaciones reales de una localidad. Una vez obtenidos dichos valores, se podrá clasificar el clima de acuerdo las escalas dadas por el autor, para cada parámetro (ver anexo).

A continuación se detallan las variables calculadas para la metodología:

- Evapotranspiración Potencial (ETP): este parámetro establece la demanda evapotranspiratoria del sistema y es igual a la ETo.
- Evapotranspiración total real (ETr): Este valor establece qué cantidad es la que realmente puede extraerse del sistema. Por ejemplo si en una localidad la ETP es de 250 mm/mes y el perfil del suelo solo tiene 50mm acumulados, lo que realmente puede evaporar son 50mm porque es el agua real que posee el sistema, y tendrá un déficit de 200 mm.
- Evapotranspiración total del verano (ETv%) La concentración de la eficacia térmica en el verano se define como el porcentaje de ETP correspondiente a los meses más cálidos del año y define que tan riguroso es el mismo.

$$\text{ETo anual} \quad \text{-----} 100\%$$

$$\text{ETo (Oct-Mar)} \quad \text{-----} x \%$$

- Almacenaje acumulado de agua en el suelo: es la diferencia entre la precipitación acumulada del mes anterior más la precipitación del mes considerado respecto la ETo mensual.
- Déficit de agua en el suelo: es la diferencia entre la ETo mensual y la precipitación media mensual.
- Exceso de agua en el suelo: es el contenido de humedad edáfica después de satisfacer la demanda evapotranspiratoria.
- Índice de Aridez (I_a) = $\frac{100 \times \text{deficiencia de agua (anual)}}{\text{necesidad de agua (anual)}}$

Refleja qué cantidad de agua hay en déficit para completar la ETo de la localidad considerada.

- Índice Hídrico (I_h) = $\frac{100 \times \text{exceso de agua (anual)}}{\text{necesidad de agua (anual)}}$

Refleja qué cantidad de agua es la que sobra con respecto a ETo para la localidad considerada.

- Índice de Humedad (I_m) = $\frac{100 \times \text{exceso de agua(anual)} - 60 \times \text{def. agua (anual)}}{\text{necesidad de agua (anual)}}$

Este índice representa la cantidad de agua sobrante menos el 60% del agua en déficit y determina qué cantidad de agua hay presente en el sistema.

D. Determinación de la Evapotranspiración

En 1948, Penman combinó el balance energético con el método de transporte de masa y derivó una ecuación para calcular la evaporación de una superficie libre de agua, a partir de registros climatológicos normalizados de: heliofanía, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento. Esto se llamó método combinado y fue mejorado por otros investigadores, quienes lo aplicaron a superficies de cultivos, mediante la introducción de factores de resistencia.

La ecuación combinada de Penman – Monteith, que ha sido considerada como la mejor ecuación para la estimación de la evapotranspiración en diferentes condiciones meteorológicas, es la siguiente (Allen et al., 1998):

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

donde:

- λET : Calor latente de vaporización (evapotranspiración) ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
- R_n : Radiación neta ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
- G : Flujo de calor del suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
- ρ_a : Densidad media del aire a presión constante (kg m^{-3})
- c_p : Calor específico del aire ($\text{MJ kg}^{-1} \text{ °C}^{-1}$)
- $e_s - e_a$: Déficit de presión de vapor del aire (kPa)
- Δ : Pendiente de la curva que relaciona la temperatura con la presión de vapor a saturación (kPa °C^{-1})
- γ : Constante psicrométrica (kPa °C^{-1})
- r_a : Resistencia aerodinámica (s m^{-1})
- r_s : Resistencia superficial (s m^{-1})

En 1990 se realizó una reunión de expertos e investigadores con participación de la FAO, la Comisión Internacional de Riego y Drenaje y la Organización Mundial Meteorológica, para actualizar y revisar los procedimientos y métodos para determinar las necesidades de agua de los cultivos. De estas discusiones surgió la fórmula de determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) por el método FAO Penman – Monteith, que es la siguiente (Allen et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\mu_2)}$$

donde:

- ET_o : Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm día^{-1})
- R_n : Radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
- G : densidad del flujo de calor del suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
- γ : Constante psicrométrica (s m^{-1})
- T : Temperatura diaria media del aire a 2 m de altura (°C)
- μ_2 : Velocidad del viento a 2 m de altura (m s^{-1})
- e_s : Presión de vapor a saturación (kPa)
- e_a : Presión de vapor actual (kPa)
- $e_s - e_a$: Déficit de presión de saturación (kPa)
- Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C^{-1})

Según la metodología propuesta por FAO (Allen *et al.*, 1998), el cálculo de las necesidades netas de riego de los distintos cultivos, en una localidad determinada, se establece a partir del cálculo de los valores de ETo para esa localidad.

Se llama Evapotranspiración de Referencia (Allen *et al.*, 1998) (ETo), a la evapotranspiración de una superficie de cultivo hipotética, en donde la altura del cultivo es de 0,12 m, generando una resistencia superficial fija de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0,23. Esta superficie de referencia es aproximadamente equivalente a una superficie de pasto verde de altura uniforme, en activo crecimiento, que cubre completamente el suelo y con un suministro adecuado de agua.

Los únicos factores que afectan estos valores de ETo son los parámetros climáticos por lo tanto, esta última es también un parámetro climático y puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. ETo expresa el poder de evaporación (secante) de la atmósfera en una localidad específica y en una época determinada del año, la misma no considera las características del cultivo ni los factores edáficos. Para su cálculo es necesario conocer las siguientes variables, calculadas como promedios mensuales: temperatura máxima media, temperatura mínima media, humedad relativa media, velocidad del viento, heliofanía efectiva (horas de brillo solar) y lluvia.

Para el presente trabajo fue necesario ordenar la información disponible de las distintas variables meteorológicas de las estaciones de estudio del Servicio Meteorológico Nacional (SMN): Neuquén Aeropuerto y Cutral Co. Para el cálculo de la evapotranspiración, se ha trabajado con una serie histórica de diez (10) ciclos agrícolas y con datos correspondientes a las medias mensuales.

La evapotranspiración mensual del cultivo de referencia se obtuvo con el modelo CROPWAT (Smith, 1999) para las dos estaciones y la totalidad de años de registro.

Se realizó la prueba de Shapiro-Wilks modificada por Mahibbur y Govindarajulu (1997) para comprobar que los datos de ETo mensual en cada estación meteorológica seguían una distribución normal. Una vez verificada la normalidad de la muestra se realizó el cálculo de las distintas probabilidades de ocurrencia de ETo (90 %, 75 %, 50 % y 25 %) para ello se utilizó el programa INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2015). El cálculo fue realizado para cada una de las estaciones consideradas. Se compararon los valores de ETo de las dos estaciones analizadas para las probabilidades de ocurrencia de 50 % y 75% con el objeto de definir su utilización individual o conjunta.

Una vez determinada la ETo para diferentes probabilidades de ocurrencia se calculó con el CROPWAT la evapotranspiración máxima mensual (ETc) de cada cultivo para las probabilidades de 50% y 75%.

Para transformar los datos de evapotranspiración del cultivo de referencia, ETo, en la evapotranspiración de un determinado cultivo, se debe conocer el valor del coeficiente del cultivo (K_c). Esto permite calcular ETc, que es la evapotranspiración máxima mensual de un cultivo, en condiciones agronómicas óptimas, es decir sin factores limitantes de suelo, de agua ni presencia de plagas o enfermedades. La ecuación correspondiente es la siguiente:

$$ET_c = ET_o \cdot K_c$$

De acuerdo a la metodología de la FAO es necesario determinar para cada cultivo y para cada una de las etapas fundamentales de su desarrollo, la duración y el valor del Kc. Los valores de Kc utilizados en el presente trabajo fueron obtenidos de FAO (Allen *et al.*, 2006).

Para transformar las láminas determinadas mediante el cálculo de ETc en necesidades netas de riego, se consideró la precipitación efectiva. Ésta representa la parte de la lluvia que es aprovechada por los cultivos. Para calcularla se empleó la fórmula desarrollada por la FAO (y mencionada en el modelo CROPWAT), sobre la base de datos de numerosas determinaciones en regiones áridas y semiáridas.

Restando a los valores mensuales de ETc de cada cultivo, los datos de precipitación efectiva media en una determinada estación meteorológica, se obtienen las necesidades netas de riego para esos cultivos.

E. Disponibilidad hídrica de la cuenca

El presente estudio analiza la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Neuquén con el objeto de determinar los excedentes hídricos para ser usados en la implementación de nuevas áreas agrícolas sin afectar los usos preexistentes (agrícolas, urbanos, industriales, ecológicos, etc). Además este estudio considera la necesidad de preservar un caudal ecológico para la zona y prevé también eventuales disminuciones de las precipitaciones en la cuenca como consecuencia del impacto climático.

Para el cálculo de la disponibilidad hídrica del río Neuquén, a la altura del proyecto (Mari Menuco), y a fin de justificar la valoración del proyecto en cuanto a la garantía hídrica de la cuenca, se aplicó la metodología propuesta de “Indicador de Satisfacción de la Demanda (ISD)”. El mismo considera la disponibilidad de agua del río, las obras de infraestructura existentes, y las demandas de los distintos usos (agrícola, ecológico, afectación por cambio climático, poblacional, industrial) tratando de identificar los volúmenes disponibles (no comprometidos). Este volumen disponible se lo compara con el agua requerida para poner en funcionamiento una hectárea del proyecto.

El análisis se realiza considerando el volumen disponible anual para distintos percentiles (5% al 90%). Por último se elaboró una escala que permite asignarle un valor al ISD, que va de “1 a 5”. A continuación se explica el significado de esta valoración:

- 5: Muy Alto

Se trata de una fuente muy abundante, con caudales permanentes todos los meses del año y obras de infraestructura (ejemplo diques de embalse) que permiten asegurar una adecuada provisión de agua por regulación plurianual.

- 4: Alto

Se trata de una fuente abundante a muy abundante, con caudales permanentes todos los meses del año y sin obras de infraestructura (ejemplo diques de embalse) o con pequeñas obras de infraestructura que permitan asegurar la provisión anual de agua.

- 3: Medio

Se trata de una fuente de provisión normal/aceptable, con caudales permanentes todos los meses del año y sin obras de infraestructura (ejemplo diques de embalse) o con pequeñas obras que solo permitan asegurar la provisión anual de agua.

- 2: Bajo

Se trata de una fuente escasa/pequeña/menor de agua, con caudales casi siempre permanentes (puede existir ocasionalmente escurrimiento “0” en uno o más meses del periodo) y sin obras de infraestructura (diques de embalse) o con pequeñas obras que solo permitan asegurar la provisión anual.

- 1: Muy Bajo

Se trata de una fuente escasa de agua, con caudales no permanentes (puede existir ocasionalmente escurrimiento “0” en uno o más meses del periodo) y sin obras de infraestructura (diques de embalse) que permitan una segura provisión de agua durante el año.

III. RESULTADOS

F. Datos meteorológicos

3. Estación Cutral Co

La Tabla 2 presenta los datos estadísticos de dicha estación para la serie de años 1959 – 1968, algunos valores faltantes fueron completados de la serie 1961/70 del SMN.

Tabla 2: Parámetros meteorológicos relevantes de la estación Cutral-Co* (SMN, 1969)

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Nº de años (1959 - 1968)	12	11	10	9	10	10	10	11	10	11	9	9	10
Temp. máxima absoluta (°C)	39	38	36	32	28	26	25	26	28	33	35	39	39
Temp. máxima media (°C)	30	30	26	22	16	12	12	15	17	21	25	28	21
Temp. media (°C)	22	21	18	14	10	6	6	8	10	13	17	20	14
Temp. mínima media (°C)	14	13	10	7	3	0	0	2	3	6	10	12	7
Temp. mínima absoluta (°C)	5	4	-4	-2	-4	-10	-8	-7	-8	-2	2	3	-10
Velocidad viento media km/h (a 10 m)	12	11	9	8	8	8	7	10	11	11	11	14	10
Humedad relativa media (%)	32	36	44	50	59	64	65	53	50	45	38	33	47
Heliofanía relativa media (horas)	12	11	9	8	6	6	5	6	7	8	10	11	8
Nubosidad media (octavos)	2	1	2	3	3	3	4	3	3	3	2	2	3
Precipitación media (mm)	14	8	17	17	15	18	14	7	21	32	16	13	193

*Nota: datos suministrados por el SMN, 1969.⁽¹⁾ datos obtenidos de SMN 1971.

Como puede verse la temperatura máxima absoluta en dicho periodo ha alcanzado un valor de 39,4 °C, la mínima absoluta un valor de -10,2 °C y la temperatura media anual es de 13,9 °C, con extremos de 22,2 °C en enero y 6,2 °C en el mes de julio. La velocidad del viento a 10 m de altura de medición varía entre 7,0 (julio) y 14,0 km/h (diciembre), siendo el valor medio anual de 10,0 km/h. Si se analiza la humedad relativa la zona presenta un valor medio anual de 47,4 % con valores extremos de 65,0% en julio y de 32,0% en enero. En lo que respecta a la heliofanía relativa media el área tiene un valor medio anual de 8,3 horas/día y la precipitación media anual es de 193 mm.

Con esta información se elaboraron las siguientes figuras:

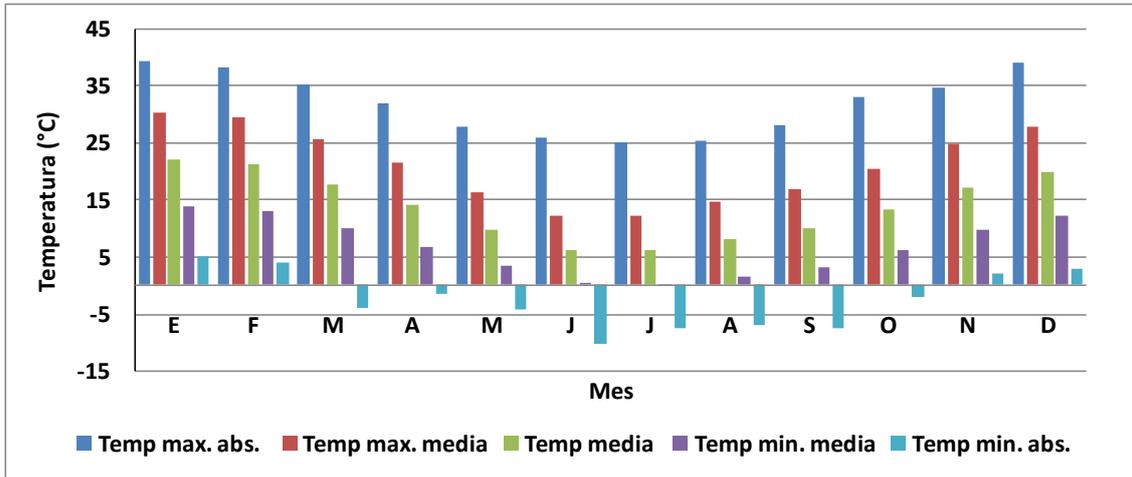


Figura 2: Temperaturas máximas absolutas, máximas medias, medias, mínimas medias y mínimas absolutas de la estación Cutral Co (1959 - 1968)

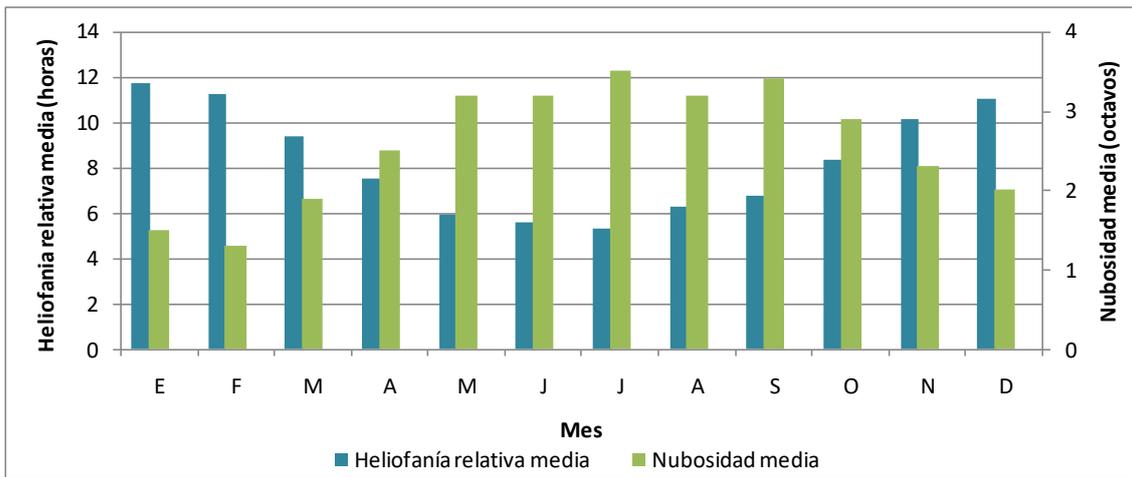


Figura 3: Heliofanía relativa media y nubosidad media de la estación Cutral-Co (1959 - 1968)

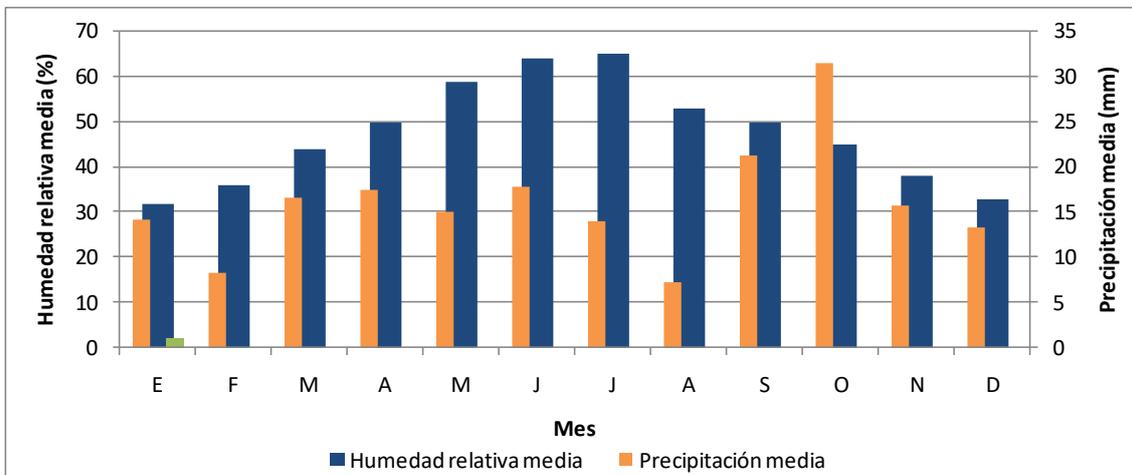


Figura 4: Humedad relativa media y precipitación media eme la estación Cutral-Co (1959 - 1968)

Las Tabla 3 y la Figura 5 sintetizan la información referida a la frecuencia de dirección de los

vientos.

Tabla 3: Frecuencia de direcciones de vientos sobre una escala de 1000 en las direcciones norte (N), noreste (NE), este (E), sureste (SE), sur (S), suroeste (SW), oeste (W) y noroeste (NW) de estación Cutral Co

Dirección/mes *	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	21	33	26	22	29	18	32	34	29	26	19	19
NE	103	126	129	132	146	108	108	127	114	109	118	93
E	92	89	128	153	173	118	163	120	154	133	94	75
SE	46	50	66	46	56	58	59	54	54	67	33	42
S	264	186	175	120	66	88	44	59	95	163	248	258
SW	256	248	207	227	190	179	183	163	178	195	237	219
W	171	215	183	239	258	239	236	299	280	244	207	243
NW	46	47	75	57	60	159	151	137	90	56	45	50

*Nota: datos obtenidos de las estadísticas climáticas del SMN, 1969.

La mayor parte del tiempo el viento sopla del cuadrante Oeste (W) y Sud-Oeste (SW).

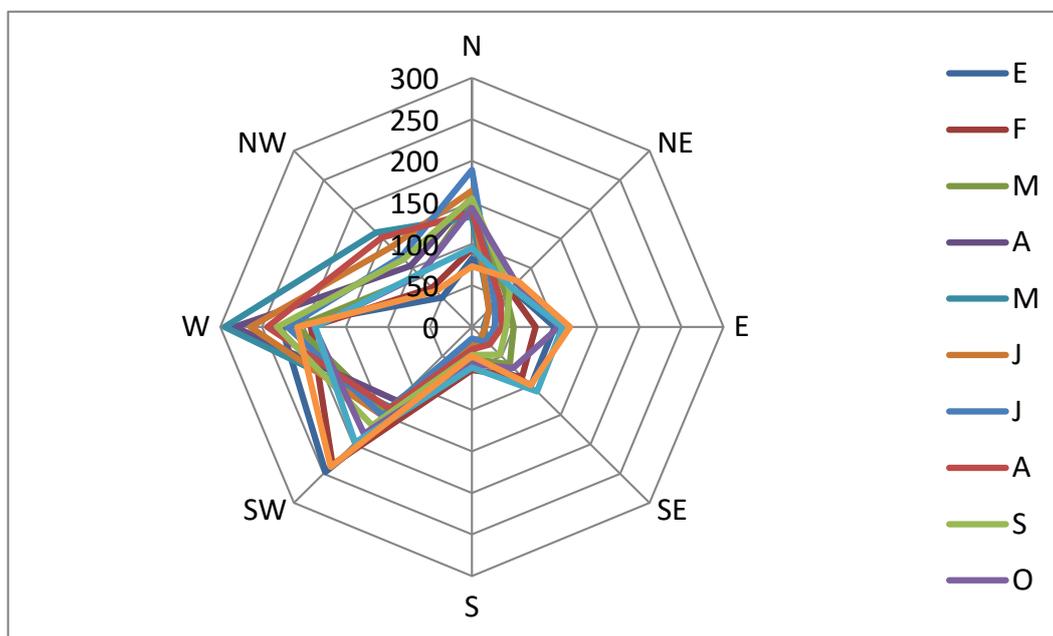


Figura 5: Frecuencia de direcciones de vientos (escala de 1000), estación Cutral Co (SMN, 1969)

La Tabla 4 y la Figura 6 sintetizan la información referida a la velocidad media de los vientos.

Tabla 4: Velocidad media de vientos (km/h) las direcciones norte (N), noreste (NE), este (E), sureste (SE), sur (S), suroeste (SW), oeste (W) y noroeste (NW), estación Cutral-Co (SMN, 1971)

Dirección/mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	35	33	33	28	30	30	28	28	31	37	31	33
NE	31	31	26	24	21	24	24	19	28	24	30	31

E	20	20	17	11	15	15	17	13	17	20	19	22
SE	26	26	22	20	16	19	20	20	20	22	26	28
S	26	30	31	28	22	22	20	28	24	30	31	30
SW	35	31	30	30	30	30	26	30	30	35	31	35
W	35	33	30	26	24	24	26	28	20	33	35	39
NW	30	26	22	22	22	22	24	22	26	26	30	30

Se observa que los vientos más fuertes son del sud-oeste (SW) seguido por la orientación norte (N).

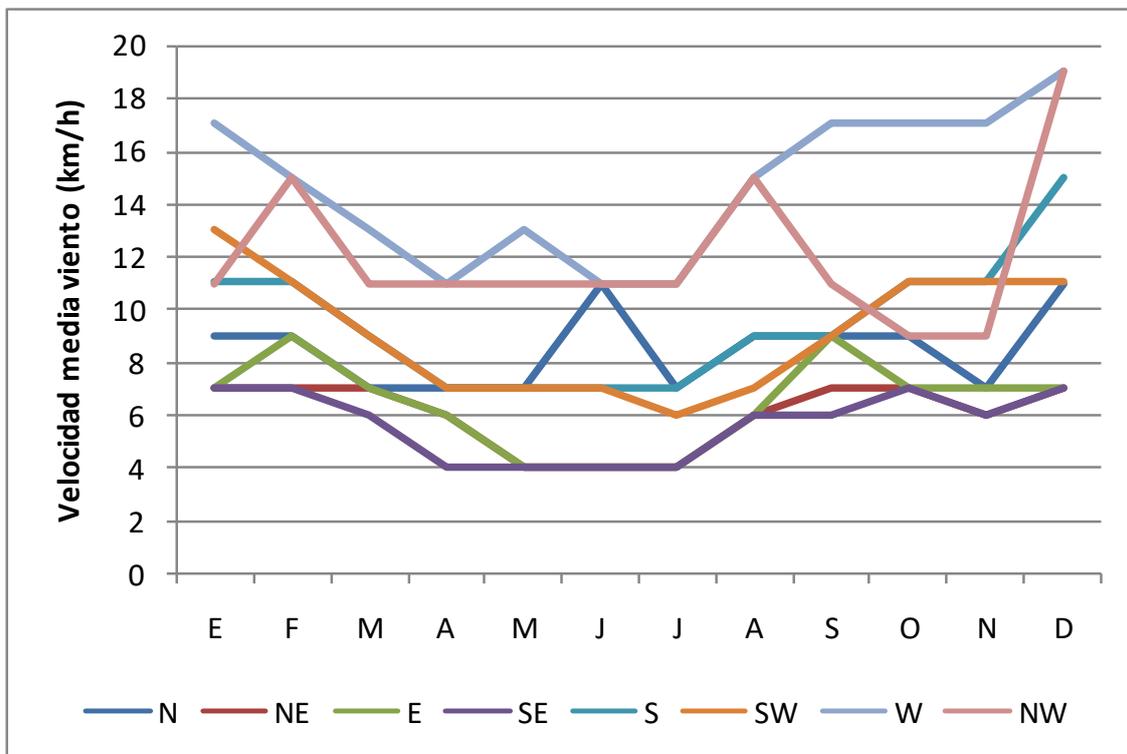


Figura 6: Velocidad media de vientos (km/h) en la estación Cutral Co (SMN, 1969)

4. Estación Neuquén Aeropuerto

En la estación Neuquén Aeropuerto se trabajó con la serie de años 1996 – 2016 (Tabla 5).

Tabla 5: Parámetros meteorológicos relevantes de la estación Neuquén Aeropuerto* (SMN, 2016)

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Nº de años (1996 - 2016)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	20	
Temp. máxima absoluta (°C)	42	40	41	32	31	27	25	31	34	35	38	41	42
Temp. máxima media (°C)	32	30	27	22	16	14	13	16	19	23	27	30	23
Temp. media (°C)	24	22	19	14	9	7	6	8	12	16	19	22	15
Temp. mínima media (°C)	16	14	12	7	4	2	1	2	5	9	12	15	8
Temp. mínima absoluta (°C)	6	4	2	-5	-11	-8	-12	-9	-5	-1	2	5	-12
Velocidad media viento km/h (a 10 m)	13	11	9	8	8	9	9	9	10	12	13	14	10
Humedad relativa promedio (%)	38	46	54	63	71	70	67	59	51	47	39	36	53

Heliofanía relativa media (horas)	11	11	9	7	5	4	5	6	6	8	10	9	8
Nubosidad media (octavos)	2	2	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3
Precipitación media (mm)	13	15	13	28	28	16	14	11	18	37	13	9	212

*Nota: datos suministrados por el SMN, 2016

Como puede verse la temperatura máxima absoluta en dicho periodo ha alcanzado un valor de 41,7 °C, la mínima absoluta un valor de -11,8 °C y la temperatura media anual es de 14,9 °C con extremos de 24,1 °C en enero y 6,3 °C en el mes de julio. La velocidad del viento a 10 m de altura de medición varía entre 7,7 (mayo) y 13,6 km/h (diciembre), siendo el valor medio anual de 10,4 km/h. Si se analiza la humedad relativa la zona presenta un valor medio anual de 53,4 % con valores extremos de 71,1% en mayo y de 36,2% en diciembre. En lo que respecta a la heliofíla relativa media el área tiene un valor medio anual de 7,5 horas/día con extremos medios anuales de 10,6 (enero) y de 4,3 horas/día en junio. La lluvia meda anual es de 212 mm. Con esta información se elaboraron las siguientes figuras:

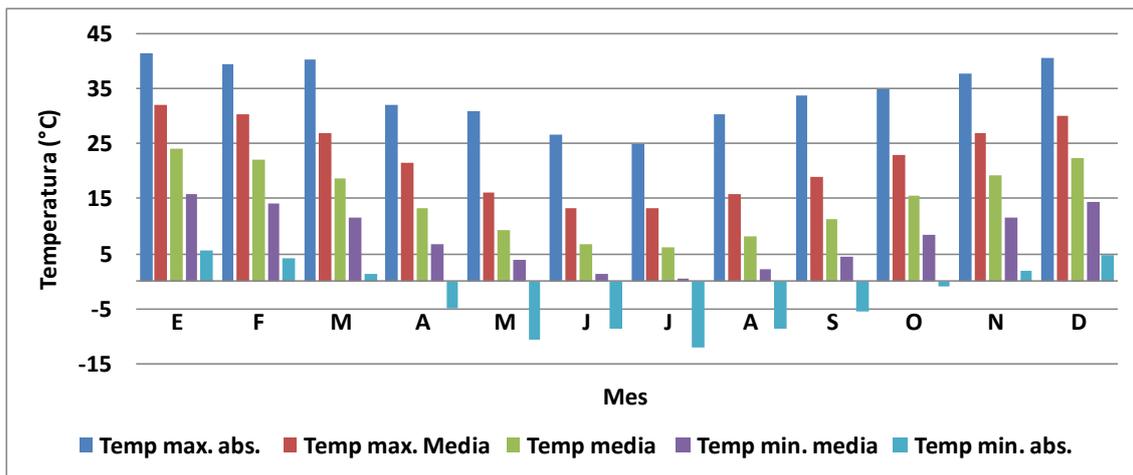


Figura 7: Temperaturas máximas absolutas, máximas medias, medias, mínimas medias y mínimas absolutas de la estación Neuquén Aeropuerto (1996 – 2016)

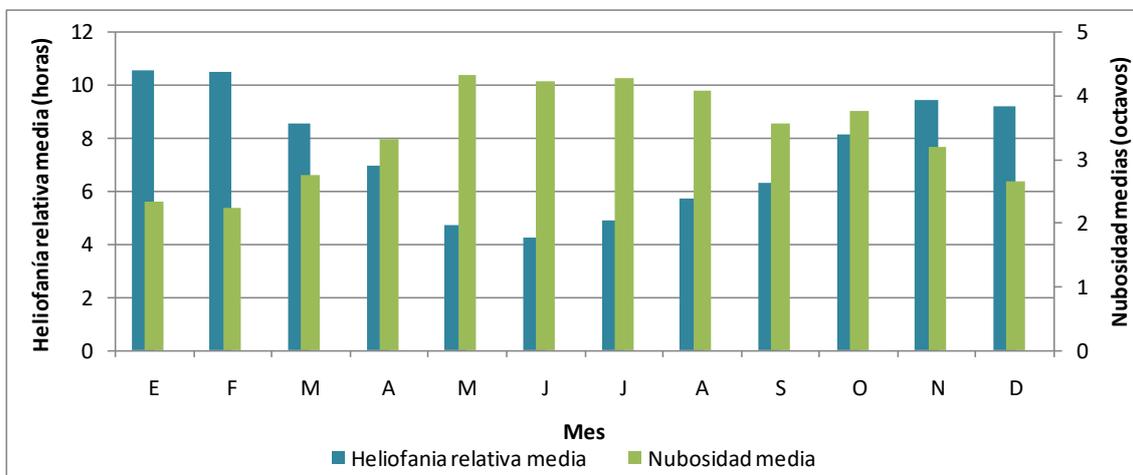


Figura 8: Heliofanía relativa media y nubosidad media de la estación Neuquén Aeropuerto (1996 – 2016)

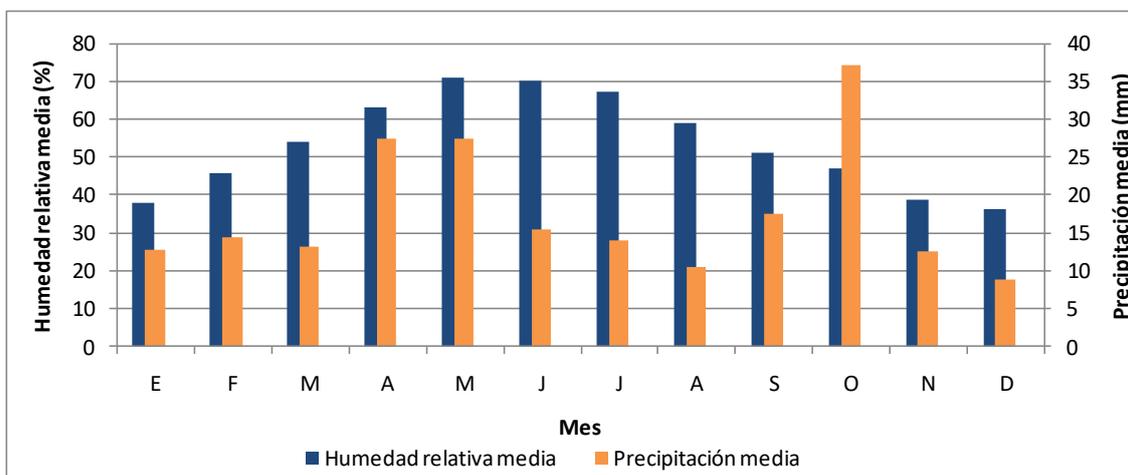


Figura 9: Humedad relativa media y precipitación media de la estación Neuquén Aeropuerto (1996 – 2016)

Las Tabla 6 y la Figura 10 sintetizan la información referida a la frecuencia de dirección de los vientos.

Tabla 6: Frecuencia de direcciones de vientos sobre una escala de 1000 en las direcciones norte (N), noreste (NE), este (E), sureste (SE), sur (S), suroeste (SW), oeste (W) y noroeste (NW) de la estación Neuquén Aeropuerto*

Dirección/mes*	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	24	22	20	26	19	19	28	34	32	34	34	22
NE	63	50	68	39	19	20	38	41	52	75	54	53
E	97	107	143	128	120	137	168	127	144	155	99	103
SE	55	53	73	65	46	55	47	56	68	54	55	61
S	17	22	14	12	11	14	19	15	18	16	27	34
SW	222	178	111	78	59	55	47	65	88	107	164	195
W	422	411	331	359	441	445	370	403	393	400	462	452
NW	25	29	42	34	64	69	65	80	61	46	32	36

*Nota: datos obtenidos de las estadísticas climáticas del SMN, 1971.

Se observa que la mayor parte del tiempo el viento sopla del cuadrante Oeste (W).

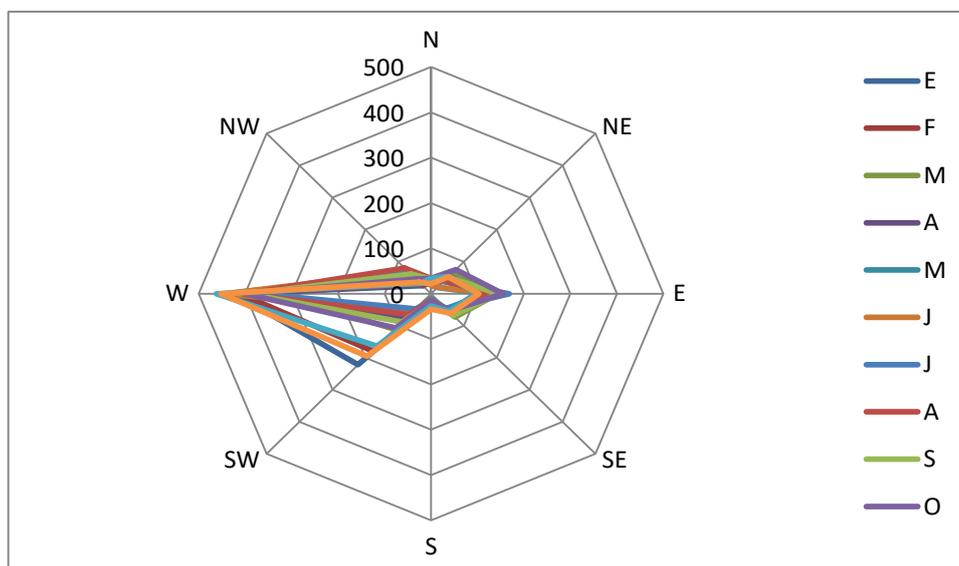


Figura 10: Frecuencia de direcciones de vientos (escala de 1000), estación Neuquén Aeropuerto* (SMN, 1971)

La Tabla 7 y Figura 11 presentan la información relativa a la velocidad del viento.

Tabla 7: Velocidad media de vientos (km/h) en las direcciones norte (N), noreste (NE), este (E), sureste (SE), sur (S), suroeste (SW), oeste (W) y noroeste (NW) de la estación Neuquén Aeropuerto* (SMN, 1971)

Dirección/mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	17	11	15	7	9	9	11	9	11	15	11	15
NE	17	15	15	15	9	7	11	9	13	17	19	17
E	13	11	13	9	9	9	9	11	11	13	13	15
SE	15	13	13	11	11	11	7	13	13	13	17	15
S	9	9	11	9	11	11	7	9	9	13	11	13
SW	22	20	19	19	19	19	15	17	19	20	20	22
W	19	17	17	15	15	15	13	17	17	19	20	22
NW	11	15	11	11	11	11	11	13	11	9	11	13

**Nota: datos obtenidos de las estadísticas climáticas del SMN, 1971.*

Se observa que los vientos más fuertes son del sud-oeste (SW) seguido por la orientación oeste (W).

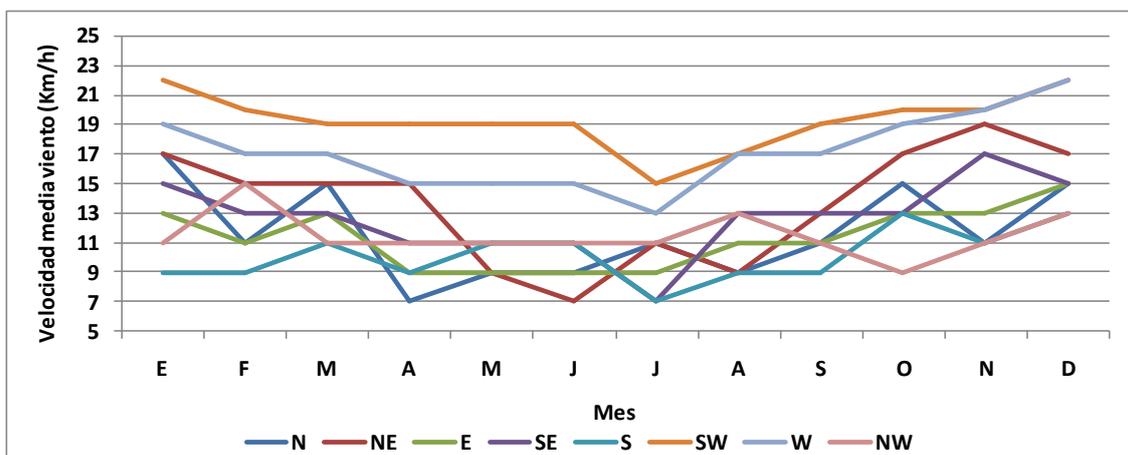


Figura 11: Velocidad media de vientos (km/h) en la estación Neuquén Aeropuerto* (SMN, 1971)

G. Periodo libre de heladas

5. Estación Cutral Co

A continuación, se muestran los distintos riesgos de heladas y la duración del periodo de heladas a partir de la información suministrada por la estación Cutral Co (Tabla 8). Se observa que no se registraron valores de temperatura media mínima por debajo de 0°C en cada mes de la serie analizada. Sin embargo, se deduce un periodo de heladas “muy probable” (0°C < T < 3°C) entre los meses de mayo y setiembre, y un periodo de heladas “muy probable y probable” (3°C < T < 7°C) entre los meses de abril y octubre.

Tabla 8: Temperaturas medias mínimas mensuales y periodos de heladas en la estación Cutral Có (1961-70, SMN)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Temperatura media mínima (°C)	14	13.1	10	6.6	3.4	0.3	0.2	1.5	3	6.2	9.7	12.3
T < 0°C												
0°C < T < 3°C												
3°C < T < 7°C												

En la Tabla 9 se observa que la duración del período con riesgo de heladas considerando intervalos de temperatura media mínima de 0 a 3°C y de 0°C a 7°C es de 119 y 194 días respectivamente. El periodo libre de heladas considerando intervalos de temperaturas mínimas medias de 0°C a 3°C y de 0°C a 7°C es de 246 y 171 días respectivamente.

Tabla 9: Regímenes de heladas en la estación Cutral Có, Neuquén (Emberger, 1955)

Temperatura media mínima (°C)	Periodo de heladas				Duración (días)	Periodo libre de heladas (días)
	Riesgo de heladas	Fecha	Fecha			
		inicio heladas	fin heladas			
T < 0°C	Seguro	-	-	-	-	-
0°C < T < 3°C	Muy probable	19-may	15-sep	119	246	
0°C < T < 7°C	muy probable	11-abr	22-oct	194	171	

	y probable				
--	------------	--	--	--	--

6. Estación Neuquén Aeropuerto

A continuación se muestran los distintos riesgos de heladas y la duración del periodo de heladas a partir de la información suministrada por la estación Neuquén Aeropuerto (Tabla 10). Se observa que no se registraron valores de temperatura media mínima por debajo de 0°C en cada mes de la serie analizada. Sin embargo, se deduce un periodo de heladas “muy probable” (0°C < T < 3°C) entre los meses de mayo y agosto, y un periodo de heladas “muy probable y probable” (3°C < T < 7°C) entre los meses de marzo y octubre.

Tabla 10: Temperaturas medias mínimas mensuales y periodos de heladas en la estación Neuquén Aeropuerto (1996-2016, SMN)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agosto	Set	Oct	Nov	Dic
Temp. media mínima (°C)	15.9	14.3	11.7	7	3.9	1.6	0.6	2.3	4.6	8.5	11.7	14.5
T < 0°C												
0°C < T < 3°C												
3°C < T < 7°C												

En la Tabla 11 se observa que la duración del período con riesgo de heladas, considerando intervalos de temperatura media mínima de 0 a 3°C y de 0°C a 7°C, es de 89 y 203 días respectivamente. El periodo libre de heladas considerando intervalos de temperaturas mínimas medias de 0°C a 3°C y de 0°C a 7°C es de 276 y 162 días respectivamente.

Tabla 11: Regímenes de heladas en la estación Neuquén Aeropuerto, Neuquén (Emberger, 1955)

Temperatura media mínima (°C)	Periodo de heladas				Periodo libre de heladas (días)
	Riesgo de heladas	Fecha inicio heladas	Fecha fin heladas	Duración (días)	
T < 0°C	Seguro	-	-	-	0
0°C < T < 3°C	Muy probable	27-may	24-ago	89	276
0°C < T < 7°C	muy probable y probable	15-mar	04-oct	203	162

7. Promedio de valores entre ambas estaciones

En la Tabla 12 se detallan los valores promedios entre ambas estaciones, los cuales fueron obtenidos del análisis del periodo de heladas anteriormente mencionado. Se considera en el área del proyecto de Mari Menuco una duración promedio del periodo libre de heladas de 167 días (5,6 meses). Las fechas promedios de inicio y finalización de heladas con riesgo para los cultivos son el 28 de marzo y el 13 de octubre (199 días).

Tabla 12: Duración del periodo con y sin heladas (por estación y promedio de valores entre Cutral Co y Neuquén Aeropuerto) en el proyecto Mari Menuco, Neuquén

		Cutral Co	Neuquén Aeropuerto	Promedio entre ambas estaciones
Periodo con heladas	Inicio	11-abr	15-mar	28-mar
	Fin	22-oct	04-oct	13-oct
	Días	194	203	199
Periodo libre de heladas	Días	171	162	167
	Meses	5,7	5,4	5,6

H. Clasificación climática de Papadakis

A continuación, se muestran los resultados de la metodología para calcular el tipo de invierno y tipo de verano, y los regímenes térmico e hídrico.

8. Tipo de invierno

En la Tabla 13 se muestran los datos de temperaturas del mes más frío del año (Julio) en las estaciones Cutral Co y Neuquén Aeropuerto para las series analizadas.

Tabla 13: Datos meteorológicos de Cutral Co (1961-70, SMN) y Neuquén Aeropuerto (1996-2016, SMN) del mes más frío del año: temperatura media mínima absoluta ($t'a_1$), temperatura media de mínimas (t_1) y temperatura media de máximas (T_1)

Estación meteorológica (SMN) / Mes más frío del año	$t'a_1(^{\circ}\text{C})$	$t_1(^{\circ}\text{C})$	$T_1 (^{\circ}\text{C})$
Cutral Co (Julio)	-7.5	0.2	12.1
Neuquén Aeropuerto (Julio)	-11.8	-0.6	13.4

Los datos del SMN presentan un solo valor de la temperatura mínima absoluta de Julio en Cutral Co y Neuquén Aeropuerto para las series analizadas. Por su parte, Papadakis establece la necesidad de contar con el valor promedio de las temperaturas mínimas absolutas del mes más frío. Evidentemente, la temperatura mínima absoluta unitaria es menor que la temperatura mínima promedio del mes. Si se utiliza la información de Neuquén (-11.8°C) en la metodología, evidentemente la temperatura mínima absoluta promedio será mayor, por lo tanto se considera que la temperatura mínima absoluta promedio será mayor a -10°C. Resulta ser este valor el límite establecido entre dos tipos de invierno, Avena y Triticum (ver anexo).

Según la clasificación, corresponde al **tipo de invierno “Avena cálida” (Av)** en ambas estaciones, debido a que para el mes de Julio la temperatura media de mínimas absolutas se encuentra entre -10°C y -2.5°C, la temperatura media de mínimas es >- 4°C y la temperatura

media de máximas es $>10^{\circ}\text{C}$ (ver anexo). Este tipo de invierno es suficientemente suave para plantar avena en otoño y demasiado frío para cultivar cítricos.

9. Tipo de verano

En la Tabla 14 se muestran los datos de temperatura de los meses más cálidos necesarios para clasificar el tipo de verano en ambas estaciones meteorológicas (ver anexo). El mes más cálido para Cutral Co y Neuquén Aeropuerto fue enero.

Tabla 14: Meses más cálidos del año, temperatura media máxima, temperatura media de la media de máximas de los n meses más cálidos ($1/n \sum i$), temperatura media de máximas del mes más cálido (T_{12}) y temperatura media de mínimas del mes más cálido (t_{12}) en las estaciones Cutral Co (1961-70) y Neuquén Aeropuerto (1996-2016)

	Meses más cálidos	Temp. media máxima ($^{\circ}\text{C}$)	$1/n \sum i$ ($^{\circ}\text{C}$) $n= 6$ meses	$1/n \sum i$ ($^{\circ}\text{C}$) $n= 4$ meses)	T_{12} ($^{\circ}\text{C}$) ENERO	t_{12} ($^{\circ}\text{C}$)
Cutral Co	Ene	30.4	26.7	28.4	30.4	14
	Feb	29.7				
	Dic	27.9				
	Mar	25.6				
	Nov	24.9				
	Ab	21.6				
Neuquén Aeropuerto	Ene	32.2	28.4	30	32.2	15.9
	Feb	30.4				
	Dic	30.2				
	Mar	27.1				
	Nov	27.1				
	Oct	23.1				

Según la clasificación, corresponde al **tipo de verano “Maiz” (M)**, debido a que la estación libre de heladas es > 4.5 meses, la temperatura media de la media de máximas de los 6 meses más cálidos es $> 25^{\circ}\text{C}$ y la temperatura media de máximas del mes más cálido es $> 21^{\circ}$ en ambas estaciones meteorológicas (ver anexo). Este tipo de verano se caracteriza por ser suficientemente cálido para cultivar maíz y marginal para arroz.

10. Régimen térmico

De acuerdo al tipo de invierno “Avena cálida” y al tipo de verano “Maíz”, el régimen térmico en ambas estaciones meteorológicas de la zona de estudio es “**Pampeano**” (PA) (ver anexo).

11. Régimen hídrico

En las siguientes tablas, se muestran los datos meteorológicos de la estación Cutral Co y Neuquén Aeropuerto necesarios para la clasificación del régimen hídrico.

Tabla 15: Evapotranspiración de referencia (ET_o) media diaria y mensual, precipitación media mensual, temperatura media mensual, índice de lluvia de lavado (Ln), índice de

**humedad anual (Ih) y clasificación del mes desde el punto de vista hídrico en la estación
Cutral Co (1961-70, SMN)**

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total (mm)
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
ETo diaria (mm.día ⁻¹)	7	6	4	3	2	1	1	2	3	4	6	7	
ETo mensual (mm.mes ⁻¹)	224	178	136	84	52	34	33	63	87	127	167	218	1403
25% ETo (mm.mes ⁻¹)	56	45	34	21	13	8	8	16	22	32	42	54	
50% ETo (mm.mes ⁻¹)	-	-	-	-	26	17	16	-	-	-	-	-	
75% ETo (mm.mes ⁻¹)	-	-	-	-	-	26	-	-	-	-	-	-	
Precipitación media (mm)	14	8	17	17	15	18	14	7	21	32	16	13	192
Temp. media (°C)	22	21	18	14	10	6	6	8	10	13	17	20	
Ln	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ih	0.14												
Clasificación del mes (A= árido, S=seco, I= intermedio seco)	A	A	A	A	S	I	S	A	A	A	A	A	

ETo: valores presentados en la sección “Determinación de la ETo” del presente trabajo

Tabla 16: Evapotranspiración de referencia (ETo) media diaria y mensual, precipitación media mensual, temperatura media mensual, índice de lluvia de lavado (Ln), índice de humedad anual (Ih) y clasificación del mes desde el punto de vista hídrico en la estación Neuquén Aeropuerto (1996-2016, SMN)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total (mm)
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
ETo diaria (mm.día ⁻¹)	7	6	4	3	1	1	1	2	3	5	6	7	
ETo mensual (mm.mes ⁻¹)	225	171	133	77	44	34	37	58	89	138	182	216	1404
25% ETo (mm.mes ⁻¹)	56	43	33	19	11	8	9	15	22	34	46	54	
50% ETo (mm.mes ⁻¹)	-	-	-	38	22	17	18	-	-	69	-	-	212
75% ETo (mm.mes ⁻¹)	-	-	-	-	33	-	-	-	-	-	-	-	

Precipitación media (mm)	13	15	13	28	28	16	14	11	18	37	13	9	
Temperatura media (°C)	24	22	19	14	9	7	6	8	12	16	19	22	
Ln	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ih	0.15												
Clasificación del mes (A= árido, S=seco, I= intermedio seco)	A	A	A	S	I	S	S	A	A	S	A	A	

ETo: valores presentados en la sección “Determinación de la ETo” del presente trabajo

De acuerdo a Papadakis (1966), el **régimen hídrico es “desértico isohigro” (di)**, el cual cumple con una de las características mencionadas en el anexo: la precipitación primaveral y anual cubre más del 9% de la ETo anual y primaveral (ver tabla siguiente).

Tabla 17: Evapotranspiración de referencia (ETo), precipitación media en primavera y en todo el año en las estaciones Cutral Co y Neuquén Aeropuerto

	Cutral Co	Neuquén Aeropuerto
ETo en primavera (mm)	380.8	409
9% ETo en primavera (mm)	34.3	36.8
Precipitación en primavera (mm)	69	67.4
ETo anual (mm)	1403	1404
Precipitación anual (mm)	192	212

Primavera: setiembre, octubre, noviembre

12. Tipo de clima

La clasificación agroclimática final del área de estudio, teniendo en cuenta el régimen térmico e hídrico, corresponde al tipo climático “**Desierto pampeano**” (ver anexo).

I. Clasificación climática de Thornthwaite

Para el análisis climático del área de estudio, se confeccionaron unas tablas con los datos meteorológicos recolectados de las estaciones Cutral Co (Tabla 18) y Neuquén Aeropuerto (Tabla 19).

Tabla 18: Evapotranspiración de referencia (ETo), precipitación media mensual, almacenaje acumulado, déficit y exceso de agua en el suelo y evapotranspiración total real (ETr) en la Estación Cutral Co (1961-70, SMN), según Thornthwaite (1948).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
ETo diaria (mm.día ⁻¹)	7	6	4	3	2	1	1	2	3	4	6	7	

ETo mensual (mm.mes ⁻¹)	224	178	136	84	52	34	33	63	87	127	167	218	1403
Precipitación media mensual (mm)	14	8	17	17	15	18	14	7	21	32	16	13	
Almacenaje acumulado de agua (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Déficit de agua(mm)	210	170	120	66	37	16	19	55	65	96	151	204	1210
Exceso de agua (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETr (mm.mes ⁻¹)	17	17	16	38	24	12	20	13	23	57	41	33	311

ETo: valores presentados en la sección “Determinación de la ETo” del presente trabajo

Tabla 19: Evapotranspiración de referencia (ETo), precipitación media mensual, almacenaje acumulado, déficit y exceso de agua en el suelo y evapotranspiración total real (ETr) en la Estación Neuquén Aeropuerto (1996-2016, SMN), según Thornthwaite (1948)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
ETo diaria (mm.día ⁻¹)	7	6	4	3	1	1	1	2	3	4	6	7	
ETo mensual (mm.mes ⁻¹)	225	171	133	77	44	34	37	58	89	138	182	216	1404
Precipitación media mensual (mm)	13	15	13	28	27	16	14	11	18	37	13	9	
Almacenaje acumulado de agua (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Déficit de agua(mm)	213	156	120	49	16	18	23	48	71	101	170	207	1192
Exceso de agua (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETr (mm.mes ⁻¹)	13	15	13	28	27	16	14	11	18	37	13	9	212

ETo: valores presentados en la sección “Determinación de la ETo” del presente trabajo

Se calcularon los siguientes índices para clasificar el clima en las estaciones Cutral Co y Neuquén Aeropuerto (Tabla 20).

Tabla 20: Índice de humedad (Im), índice de aridez (Ia), índice hídrico (Ih), evapotranspiración potencial (ETP) y concentración estival (ETv) en Cutral Co (1961-70, SMN) y Neuquén Aeropuerto (1996-2016, SMN). (Thornthwaite, 1948)

Índices	Estación Cutral Co	Estación Neuquén Aeropuerto
Im	-51.8	-50.9
Ia	86.3	84.9
Ih	0	0
ETP	1403.3	1403.6
ETv (%)	74.9	75.9

Con los valores obtenidos se determinó que la zona del proyecto Mari Menuco se ajusta a la clasificación según Thornthwaite (ver anexo) como:

- **Árido:**
- *“falta de agua invernal” = grande,*
- *“exceso de agua” = pequeño o nulo,*
- **Mega térmico c'2.**

J. Determinación de la ETo

13. Estación Cutral Co

La Tabla 21 presenta los valores de ETo mensuales para el período 1959 - 1970.

Tabla 21: Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) para el área de influencia de la estación meteorológica Cutral Co (1959-70, SMN).

AÑO/MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1959	6.89	6.31	4.34	2.71	1.61	1.08	1.01	1.93	2.91	3.96	5.64	7.41
1960	7.72	6.76	4.42	2.83	1.71	1.14	1.06	2.00	2.90	4.10	5.60	7.02
1961	7.19	6.35	4.39	2.82	1.70	1.12	1.05	2.02	2.89	4.13	5.64	7.07
1962	7.21	6.36	4.81	2.81	1.69	1.19	1.01	2.07	3.04	4.43	5.62	7.03
1963	7.17	6.51	4.29	2.87	1.70	1.18	1.08	1.95	2.57	3.86	4.97	7.12
1964	7.34	6.15	4.18	2.65	1.67	1.10	1.06	2.05	2.93	4.11	5.71	6.84
1965	7.18	6.16	4.48	2.77	1.52	1.09	0.96	2.00	2.91	4.29	5.52	6.73
1966	7.22	6.38	4.40	2.82	1.69	1.13	1.06	2.02	2.83	4.02	5.57	6.63
1967	7.19	6.40	4.47	2.97	1.78	1.09	1.12	2.01	2.90	4.04	5.93	7.62

1968	7.20	6.34	4.25	2.73	1.83	1.13	1.19	2.16	3.03	4.10	5.40	6.80
1969	7.43	6.35	4.39	2.82	1.67	1.07	1.10	1.96	3.03	3.99	5.68	6.82
1970	6.83	6.42	4.39	2.96	1.75	1.16	1.15	2.00	2.99	4.27	5.57	7.06

A continuación, se resumen las diferentes variables estadísticas que caracterizan la distribución normal de los datos de ETo para los 12 años analizados.

Tabla 22: Medidas de resumen estadístico (tamaño de muestra (n), media (x), desviación estándar (D.E.), varianza n-1 (Var), error estándar (E.E.), valor mínimo (Mín), valor máximo (Máx), mediana (Med), percentiles (P, %), coeficiente de correlación lineal (r) y probabilidad (P)) de los valores de ETo mensuales en la estación Cutral Co (1959-70, SMN)

	n	x	D.E.	Var	E.E.	Mín	Máx	Med	P 25%	P 50%	P 75%	P 90 %	r	P
Ene	12	7.21	0.23	0.05	0.07	6.83	7.72	7.20	7.17	7.19	7.22	7.43	0.93	0.3320
Feb	12	6.37	0.16	0.02	0.05	6.15	6.76	6.36	6.31	6.35	6.40	6.51	0.92	0.2300
Mar	12	4.40	0.16	0.02	0.04	4.18	4.81	4.39	4.29	4.39	4.42	4.48	0.91	0.1641
Abr	12	2.81	0.09	0.01	0.03	2.65	2.97	2.82	2.73	2.82	2.83	2.96	0.97	0.6341
May	12	1.69	0.08	0.01	0.02	1.52	1.83	1.70	1.67	1.69	1.71	1.78	0.96	0.8126
Jun	12	1.12	0.04	0.00	0.01	1.07	1.19	1.13	1.09	1.12	1.14	1.18	0.98	0.4366
Jul	12	1.07	0.06	0.00	0.02	0.96	1.19	1.06	1.01	1.06	1.10	1.15	0.99	0.9420
Ago	12	2.01	0.06	0.00	0.02	1.93	2.16	2.01	1.96	2.00	2.02	2.07	0.95	0.4732
Set (*)	12	2.91	0.13	0.02	0.04	2.57	3.04	2.91	2.89	2.91	2.99	3.03	0.87	0.4454
Oct	12	4.11	0.16	0.02	0.05	3.86	4.43	4.10	3.99	4.10	4.13	4.29	0.98	0.7996
Nov	12	5.57	0.23	0.05	0.07	4.97	5.93	5.61	5.52	5.60	5.64	5.71	0.89	0.1035
Dic	12	7.01	0.28	0.08	0.08	6.63	7.62	7.03	6.80	7.02	7.07	7.41	0.96	0.4454

Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificada) con $P < 0,05$.

(*) Datos de Setiembre transformados a logaritmo natural para lograr el ajuste a distribución normal.

En la Figura 12 se observan los resultados medios de ETo según distintas probabilidades de ocurrencia (25, 50, 75 y 90%).

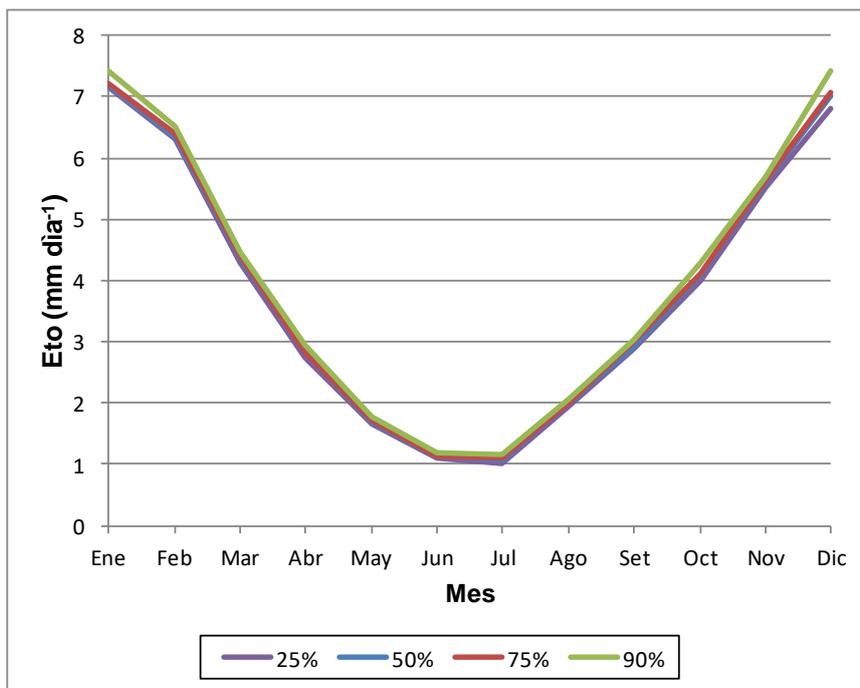


Figura 12: Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) según probabilidad de ocurrencia en la estación meteorológica Cutral Co durante el período entre 1959 hasta 1970. Los valores son medias, n=12

14. Estación Neuquén Aeropuerto

La Tabla 23 presenta los valores calculados de ETo en la estación Neuquén Aeropuerto para los 21 años analizados.

Tabla 23: Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) en el área de influencia de la estación meteorológica Neuquén Aeropuerto (1996-2016, SMN)

AÑO/MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1996	7.3	6.2	4.9	2.5	1.8	0.9	1.0	1.8	3.6	4.7	6.6	6.4
1997	7.3	6.5	3.9	2.9	1.4	1.1	1.1	1.9	3.2	3.8	5.6	6.8
1998	7.2	5.2	4.4	2.0	1.2	0.9	1.4	2.3	3.1	5.6	6.3	7.4
1999	7.1	6.6	3.8	1.9	1.2	0.9	1.0	1.9	2.8	4.5	5.3	7.0
2000	7.2	5.7	4.1	2.6	1.2	0.9	1.2	1.6	2.3	4.1	6.0	7.6
2001	7.7	6.8	4.5	2.6	1.2	1.2	1.1	1.8	2.6	3.8	5.9	7.0
2002	7.1	6.0	3.9	2.9	1.4	1.2	1.1	1.9	3.0	4.8	6.5	6.6
2003	8.0	7.0	4.6	2.3	1.7	1.4	1.6	2.4	3.2	5.7	6.7	7.3
2004	7.7	5.8	4.3	2.6	1.2	1.4	1.5	1.6	3.6	4.5	5.3	7.0
2005	7.9	5.8	4.4	2.9	2.0	1.0	1.1	1.8	2.9	4.4	6.6	6.5
2006	7.4	6.1	4.6	2.6	1.4	0.9	1.3	2.1	3.1	4.3	6.5	7.1
2007	6.9	6.0	3.8	2.8	1.5	1.4	1.3	1.5	2.6	4.9	6.6	7.6
2008	6.8	6.1	4.8	2.7	1.4	1.0	1.1	1.9	3.0	5.0	6.4	6.6
2009	7.6	6.8	5.0	3.2	1.7	1.1	1.4	1.9	2.7	4.9	5.6	6.6

2010	7.9	6.1	4.5	3.0	1.5	1.1	1.2	2.1	2.9	4.8	6.2	7.6
2011	7.1	6.3	4.2	3.0	1.6	1.3	1.2	1.9	3.5	4.4	6.5	7.2
2012	7.1	6.0	4.3	2.6	1.6	1.6	1.6	1.8	3.3	4.0	5.8	6.9
2013	6.9	6.0	3.8	2.3	1.5	1.5	1.2	2.2	2.7	4.5	6.0	7.7
2014	7.5	5.9	4.5	2.1	1.1	0.9	1.0	1.8	2.7	3.9	5.5	6.2
2015	7.2	5.8	4.3	2.3	1.3	1.3	1.1	1.7	2.6	3.5	5.8	6.4
2016	6.0	5.5	3.8	2.0	0.9	0.7	0.8	1.7	2.6	3.4	6.0	6.8

La Tabla 24 presenta las medidas de resumen estadístico del análisis de ETo durante 21 años. De acuerdo a la prueba de Shapiro-Wilks modificada, los datos tienen una distribución normal.

Tabla 24: Medidas de resumen estadístico (tamaño de muestra (n), media (x), desviación estándar (D.E.), varianza n-1 (Var), error estándar (E.E.), valor mínimo (Mín), valor máximo (Máx), mediana (Med), percentiles (P, %), coeficiente de correlación lineal (r) y probabilidad (P)) de los valores de ETo mensuales en la estación Neuquén Aeropuerto (1996-2016, SMN)

	n	x	D.E.	Var	E.E.	Mín	Máx	Med	P25	P50	P75	P90	r	P
E	21	7	0	0	0	6	8	7	7	7	8	7.9	0.96	0.5154
F	21	6	0	0	0	5	7	6	6	6	6	6.8	0.98	0.7364
M	21	4	0	0	0	4	5	4	4	4	5	4.8	0.98	0.1318
A	21	3	0	0	0	2	3	3	2	3	3	3.0	0.99	0.4053
M	21	1	0	0	0	1	2	1	1	1	2	1.7	0.99	0.9743
J	21	1	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1.4	0.98	0.2717
J	21	1	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1.5	0.99	0.8753
A	21	2	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2.2	0.98	0.3751
S	21	3	0	0	0	2	4	3	3	3	3	3.5	0.99	0.4478
O	21	4	1	0	0	3	6	4	4	4	5	5.0	0.99	0.5898
N	21	6	0	0	0	5	7	6	6	6	6	6.6	0.98	0.1406
D	21	7	0	0	0	6	8	7	7	7	7	7.6	0.99	0.3937

Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificada) con $P < 0,05$.

Con los datos de la tabla anterior, se graficó el análisis de probabilidad de ocurrencia para los 21 años de registro en la próxima figura.

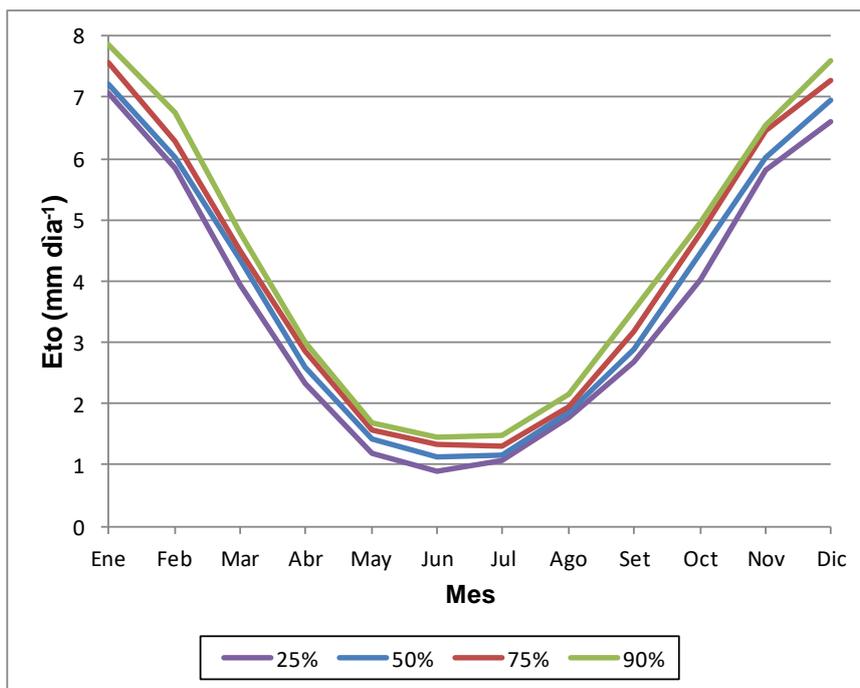


Figura 13: Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) según probabilidad de ocurrencia en la estación meteorológica Neuquén Aeropuerto durante el período entre 1996 hasta 2016. Los valores son medias, n=21

15. Comparación de ETo entre las estaciones Cutral Co (1959-1970) y Neuquén Aeropuerto (1996-2016)

En la Tabla 25 se observa que ambas estaciones poseen valores similares de ETo con probabilidades de ocurrencia de 50 y 75%. También se detalla los valores ETo promedio de ambas estaciones.

Tabla 25: Valores de ETo (mm/día) para diferentes probabilidades de ocurrencia en las estaciones meteorológicas Cutral Co (1959-70, SMN) y Neuquén Aeropuerto (1996-2016, SMN)

Mes/Probabilidad	Estación Cutral Co		Estación Neuquén Aeropuerto		Promedio entre ambas estaciones	
	50%	75%	50%	75%	50%	75%
Ene	7.19	7.22	7.22	7.58	7.2	7.4
Feb	6.35	6.4	6.03	6.29	6.2	6.3
Mar	4.39	4.42	4.34	4.5	4.4	4.5
Abr	2.82	2.83	2.59	2.85	2.7	2.8
May	1.69	1.71	1.41	1.57	1.6	1.6
Jun	1.12	1.14	1.12	1.34	1.1	1.2
Jul	1.06	1.1	1.16	1.31	1.1	1.2

Ago	2	2.02	1.86	1.94	1.9	2
Set	2.91	2.99	2.89	3.18	2.9	3.1
Oct	4.1	4.13	4.47	4.79	4.3	4.5
Nov	5.6	5.64	6.03	6.47	5.8	6.1
Dic	7.02	7.07	6.96	7.29	7	7.2

En las figuras siguientes se observan la similitud de valores de ETo obtenidos del análisis de probabilidad de ocurrencia. Existen leves diferencias de ETo entre ambas estaciones en los meses febrero, mayo, octubre y noviembre (Figura 14) y en enero, junio, julio, octubre y noviembre (Figura 15).

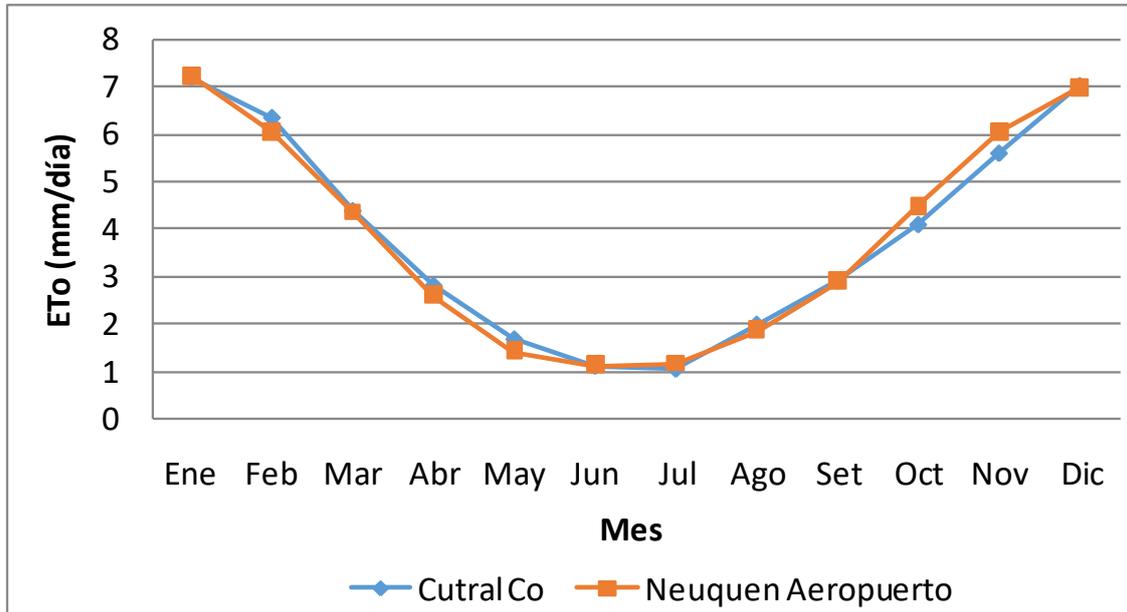


Figura 14: Valores de ETo promedios entre Cutral Co (1959-70) y Neuquén Aeropuerto (1996-2016) con una probabilidad de ocurrencia del 50 %

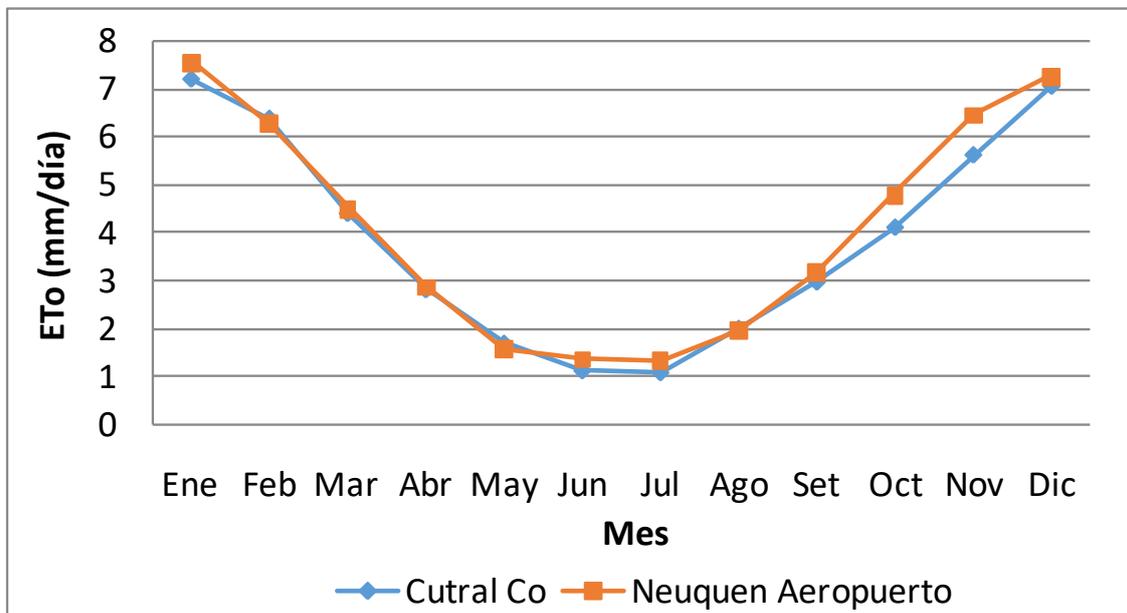


Figura 15: Valores de ETo promedios entre Cutral Co (1959-70) y Neuquén Aeropuerto (1996-2016) con una probabilidad de ocurrencia del 75 %

K. Determinación de la precipitación efectiva

16. Estación Cutral Co

La Tabla 26 presenta los valores de precipitación media mensual en los períodos 1961/70 y 1958/68. Se observa que la precipitación mensual en ambas series es prácticamente similar y el valor acumulado anual es menor a 200 mm. La precipitación efectiva acumulada también resulta ser baja y posee valores entre 10.8 y 13 mm/año (período 61-70 y 59-68 respectivamente).

Tabla 26: Precipitación media mensual en la estación Cutral Co de diferentes períodos (1961/70 y 1958/68, SMN)

Mes	Periodo			
	1961-70	1959-68	1961-70	1959-68
	Precipitación (mm)		Precipitación efectiva (mm)	
Ene	17	14	0.2	0
Feb	8	8	0	0
Mar	16	17	0	0.2
Abr	15	17	0	0.2
May	12	15	0	0
Jun	15	18	0	0.8
Jul	12	14	0	0
Ago	6	7	0	0
Set	20	21	2	2.6
Oct	31	32	8.6	9.2
Nov	14	16	0	0
Dic	13	13	0	0
Total	179	192	10.8	13

En la Figura 16 se grafica los datos de precipitación media mensual y efectiva para ambos periodos.

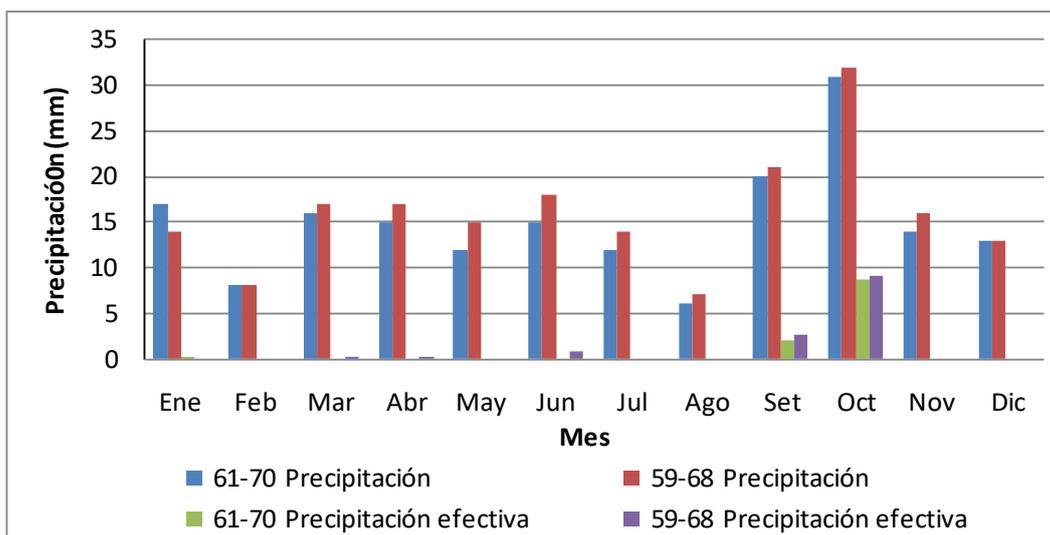


Figura 16: Precipitación media mensual y precipitación efectiva de diferentes períodos (1961/70 y 1958/68), Cutral Co (SMN).

17. Estación Neuquén Aeropuerto

La Tabla 27 contiene precipitaciones medias mensuales de diferentes períodos, 1961/70 y 1996/2016. Se observa que la precipitación acumulada en ambas series es bastante baja, entre 179 y 212 mm/año (período 61-70 y 96-16 respectivamente). La precipitación efectiva estimada a partir de CROPWAT (Smith, 1998) por medio del método de la FAO, también resulta ser baja, del orden de 11 y 26 mm/año para el período de 61-70 y 96-16 respectivamente.

Tabla 27: Precipitación media mensual y efectiva de la estación Neuquén Aeropuerto en diferentes períodos (1961/1970 y 1996/2016, SMN)

Mes	Periodo			
	1961-70	1996-16	1961-70	1996-16
	Precipitación (mm)		Precipitación efectiva (mm)	
Ene	17	12.8	0.2	0
Feb	8	14.5	0	0
Mar	16	13.1	0	0
Abr	15	27.5	0	6.5
May	12	27.5	0	6.5
Jun	15	15.5	0	0
Jul	12	13.9	0	0
Ago	6	10.6	0	0
Set	20	17.6	2	0.6
Oct	31	37.2	8.6	12.3
Nov	14	12.6	0	0
Dic	13	9	0	0
Total	179	211.8	10.8	25.9

La Figura 17 ilustra el cuadro anterior.

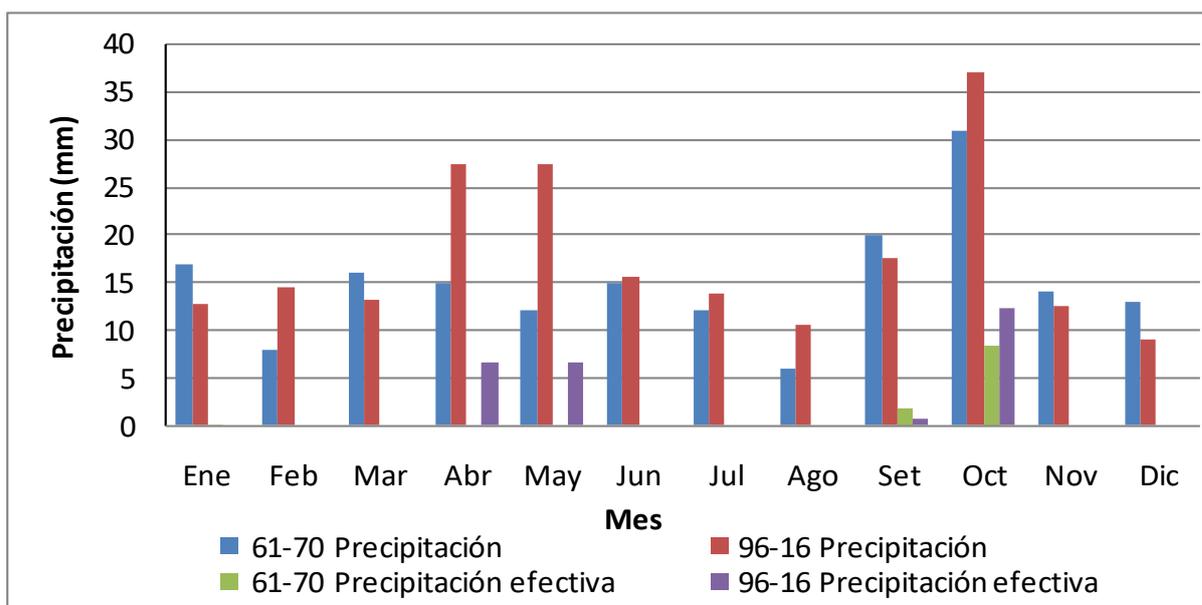


Figura 17: Precipitación media mensual y precipitación efectiva en los periodos 1961/70 y 1996/2016 de la estación Neuquén Aeropuerto (SMN)

18. Comparación de precipitaciones entre las estaciones Cutral Co y Neuquén Aeropuerto

La Tabla 28 contiene las precipitaciones promedios entre Cutral Co y Neuquén Aeropuerto que se utilizó para el cálculo de las necesidades de riego. Se incluye en la última columna la precipitación efectiva obtenida con Cropwat (Smith, 1998) a partir de la ecuación de FAO.

Tabla 28: Precipitación promedio mensual entre Cutral Co y Neuquén Aeropuerto y precipitación efectiva

Mes	Precipitación promedio mensual (mm) entre Cutral Co (1959-68) y Neuquén Aeropuerto (1996-16)	Precipitación efectiva (mm) entre Cutral Co (1959-68) y Neuquén Aeropuerto (1996-16)
Ene	13.4	0
Feb	11.3	0
Mar	15.1	0.1
Abr	22.3	3.4
May	21.3	3.3
Jun	16.8	0.4
Jul	14	0
Ago	8.8	0
Set	19.3	1.6
Oct	34.6	10.8
Nov	14.3	0
Dic	11	0
Total	201.9	19.5

L. Cultivos y parámetros necesarios para el cálculo de las necesidades de riego

En la Tabla 29 se muestran los cultivos a implantar en el proyecto Mari Menuco y el periodo de crecimiento y desarrollo durante todo el año.

Tabla 29: Listado de cultivos y fechas de siembra y cosecha. Periodos críticos en relación a necesidades de riego

Cultivo	Siembra/brotación	Cosecha/caída de hojas
Pasturas, cereales y oleaginosas		
Alfalfa para heno	Febrero-Abril	Pastoreo/cortes todo el ciclo
Polifíticas base alfalfa	Marzo- abril	Pastoreo/cortes todo el ciclo
Polifíticas de invierno	Marzo- abril	Pastoreo/cortes todo el ciclo
Sorgo (silo)	Diciembre	Abril - Mayo
Verdeos de invierno (silo)	Abril	Octubre/ cortes todo el ciclo
Extensivos		
Maíz grano	Noviembre	Marzo - Abril
Frutales		
Almendro	Agosto-Setiembre	Marzo-Abril
Nogal	Octubre	Abril
Vid	Setiembre/Octubre	Abril
Hortícolas		
Cebolla	Agosto / Setiembre	Marzo

A fin de calcular el consumo de agua de una hectárea en cada uno de los cultivos, se definió para cada etapa o fase de desarrollo del cultivo los siguientes parámetros (Tabla 30):

- la duración de los cuatro estadios (etapas/fases): inicial, desarrollo, media y final,
- el valor del coeficiente de cultivo (Kc) (para el estadio de “desarrollo” el programa interpola el valor de Kc linealmente en función de los días de la etapa analizada),
- la profundidad de raíces (para el estadio de “desarrollo” el programa interpola el valor de profundidad de raíces linealmente en función de los días de la etapa analizada),
- la fracción de agotamiento (P) (para el estadio de “desarrollo” el programa interpola el valor de P linealmente en función de los días de la etapa analizada),
- y el coeficiente de respuesta sobre rendimiento (Ky).

Tabla 30: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego en maíz (grano)

Nombre del cultivo	Maíz grano	Siembra	01/11	Cosecha	10/03
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total

Coeficiente de cultivo (kc)	0,30		1.20	0.35	
Duración (días)	23	37	42	28	130
Profundidad de raíces (m)	0.30	''''	1.00		
Nivel de Agotamiento (p)	0.55	''''	0.55	0.80	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.40	0.40	1.30	0.50	1.25
Altura del cultivo (m)			2.00		

En el Anexo pueden encontrarse el resto de los cultivos con sus respectivos parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego.

M. Evapotranspiración de los cultivos

A partir de los valores de ETo mensual de cada estación meteorológica para una probabilidad del 75%, y los coeficientes Kc para cada etapa de desarrollo de los cultivos, se calculó la evapotranspiración del los cultivos (ETc) media diaria y mensual (Tabla 31, Tabla 32, Tabla 33, Tabla 34).

Tabla 31: Evapotranspiración del cultivo (ETc) media diaria y mensual (total) para una probabilidad de ocurrencia de ETo del 75% en alfalfa (heno), pasturas polifíticas base alfalfa y pasturas polifíticas de invierno en el proyecto de Mari Menuco, Neuquén

Mes	Alfalfa heno		Pasturas Polifíticas base alfalfa		Pasturas polifíticas de invierno	
	ETc mm día ⁻¹	Etc mm mes ⁻¹	ETc mm día ⁻¹	Etc mm mes ⁻¹	ETc mm día ⁻¹	Etc mm mes ⁻¹
Ene	7.4	230	7.4	228	7.4	228
Feb	6.2	176	6.3	176	6.3	176
Mar	3.6	93	4.5	140	4.5	140
Abr	1.1	34	2.7	80	2.7	80
May	0.7	21	1.7	52	1.7	52
Jun	0.5	15	1.3	38	1.3	38
Jul	0.5	16	1.3	40	1.3	40
Ago	1.1	35	2.0	64	2.0	64
Sep	3.1	93	3.1	94	3.1	94
Oct	4.6	143	4.5	141	4.5	141
Nov	6.1	184	6.1	182	6.1	182
Dic	7.2	224	7.1	221	7.1	221

Tabla 32: Evapotranspiración del cultivo (ETc) media diaria y mensual (total) para una probabilidad de ocurrencia de ETo del 75% en verdes de invierno (silo) y maíz (grano) en el proyecto de Mari Menuco, Neuquén

Verdeos de Invierno (silo)	Maiz (grano)
----------------------------	--------------

Mes	ETc mm día ⁻¹	Etc mm mes ⁻¹	ETc mm día ⁻¹	Etc mm mes ⁻¹
Ene	-----	-----	9.5	293
Feb	-----	-----	6.7	192
Mar	-----	-----	2.6	26
Abr	1.4	43	-----	-----
May	1.3	40	-----	-----
Jun	1.5	45	-----	-----
Jul	1.6	49	-----	-----
Ago	2.5	77	-----	-----
Sep	3.4	103	-----	-----
Oct	2.4	75	-----	-----
Nov	-----	-----	2.0	59
Dic	-----	-----	6.5	203

Tabla 33: Evapotranspiración del cultivo (ETc) media diaria y mensual (total) para una probabilidad de ocurrencia de ETo del 75% en cebolla y sorgo (silo) en el proyecto de Mari Menuco, Neuquén

Mes	Cebolla		Sorgo (silo)	
	ETc mm día ⁻¹	Etc mm mes ⁻¹	ETc mm día ⁻¹	Etc mm mes ⁻¹
Sep	2.0	33	-----	-----
Oct	3.8	119	-----	-----
Nov	6.7	200	-----	-----
Dic	7.8	243	2.8	87
Ene	7.8	239	8.3	259
Feb	-----	-----	8.1	227
Mar	-----	-----	5.8	116

Tabla 34: Evapotranspiración del cultivo (ETc) media diaria y mensual (total) para una probabilidad de ocurrencia de ETo del 75% en almendro, nogal y vid en el proyecto de Mari Menuco, Neuquén

Mes	Almendro		Nogal		Vid	
	ETc mm día ⁻¹	Etc mm mes ⁻¹	ETc mm día ⁻¹	Etc mm mes ⁻¹	ETc mm día ⁻¹	Etc mm mes ⁻¹
Ene	7.4	229	8.9	275	5.8	178
Feb	6.3	177	7.5	212	4.9	138
Mar	3.9	108	4.9	151	3.5	108
Abr	-----	-----	2.6	21	1.8	26
May	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Jun	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Jul	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Ago	1.1	2	-----	-----	-----	-----
Sep	1.5	45	-----	-----	-----	-----
Oct	3.1	96	3.0	94	1.4	44
Nov	5.6	167	7.3	219	3.2	95

Dic	7.2	222	8.6	266	5.4	167
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

N. Modelos de cultivos

El modelo de cultivos (proporción de cada cultivo respecto al total) permite determinar las dotaciones de riego y observar su variabilidad de acuerdo a los diferentes modelos. A continuación se presentan los diferentes modelos de cultivos considerados en dos etapas (Tabla 35):

- 1° Etapa (desde el primer al cuarto año): corresponde a la etapa de implementación del proyecto donde se han seleccionado cultivos iniciales para el adecuado desarrollo del suelo.
- 2° Etapa (desde el quinto al vigésimo año): considera la incorporación de un mayor número de cultivos que por su naturaleza serán implantados posteriormente a la etapa anterior.

Tabla 35: Etapas de desarrollo del proyecto Mari Menuco, Neuquén

Cultivos	1° ETAPA (1 ^{ro} al 4 ^{to} año)	2 ETAPA (5 ^{to} al 20 ^{mo} año)
	Superficie (ha)	Superficie (ha)
Polifíticas de invierno	4060	3248
Polifíticas base alfalfa	3625	2900
Maíz (grano)	2900	2320
Verdeos de invierno (silo)	2900	2320
Sorgo (silo)	2465	1972
Cebolla	1160	1160
Alfalfa (heno)	290	1160
Almendro	-----	377
Nogal (nuez con cascara)	-----	580
Vid (venta de uva)	-----	783

Los cultivos de maíz grano (estivales) y verdes de invierno (invernales) rotarán entre sí en ambas de etapas del proyecto. Dichos cultivos ocuparán la misma superficie en las dos etapas, siendo de 2900 ha (1° al 4° año) y 2320 ha (5° al 20° año).

A continuación, se detalla la argumentación para justificar las modificaciones realizadas en la ETc de ciertos cultivos:

1. Alfalfa para heno

En la zona considerada la alfalfa para heno más utilizada corresponden al grupo 6 a 8, cuya latencia invernal es moderada. En ese período de latencia invernal, la demanda para riego puede considerarse prácticamente nula por lo que se ha considerado un Kc de 0 entre los meses de mayo a julio, incluyendo la demanda de riego en los inicios y final de la latencia (en los meses de abril y agosto) para garantizar que las coronas no sufran de estrés hídrico durante este período.

2. Polifíticas a base de alfalfa

Estas pasturas suponen complementar la producción de forraje estival por parte de las alfalfas con consociaciones con otras pasturas invernales tanto gramíneas como tréboles u otras. Durante el período de latencia de las alfalfas (mayo a julio) se ha considerado una disminución en los Kc debido a que en ese período la demanda por parte de la proporción de pasturas invernales es menor. Por lo tanto, se ha considerado que el cultivo evapotranspira un 10% de la ETc normal para este período.

3. Polifíticas de invierno

Estas pasturas representadas por géneros como Festuca, Lolium (raigrás), Dactylis (pasto ovillo) entre otras, presentan un ciclo invernal, con un período de latencia estival en el cual no demandan agua de riego. Este período incluye desde noviembre, cuando después de los últimos pastoreos entra en latencia y queda prácticamente sin área foliar activa hasta que rebrotan los macollos después de febrero. Durante este ciclo de reposo estival (noviembre, diciembre y enero) la demanda hídrica es prácticamente nula, por lo que se consideró un 10% de ETc mensual para este periodo.

4. Cebolla

El ciclo de cebollas de Día Largo que se adaptan a la zona, para su establecimiento por siembra directa (que es el que se ha modelado) va desde el establecimiento en el mes de agosto, en el que se inicia el crecimiento vegetativo hasta su inducción por DL hasta el mes de noviembre e inicios de diciembre, donde la demanda de riego se incrementa en función de su desarrollo vegetativo. Luego de inducida, la demanda se mantiene estable durante el proceso de llenado del bulbo hasta que disminuye con la senescencia del cultivo, antes de cosecha, que ocurre entre los meses de enero e inicios de febrero. Por lo tanto, las necesidades de riego en los meses próximos a cosecha (febrero y marzo) se consideraron nulas.

19. 1° Etapa

En los primeros cuatro años del proyecto, la superficie cultivada en otoño-invierno será de 10875 ha y en primavera-verano de 14500 ha (Tabla 36). La mayor superficie en primavera-verano se debe a que en los meses de setiembre y diciembre se implantarán 1160 ha de cebolla y 2465 ha de sorgo (silo) respectivamente.

Tabla 36: Superficie (en ha y en % respecto a la superficie cultivada anual) durante otoño-invierno y primavera-verano en la 1° etapa del proyecto Mari Menuco, Neuquén

Cultivos	Otoño-Invierno		Primavera-Verano	
	Ha	%	ha	%
Polifíticas de invierno	4060	28%	4060	28%
Polifíticas base alfalfa	3625	25%	3625	25%
Maiz (grano) *	-----	-----	2900	20%
Verdeos de invierno (silo) *	2900	20%	-----	-----
Sorgo (silo)	-----	-----	2465	17%
Cebolla	-----	-----	1160	8%
Alfalfa (heno)	290	2%	290	2%
Total	10875	75%	14500	100%
Superficie cultivada anual (ha)	14500			
Superficie total proyecto (ha)	15000			

*Verdeos de invierno (silo) en rotación con maíz grano

Los valores de superficie cultivada en porcentaje de la tabla anterior son graficados en la Figura 18.

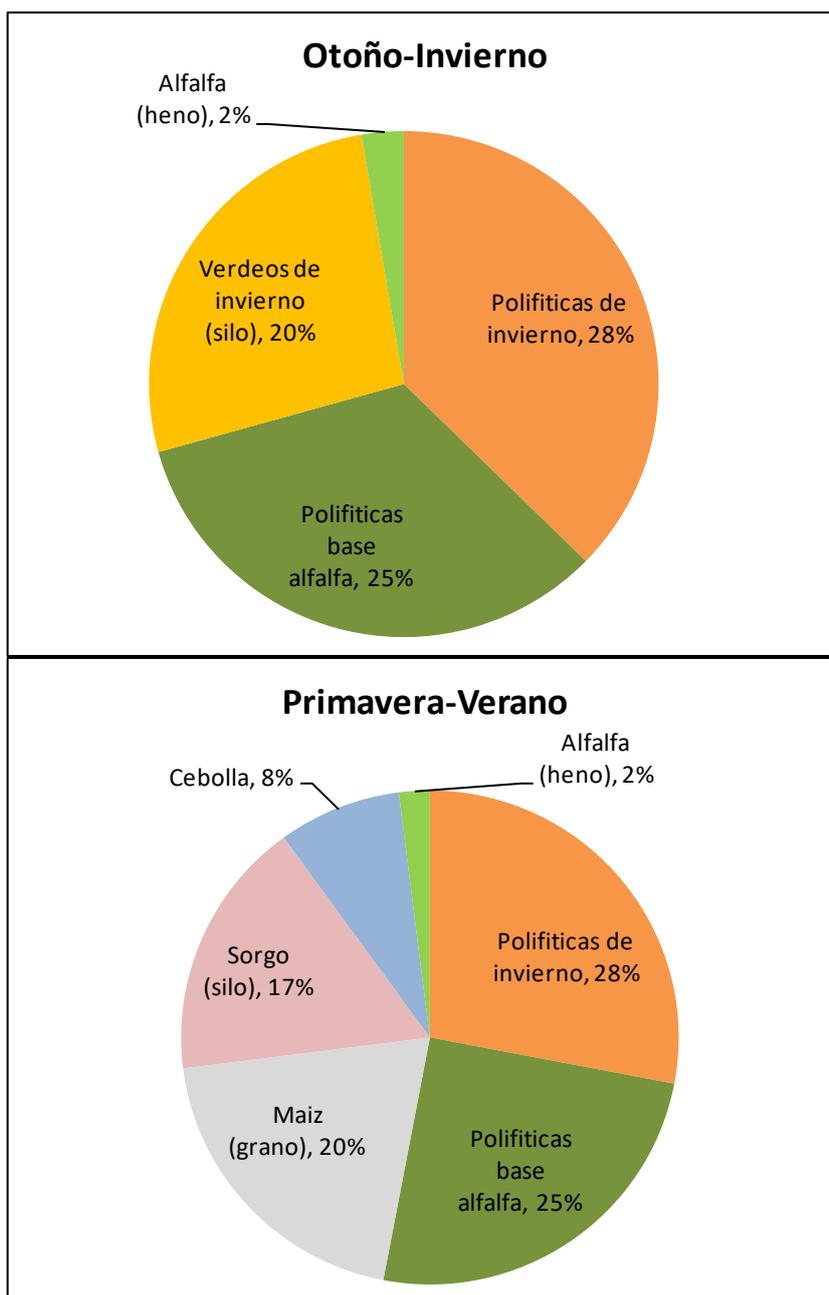


Figura 18: Superficie por cultivo (en porcentaje respecto a la superficie cultivada anual) durante los meses de otoño – invierno (arriba) y de primavera – verano (abajo) en la 1° etapa del proyecto Mari Menuco, Neuquén

20. 2° Etapa

A partir del 5° año, el escenario productivo cambia debido a la incorporación de cultivos leñosos perennes como el almendro, nogal, vid (Tabla 37).

Tabla 37: Superficie (en ha y en % respecto a la superficie cultivada anual) durante otoño-invierno y primavera-verano en la 2° etapa del proyecto Mari Menuco, Neuquén

Otoño-Invierno	Primavera-Verano
----------------	------------------

Cultivos	Superficie			
	ha	%	ha	%
Polifíticas de invierno	3248	22%	3248	22%
Polifíticas base alfalfa	2900	20%	2900	20%
Maiz (grano) *	-----	-----	2320	16%
Verdeos de invierno (silo) *	2320	16%	-----	-----
Sorgo (silo)	-----	-----	1972	14%
Alfalfa (heno)	1160	8%	1160	8%
Cebolla	-----	-----	1160	8%
Vid (venta de uva)	783	5%	783	5%
Nogal (nuez con cascara)	580	4%	580	4%
Almendro	377	3%	377	3%
Total	11368	78%	14500	100%
Superficie cultivada anual (ha)	14500			
Superficie total proyecto (ha)	15000			

*Verdeos de invierno (silo) en rotación con maíz grano

Los valores de superficie cultivada en porcentaje de la tabla anterior son graficados en la Figura 19.

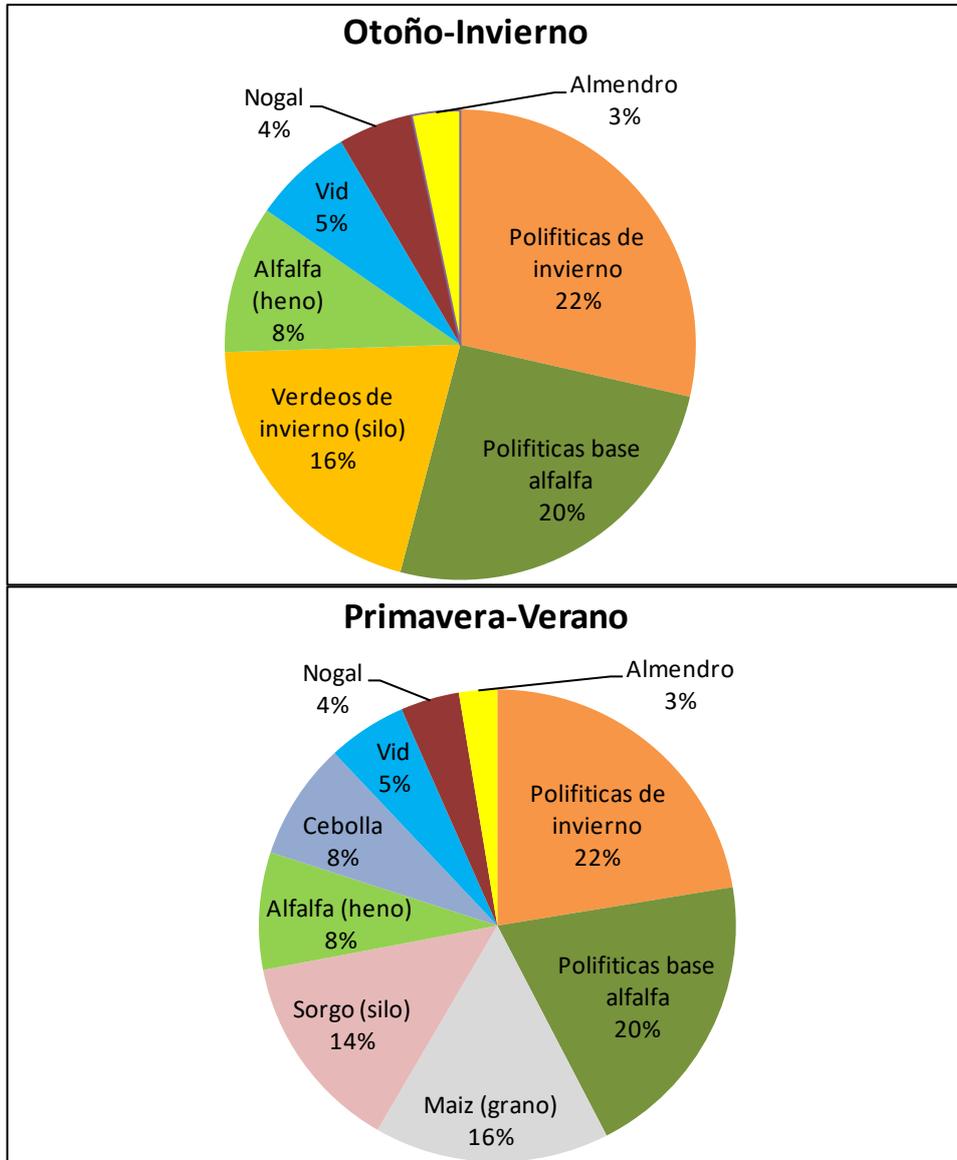


Figura 19: Superficie por cultivo (en porcentaje respecto a la superficie cultivada anual) durante los meses de otoño – invierno (arriba) y de primavera – verano (abajo) en la 2° etapa del proyecto Mari Menuco, Neuquén

O. Necesidades de riego de los cultivos

Para el cálculo de las necesidades de riego de los cultivos con el modelo CROPWAT en las dos etapas de desarrollo del proyecto se utilizaron los valores de ETo mensual de cada estación meteorológica para una probabilidad del 75% y los valores promedios de precipitación mensual entre las estaciones Cutral Co y Neuquén Aeropuerto. A continuación, se muestran las necesidades netas de cada cultivo y los requerimientos netos del sistema en ambos escenarios productivos (Tabla 38 y Tabla 39).

Tabla 38: Necesidades netas por cultivo para un 75% de probabilidad de ocurrencia de ETo, requerimientos netos del sistema y área irrigada en la 1° etapa del proyecto Mari Menuco, Neuquén

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Necesidades netas (mm/mes)													
1. Maiz (grano)	293	192	26	0	0	0	0	0	0	0	59	203	772
2. Polifíticas base alfalfa	226	173	129	70	4	3	3	54	85	128	180	219	1275
3. Alfalfa (heno)	230	176	84	31	0	0	0	35	91	132	184	224	1187
4. Polifíticas de invierno	23	176	140	77	50	37	40	64	93	131	18	22	870
5. Sorgo (silo)	259	227	116	0	0	0	0	0	0	0	0	87	689
6. Verdeos de invierno (silo)	0	0	0	40	37	44	49	77	101	64	0	0	411
7. Cebolla	240	0	0	0	0	0	0	0	31	109	200	243	823
Requerimientos Netos del Sistema													
en mm/día	6	6	3	2	1	1	1	2	2	3	3	5	
en mm/mes	189	173	98	47	22	20	22	47	72	93	82	140	
en L/s/ha	0.71	0.72	0.37	0.18	0.08	0.08	0.08	0.18	0.28	0.35	0.32	0.52	
Área Irrigada (% del área total)	100	92	92	75	75	75	75	75	83	83	83	100	

En la 2° etapa del proyecto, los requerimientos netos del sistema varían respecto a los primeros 6 años debido a la incorporación de cultivos tales como almendro, nogal y vid (Tabla 39).

Tabla 39: Necesidades netas por cultivo para un 75% de probabilidad de ocurrencia de ETo, requerimientos netos del sistema y área irrigada en la 2° etapa del proyecto Mari Menuco, Neuquén

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Necesidades netas (mm/mes)													
1. Maiz (grano)	293	192	26	0	0	0	0	0	0	0	59	203	772

2. Polifíticas base alfalfa	226	173	129	70	4	3	3	54	85	128	180	219	1275
3. Alfalfa (heno)	230	176	84	31	0	0	0	35	91	132	184	224	1187
4. Polifíticas de invierno	23	176	140	77	50	37	40	64	93	131	18	22	870
5. Sorgo (silo)	259	227	116	0	0	0	0	0	0	0	0	87	689
6. Verdeos de invierno (silo)	0	0	0	40	37	44	49	77	101	64	0	0	411
7. Cebolla	240	0	0	0	0	0	0	0	31	109	200	243	823
8. Almendro	229	177	108	0	0	0	0	2	43	85	167	222	1032
9. Nogal	275	212	151	20	0	0	0	0	0	83	219	266	1226
10. Vid	179	138	107	24	0	0	0	0	0	34	95	167	743
Requerimientos Netos del Sistema													
en mm/día	6	6	3	1	1	1	1	1	2	3	3	5	
en mm/mes	198	170	98	42	18	16	18	40	65	92	99	156	
en L/s/ha	0.74	0.70	0.37	0.16	0.07	0.06	0.07	0.15	0.25	0.34	0.38	0.58	
Área Irrigada (% del área total)	100	92	92	75	66	66	66	69	77	86	86	100	

Esta información resulta de gran utilidad para planificar y programar los riegos requeridos según los cultivos. Por ejemplo si el cultivo ya está implantado (alfalfa para heno) y se necesita estimar un intervalo de riego, una vez conocida la lámina de agua total almacenable para la profundidad efectiva de raíces de ese suelo y para ese cultivo (por ejemplo, 140mm) si la fracción fácilmente disponible para esa etapa del cultivo fuese 60% se puede conocer la lámina fácilmente disponible para el cultivo ($140 \text{ mm} * 0,6 = 84 \text{ mm}$). Por lo tanto, para el mes de noviembre, la alfalfa tiene una ETc diaria de 6,1 mm/día y por lo tanto el intervalo de riego podría ser de ($84\text{mm} / 6,1 \text{ mm/día}$) 13,7 días o sea igual a 14 días. También para la planificación diaria del tiempo de riego, asumiendo que se riega por aspersión la lámina bruta a aplicar para el mes de noviembre con una eficiencia de aplicación del 75 % será de 8,1 mm /día ($6,1 \text{ mm/día} / 0,75$). Las tablas anteriores también indica el requerimiento acumulado (lámina neta acumulada de riego) de cada cultivo, así la alfalfa para heno requiere 1187 mm/año.

P. Eficiencias de los sistemas de riego

Una vez conocidas las necesidades netas del cultivo se debe pensar en cómo satisfacerlas. Como se sabe, en las zonas áridas y semiáridas como las del oeste de Argentina el riego integral es el único medio para asegurar la productividad de los cultivos y en las zonas sub-húmedas y húmedas -como las definidas por el área del presente estudio- el riego puede ser complementario o suplementario y su objeto es completar -para el cultivo- la natural provisión de agua de las precipitaciones.

Según Bos y Nugteren (1982) el tránsito del agua desde la fuente hasta la unidad de riego (parcela de cultivo) puede ser separado en tres operaciones: (1) conducción (2) distribución y (3) aplicación. La conducción está referida a la circulación y entrega del caudal desde la fuente a la red de canales/tuberías primarias, secundarios y/o terciarios por medio de compuertas u otras estructuras de derivación. La operación de distribución está referida al transporte del agua dentro de la red terciaria y/o cuaternaria y a su derivación a bocatoma de propiedad. Por último, la aplicación está referida al agua que llega al sistema radical del cultivo. La eficiencia de aprovechamiento del agua en cada una de estas operaciones y sus tres diferentes combinaciones se denomina eficiencia de conducción (conveyance efficiency), eficiencia de distribución (distribution efficiency) y eficiencia de aplicación (application efficiency).

Siguiendo a los mismos autores, en la planificación y el diseño de sistemas de riego el mayor problema consiste en decidir qué valores de eficiencia utilizar en el cálculo.

La **eficiencia de conducción (ec)** se define como el cociente entre el volumen de agua derivado/recibido en la red terciaria/cuaternaria respecto del volumen de agua extraído de la fuente de provisión del sistema. La Figura 20 grafica la eficiencia de conducción que puede esperarse de un sistema de riego en función del tamaño del área de regadío. La misma ha sido obtenida por Bos y Nugteren (1982) producto de innumerables mediciones realizadas en distintos sistemas de todo el mundo. La línea superior descendente está referida a sistemas o proyectos de riego con circulación continua de agua (cultivos del grupo II, caso del riego del arroz), mientras que la curva inferior se refiere a sistemas de riego donde el agua es entregada por rotación o turnado (cultivos del grupo I, III y IV). Se observa en esta última que las máximas eficiencias de conducción se logran en sistemas que riegan entre 30.000 a 50.000 hectáreas (alrededor del 88 %).

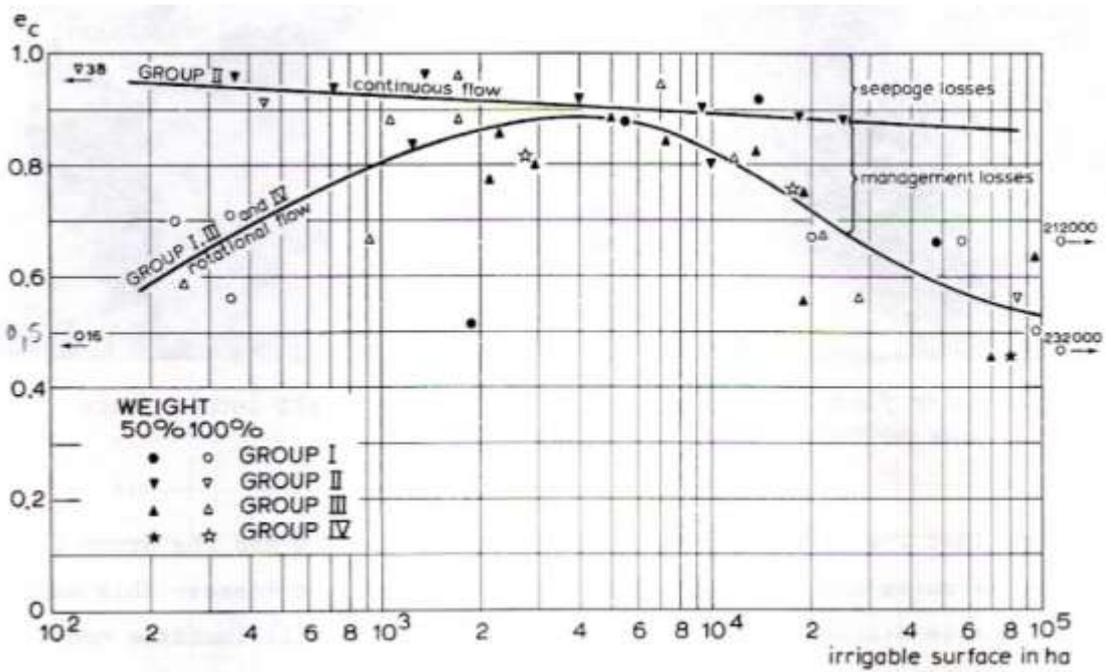


Figura 20: Valores de eficiencia de conducción (e_c) en función del tamaño del área a regar

La **eficiencia de distribución (e_d)** se ve afectada por las pérdidas de agua a lo largo de los distributarios, por la textura del suelo y por el tamaño de las propiedades a las que aquéllos tienen que servir con agua de riego. La Figura 21 pretende ilustrar -con cierta precisión- acerca de la influencia de dichos factores. Para los cultivos del grupo I, III y IV se observa que el valor máximo de e_d (80 %; $\pm 15\%$) se logra en propiedades mayores a 20 ha. Por su parte, los valores extremos (95 y 65 %) corresponden a suelos de texturas finas (arcillosos) y los valores más bajos a suelos arenosos).

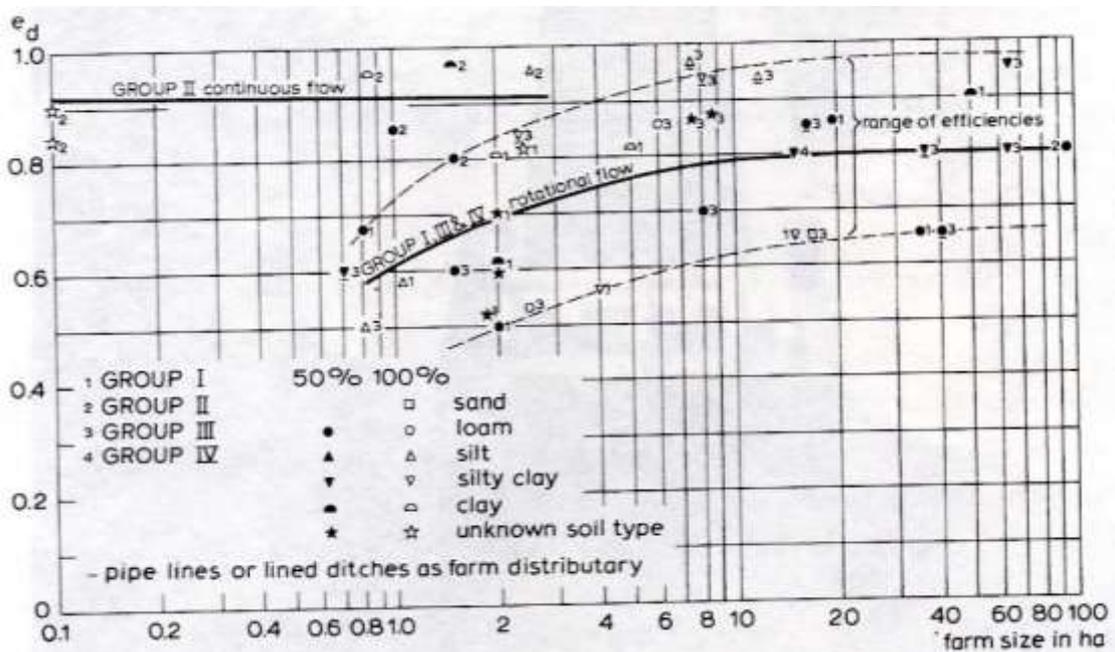


Figura 21: Eficiencia de distribución (e_d) en función del tamaño de la propiedad y del tipo de suelo

Por último, después de que el agua ha sido conducida desde la fuente a la red de riego y distribuida a través de la misma a lo largo del sistema, sólo resta el objetivo de aplicar el agua uniformemente sobre la superficie de la parcela de riego, de modo de equiparar la lámina de agua que reciba el cultivo con la lámina consumida por el mismo, desde el último riego. El método de riego, ya sea riego por superficie mediante surcos y/o melgas, o aspersión, goteo, etc. tiene una influencia directa en relación a la eficiencia de aplicación. La **eficiencia de aplicación (ea)** es el cociente entre el volumen de agua almacenado en el suelo en la zona de profundidad efectiva de raíces (que luego será evapo-transpirado por el cultivo) respecto del volumen ingresado a la parcela cultivada cuando se la riega. La Tabla 40 muestra los valores medios de eficiencia de aplicación que pueden esperarse para los distintos métodos de riego:

Tabla 40: Eficiencia de aplicación media (ea) en función del método de riego (Bos y Nugteren, 1974)

		Eficiencia aplicación versus Método de riego			
GRUPO	Eficiencia de aplicación (%)	Basin (grandes melgas niveladas a cero)	Surcos	Melgas	Aspersión
I	53	56	54	47	-
II	32	32	-	-	-
III	60	59	58	57	68
IV	66	-	-	-	66
Promedio de los Grupos I, III y IV		58	57	53	67

Los valores medios para los métodos citados en la tabla precedente pueden verse graficados en la Figura 22:

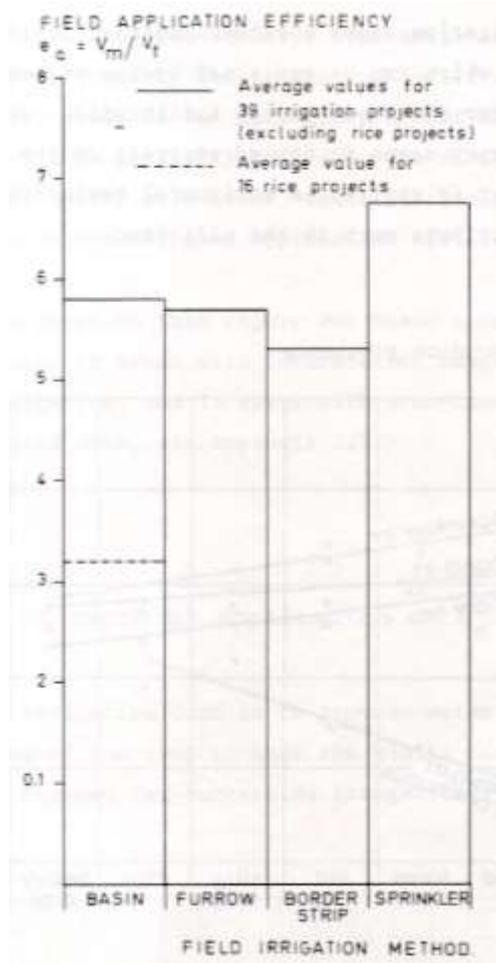


Figura 22: Eficiencia de aplicación (ea) versus métodos de riego

La falta de correlación entre el tamaño de la parcela y la eficiencia con que el agua de riego es aplicada al campo puede verse en el gráfico de la Figura 23. El tipo de suelo de la finca tampoco parece tener influencia sobre la eficiencia de aplicación.

En este punto juega un importante papel la eficiencia del método de riego con el que se va a regar el cultivo. Hoy se ha avanzado mucho en las técnicas de aplicación del agua al suelo, pasando de los tradicionales métodos de escurrimiento superficial (surcos y melgas), a la sub-irrigación, la aspersión y el riego localizado (goteo, micro-aspersión y exudación). Dentro del riego superficial el riego por caudal discontinuo o pulsos (surge flow) también ha demostrado su eficacia y bajo costo unitario en comparación con los métodos presurizados.

Los métodos de escurrimiento superficial siguen ocupando el primer lugar en cuanto a la superficie regada, aunque los otros métodos hayan experimentado un muy importante incremento porcentual, sobre todo en países industrializados donde tanto el costo de la mano de obra como el valor unitario del agua resultan significativamente altos. En países en desarrollo se lo está usando en invernaderos y en cultivos sofisticados/intensivos, de alta rentabilidad.

Para estimar con qué frecuencia regar y cuánta agua se necesita para completar la capacidad de almacenaje de un suelo determinado y satisfacer el requerimiento evapo-transpiratorio del cultivo en ese preciso momento de su ciclo vegetativo, hace falta cierta información previa. Siempre que se aplica agua a una planta ocurre algún tipo de pérdida y ésta debe ser tomada en cuenta en el cálculo de la cantidad que realmente debe reponerse en cada uno de los riegos. Uno de los objetivos del manejo adecuado del agua es minimizar esas pérdidas. El método de riego utilizado, el suelo, las condiciones de viento y las prácticas de manejo del agricultor determinan, en gran parte, la eficiencia de aplicación, término comúnmente usado para describir qué tan eficientemente riegan los agricultores.

A nivel parcelario se consideran -además- otros indicadores como la **eficiencia de almacenaje (EAL)** y la **uniformidad de distribución (UD)**. En riego por goteo y aspersión se considera además el **coeficiente de uniformidad (CU)**.

Cada método de riego difiere en cuanto a los valores de eficiencia de aplicación que permite alcanzar para una condición dada. En el riego por superficie, la infiltración del suelo y la velocidad de avance del frente del agua sobre el suelo determinan la uniformidad y ésta será mayor cuanto más rápido sea el avance del agua a lo largo de la unidad de riego. En el riego por aspersión la uniformidad depende, en gran parte, del diseño del sistema: tipo, medida y espaciamiento de los aspersores, altura de carga, presión de operación, y del viento predominante (dirección, velocidad, etc.). En el riego por goteo y en otros métodos de bajo volumen la eficiencia depende del diseño, de la operación y del mantenimiento del sistema. En general, aspersores y goteros de bajo volumen pueden ser operados con eficiencias mayores que la de los métodos de riego por superficie. A causa de su constante variación la eficiencia debe ser medida o -en su defecto- estimada por lo menos una vez al año, en cada unidad productiva.

En el caso específico del riego por aspersión la uniformidad del agua al cultivo se obtiene a través de una determinación empírica a campo y se expresa por medio del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU):

$$CU = 1 - (\Sigma [\text{abs } (x_i - x)] / (n))$$

Donde: CU = coeficiente de uniformidad; x_i = lámina recolectada en pluviómetro (mm); x = lámina media de agua recolectada (mm) y n = número de pluviómetros.

Los detalles referidos a la metodología de obtención de la uniformidad del riego están específicamente considerados en la norma ASAE S 330.1 (ASAE, 1985). Como es lógico se trata de obtener la máxima uniformidad de aplicación para minimizar las pérdidas por percolación del sistema. Dicha uniformidad dependerá de la velocidad del viento predominante, del espaciamiento de los aspersores y de las diferencias de presión a lo largo de la línea de alimentación (función de la topografía del terreno, del tipo de bomba y del criterio de diseño). El viento juega un papel decisivo en la efectividad del riego por aspersión, vientos constantes de

alta velocidad pueden limitar el uso del sistema sólo a los momentos de calma e incluso, descartar la posibilidad de su empleo.

Para hablar de la eficiencia del riego por aspersión se parte de que las necesidades de riego netas son iguales a la necesidad de riego del cultivo desde el último riego, menos la precipitación efectiva. Aquí interviene el concepto de adecuación (cuantificar qué parte de la parcela recibe como mínimo la necesidad neta de riego): aquellas partes de la parcela que reciben una lámina mayor a la requerida como necesidad neta de riego estarán adecuadamente regadas, el resto estará sub-irrigado. Si, por ejemplo, un 25% de la parcela regada recibió una lámina equivalente a la necesidad neta de riego se dice que su nivel de adecuación es del 25%.

La relación entre adecuación y uniformidad determina la fracción de percolación de un sistema de riego por aspersión. La Figura 25 muestra -para una lámina media aplicada igual a 100 mm- la distribución del agua para un CU = 80% y una adecuación del 50% (el 50% del campo estará insuficientemente regado).

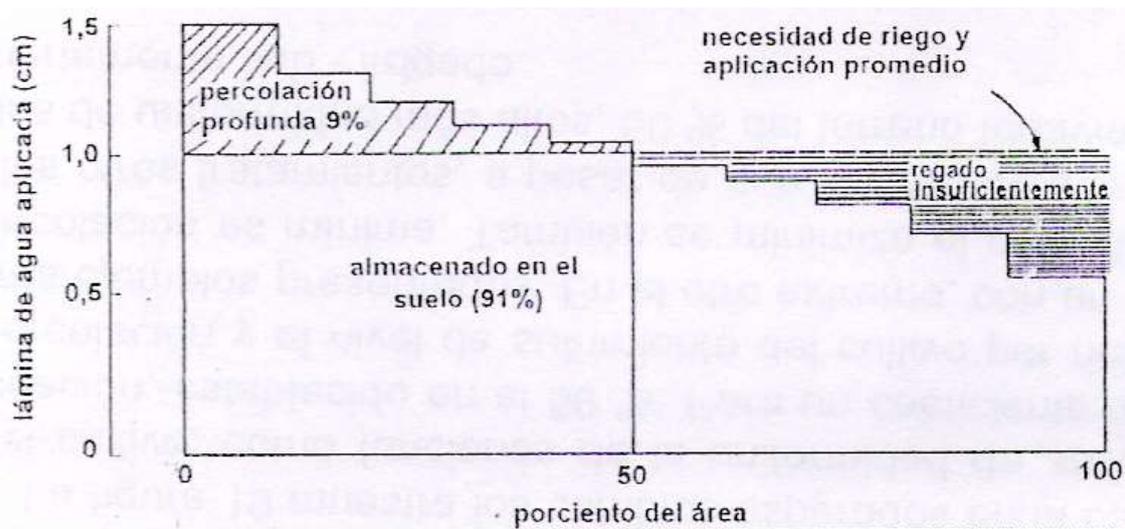


Figura 25: Distribución del agua después del riego: coeficiente de uniformidad (CU) y adecuación

Asimismo, pueden predecirse los cambios a esperar en cuanto a percolación y estrés hídrico en función de la uniformidad de aplicación para una adecuación constante del 50%. En la Figura 26 se muestran tres parcelas regadas con diferentes coeficientes de uniformidad y una lámina de 100 mm para una misma adecuación (50%): la máxima percolación y el mayor estrés corresponde al CU = 70% mientras que en el caso del CU = 90% la percolación es mínima.

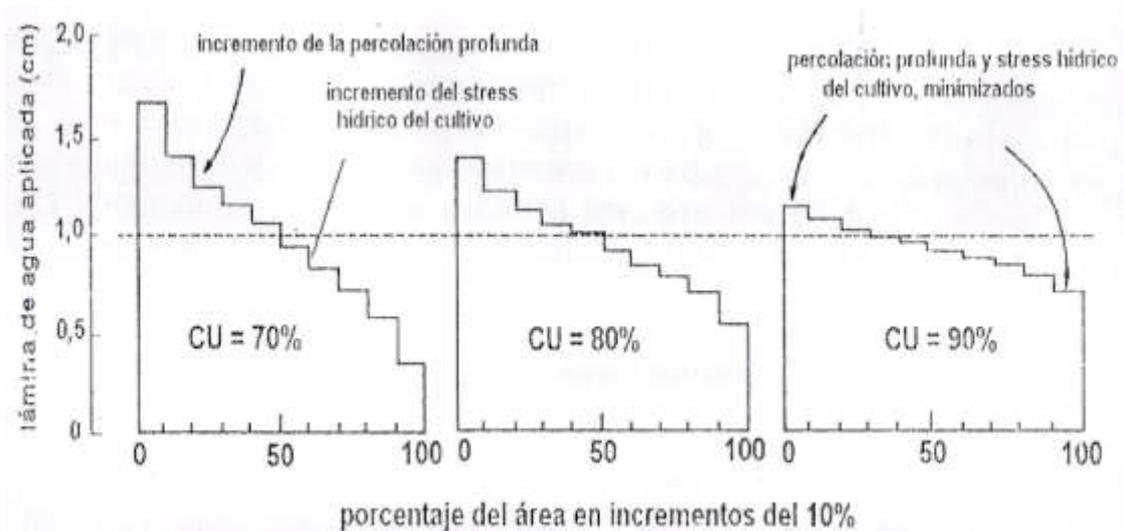


Figura 26: Distribución del agua para tres niveles de uniformidad y una misma adecuación

Por otra parte, los investigadores han desarrollado -a partir de una vasta experiencia de campo- combinaciones basadas en la interrelación de la uniformidad de aplicación, la adecuación, el valor económico de la cosecha y los costos del sistema. La siguiente tabla presenta los valores obtenidos para tres tipos de cultivos (extensivos, montes frutales y cultivos especiales):

Tabla 41: Coeficiente de uniformidad (CU) y adecuación en relación al tipo de cultivo regado

Cultivos	CU (%)	Adecuación (%)
Extensivos	80	75
Montes frutales	70	50
Especiales	85	90

Normalmente, para evaluar las “pérdidas” ocasionadas por el viento (deriva) y la evaporación existen métodos tradicionales que -en general- sobreestiman las mismas dando lugar a diseños “conservadores”. No obstante, cuando se dispone de información necesaria para precisar el valor de la deriva y la evaporación podrá esperarse del sistema una eficiencia más alta. Un método común de determinar estos parámetros es el Nomograma de Frost y Schwalen (1955). Posteriormente Trimmer (1987) digitalizó los ejes del nomograma ajustando las relaciones entre ellos por medio de ecuaciones de regresión. Una de las ventajas de este método es que está expresado en unidades del sistema internacional y puede programarse fácilmente. La ecuación final es:

$$P_{ev} = \left[1,98(D_b)^{-0,72} + 0,22(e_s - e_a)^{0,63} + 3,6 * 10^{-4} (h)^{1,16} + 0,14(v)^{0,7} \right]^{0,2}$$

Donde: P_{ev} = pérdida por evaporación y deriva del viento (%); D_b = diámetro de boquilla del aspersor (mm); h = presión de trabajo del aspersor (kPa) y v = velocidad del viento en m/s.

Por último, la Tabla 42 vincula la eficiencia potencial combinada de aplicación y distribución en función de los distintos tipos de sistemas de aspersión. Se denomina eficiencia combinada (E_c) al volumen de agua almacenado en la zona radical respecto del volumen erogado por los aspersores, y tiene en cuenta tanto la percolación como la evaporación y la deriva del viento:

$$E_c = (1 - fp) (1 - P_{ev})$$

donde:

Ec: eficiencia combinada de aplicación y distribución (en decimales)

fp: percolación (decimal)

Pev: Pérdidas por evaporación y deriva del viento (decimal)

Tabla 42: Eficiencia combinada (Ec) para diferentes métodos de riego

Sistema	CU%	Adecuación (%)	Escurrimiento (%)	Percolación (%)	Evaporación y deriva por viento (%)		Ec	
					Árido	Húmedo	Árido	Húmedo
Movimiento manual y desplazamiento lateral	82	75	0	18	15	8	70	75
Equipo fijo (viento leve)	70	75	0	30	22	15	55	60
Equipo fijo (viento fuerte)	82	75	0	18	22	15	64	70
Pivote central y movimiento lineal	90	75	0	10	18	10	74	81
Cañón regador (viento leve)	65	75	0	35	5	3	62	63
Cañón regador (viento fuerte)	82	75	0	18	5	3	78	80
Riego superficial	-	-	-	-	-	-	20	90
Riego por goteo	-	-	-	-	-	-	≥ 90	

Cuando el objetivo es identificar la calidad de los sistemas de riego sólo se utilizan para su evaluación los parámetros CU (coeficiente de uniformidad), UD (uniformidad de distribución) y Ed (eficiencia de descarga) (Tarjuelo, J. 2005).

Dado que ya se ha definido el coeficiente de uniformidad (CU) queda hacer lo propio con el parámetro **uniformidad de distribución (UD)** y la **eficiencia de descarga (Ed)**. La uniformidad de distribución se obtiene de la medición a campo de la precipitación de los aspersores y es un indicador de la uniformidad de la lámina infiltrada a lo largo de la parcela:

UD = altura media infiltrada en el 25% del área menos regada / altura media del agua infiltrada en la parcela.

La UD a nivel del sistema es: $UDs = UD \cdot \frac{1}{4} [1+3 \cdot (Pn/Pa)^{0.5}]$; donde:

Pn = presión mínima en un aspersor del bloque de riego

Pa = presión media de los aspersores del bloque

Por su parte, la eficiencia de descarga (Ed) o proporción de agua que llega al suelo se obtiene dividiendo la altura media de agua recogida por los pluviómetros (AMR) por la altura media descargada por los emisores (AMD):

$$Ed = AMR / AMD$$

La diferencia entre lo descargado y lo recogido equivalen a las “pérdidas” que ocurren durante el proceso del riego y a los errores de medición. Estas pérdidas incluyen la evaporación y el arrastre de gotas por el viento (aproximadamente 60% corresponde a evaporación y 40% a arrastre por viento), el agua que cae fuera de los pluviómetros y la evaporación que pueda existir dentro de los pluviómetros. Para Keller (1990) las pérdidas por evaporación y arrastre varían entre un 5-10%.

Actualmente está cambiando el enfoque de análisis de eficiencia o ineficiencia pasando de la noción de “pérdida de agua” al de usos “benéficos y no benéficos del agua”. Burt et al. (1997) discuten y pretenden clarificar el uso de la terminología referida al aprovechamiento del agua de riego con fines agrícolas y definen los conceptos: (1) “usos consuntivos” como el agua irrecuperable y consumida (la evaporación, la transpiración y el agua contenida en los tejidos de los cultivos) en contraposición con el concepto de (2) “usos no consuntivos” que constituyen el agua que deja el área considerada, esencialmente por escurrimiento superficial (ES) y percolación profunda (PP) (Tabla 43).

Tabla 43: Enumeración de los usos consuntivos y no consuntivos según Burt et al. (1997)

USOS CONSUNTIVOS	USOS NO CONSUNTIVOS
- Etc - ET de freatófitas - Evaporación de agua asperjada - Evaporación de los reservorios - Evaporación del suelo húmedo - Agua cosechada con el cultivo, etc.	- Remoción de sales - Percolación profunda excesiva - Escurrimiento superficial excesivo - Salpicaduras fuera de la parcela, etc. -
← (ICUC) % →	← (100 – ICUC) % →

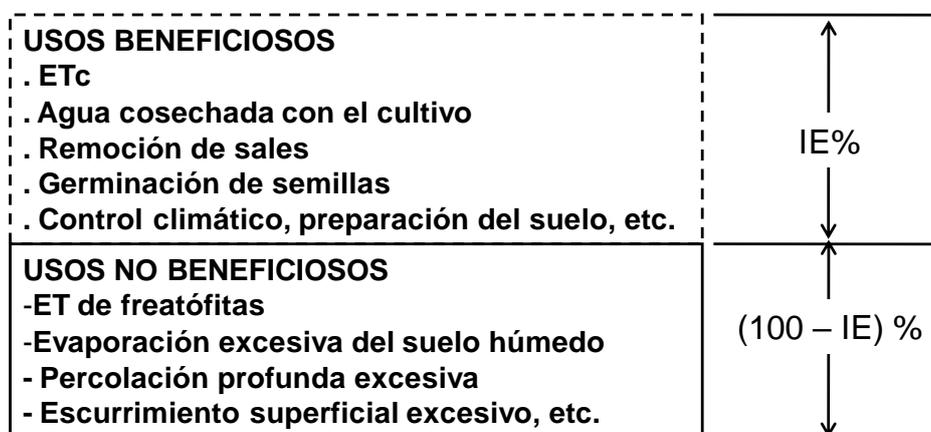
Los mencionados investigadores realizan -además- consideraciones desde el punto de vista del beneficio obtenido por el agua usada, diferenciando:

- “usos benéficos” como, por ejemplo el agua usada en la producción del cultivo (ETc), la percolación profunda para contribuir a la lixiviación de sales del perfil del suelo, el control de la temperatura de la planta o climático, la germinación de la semillas, el exceso de percolación profunda para control de heladas con suelo en capacidad de campo, el agua escurrida al pie pero usada para regar el cuartel o parcela localizada

aguas abajo -riego encadenado- almacenada o re-usada/circulada en la parcela o propiedad, etc.

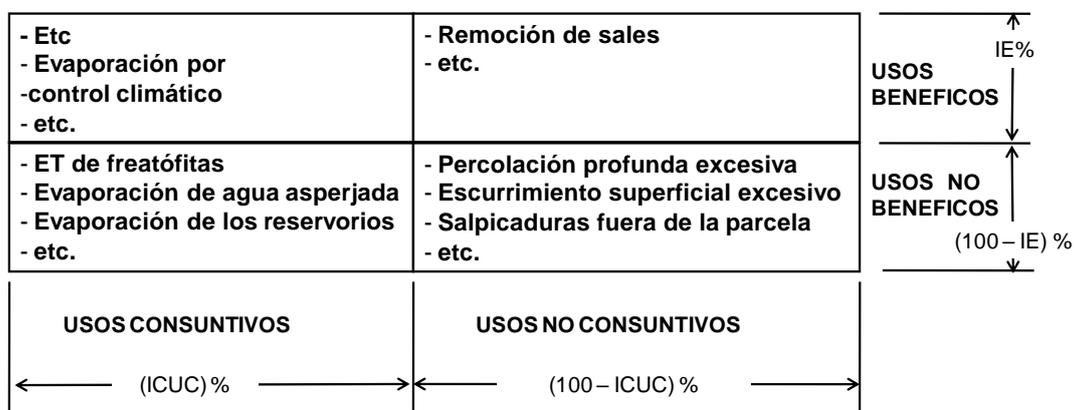
- “usos no benéficos” como el exceso de percolación profunda, la evapotranspiración de malezas o freatófitas -a menos que tengan por función el control de la erosión- el mejoramiento de la estructura del suelo (sean hábitat de insectos o de fauna benéfica) (Tabla 44)

Tabla 44: Usos beneficiosos y no beneficiosos según Burt et al. (1997)



También distinguen “usos racionales y no benéficos” como la percolación profunda por incertidumbre sobre cuándo regar o la acumulación de agua escurrida al pie que asegura áreas pantanosas que permiten la vida natural en el ecosistema, de “usos no racionales” que podrían hacer no razonables los usos agrícolas, si los factores climáticos o de suelo no fueran aptos para un determinado cultivo en un lugar dado y, sin embargo, se lo cultiva (Tabla 45).

Tabla 45: Usos consuntivo y no consuntivo diferenciados según destino benéfico y no benéfico



Los mismos autores mencionan que la calificación o desempeño del riego resulta necesaria para saber si se está realizando un uso beneficioso y racional del recurso. Para ello es necesario definir -para las áreas de regadíos- algunos indicadores de desempeño:

- “eficiencia de riego” (IE, %): está referida a una parcela regada, a la propiedad, a todo el proyecto de regadío o a la cuenca, considera un intervalo de tiempo (entre dos fechas determinadas o para el período completo de riego) y no asume usos benéficos futuros.
- “coeficiente de uso consuntivo de riego” (ICUC, %): sus límites van desde la parcela hasta la cuenca, se analiza en un intervalo de tiempo determinado (entre dos riegos) y cuantifica el agua no recuperable o que ha sido usada por la planta (evaporación, transpiración y agua que forma parte de los tejidos del cultivo).
- “sagacidad de riego” (IS, %): se mide a nivel de parcela o de cuenca, se calcula entre dos fechas determinadas e incorpora -como se verá más adelante- el concepto de uso razonable y benéfico.
- “uniformidad de distribución” (UD), relación que califica un evento de riego que se mide en la parcela regada (aplicado incluso a una unidad pequeña, por ejemplo, un surco, el área comprendida entre 4 aspersores o un lateral de riego localizado).

La eficiencia de riego (IE) cuantifica el agua de riego de uso benéfico.

$$IE = \frac{\text{vol. de agua de riego beneficiosamente usado}}{\text{vol. de agua de riego aplicada} - \Delta \text{ de agua de riego almacenada}} * 100$$

El coeficiente de uso consuntivo de riego, ICUC (Jensen 1993, citado por Burt et al, 1997), cuantifica el agua de riego de uso consuntivo del no consuntivo. Su ecuación es:

$$ICUC = \frac{\text{vol. de agua de riego usado consuntivamente}}{\text{vol. de agua de riego aplicada} - \Delta \text{ de agua de riego almacenada}} * 100$$

Sagacidad del riego (IS), cuantifica la prudencia/inteligencia en el uso del agua de riego (Salomón, 1993, citado por Burt et al, 1997). Responde a la siguiente ecuación:

$$IS = \frac{\text{vol. de agua de riego beneficiosamente y/o racionalmente usado}}{\text{vol. de agua de riego aplicada} - \Delta \text{ de agua de riego almacenada}} * 100$$

Uniformidad de distribución, UD (NRCS, 1940s). DU_{lq} : cuantifica la uniformidad del agua de riego que se distribuye en las diferentes áreas de una parcela. La ecuación que la representa es la siguiente.

$$DU_{lq} = \frac{\text{lámina media del cuarto más perjudicado}}{\text{lámina media acumulada en todos los elementos}} * 100$$

Eficiencia de aplicación, AE (ASCE, 1978), cuantifica qué tan bien el sistema satisface una necesidad percibida, por ejemplo, una lámina de riego objetivo.

$$AE = \frac{\text{lámina media objetivo de agua de riego}}{\text{lámina media de agua de riego aplicada}} * 100$$

Eficiencia de aplicación potencial, PAE_{lq} ; cuantifica la máxima eficiencia si el riego hubiese sido bien operado en tiempo y caudal, asegurando infiltrar la lámina adecuada en el cuarto más perjudicado.

$$PAE_{lq} = \frac{\text{lámina media objetivo de agua de riego}}{\text{lámina media de riego aplicada que asegure } d_{lq} \text{ sea alcanzada}} * 100$$

Se puede afirmar que:

$$PAE_{lq} \approx DU_{lq} * (100 - \% \text{ de escurrimiento pie})$$

y que:

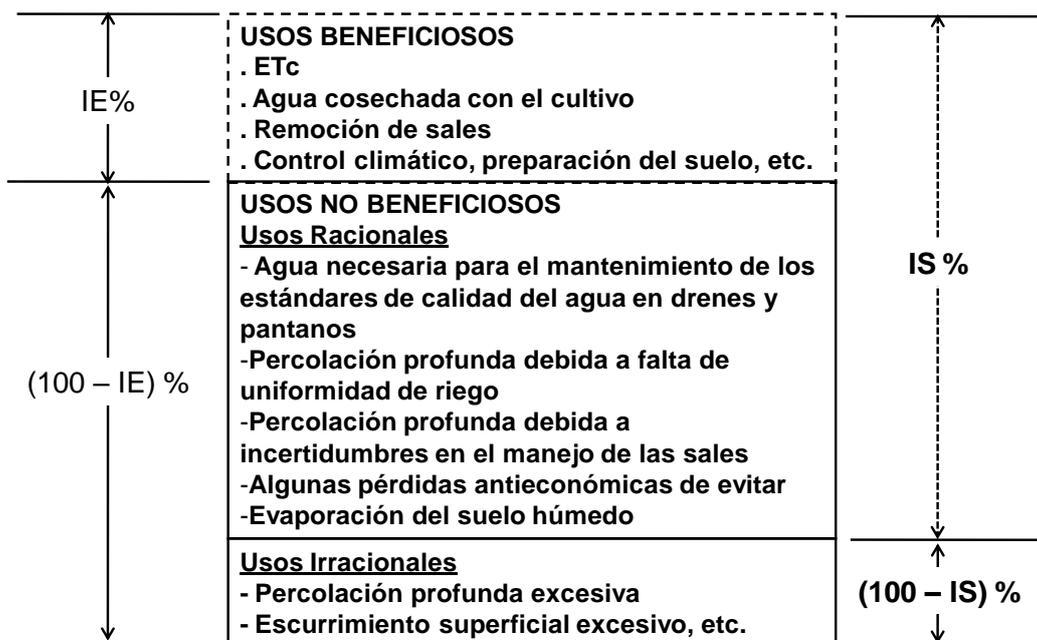
$$\text{Lámina bruta a aplicar} \approx \text{lámina objetivo a reponer} * (100 / PAE_{lq})$$

Adecuación del cuarto más perjudicado, AD_{lq} ; cuantifica el nivel de satisfacción que ha alcanzado el riego, si se ha repuesto la lámina requerida o no. Se define:

$$AD_{lq} = \frac{\text{lámina media infiltrada en el cuarto más perjudicado}}{\text{lámina requerida}} * 100 = \frac{d_{lq}}{d_{req}} * 100$$

$AD_{lq} < 1$ = subriego; $AD_{lq} = 1$; $AE = PAE_{lq}$ = riego adecuado (las pérdidas superficiales se ajustan a los valores potenciales) y $AD_{lq} > 1$ = sobre-riego

Tabla 46: Sagacidad de riego (IS) y uso prudente del agua, parámetros más adecuados que la eficiencia de riego (IE)



Morábito et al. (2012) presentan un análisis de las eficiencias mencionadas con anterioridad en las cuencas centro y norte de Mendoza (Argentina) y observan que muchas fracciones de agua tradicionalmente consideradas como pérdidas forman parte del proceso productivo y su consideración genera un incremento importante en los valores de los indicadores que hacen más racional la valoración del uso del agua por parte de la agricultura.

Valores de eficiencia pre-fijados como “target” para los futuros proyectos de riego del área de estudio

Al respecto, Grassi (1998) menciona que Keller y Mc Culloch (1962) tabularon valores de eficiencia de riego que van del 20 al 75 % en riego por superficie y del 58 al 80 % en riego por aspersión. En riego por superficie el valor 20 % corresponde a surcos/melgas con pendiente y suelos arenosos y el valor 75 % a melgas bien niveladas sobre suelos de texturas medias a profundas. En riego por aspersión el valor 58% corresponde a una alta evapotranspiración diaria, una alta velocidad de viento y una lámina de riego de 25 mm y el 80% a una evapotranspiración pequeña (5 mm o menos), una baja velocidad de viento y una lámina de riego de 125 mm. Por su parte, Bos y Nugteren (1974) presentan valores del SCS hoy USDA y de la ICID más o menos similares, tanto para riego por superficie como para aspersión. En términos generales puede considerarse como eficiencias aceptablemente buenas, las siguientes: 65 % (riego por superficie), 75 % (aspersión) y 85 % (goteo).

Respecto de la eficiencia de conducción para redes de tierra e impermeabilizadas (canales y tuberías) resulta de utilidad comentar algunos valores aportados por la bibliografía especializada. Así, Rocher (1986) menciona valores indicativos de pérdidas por infiltración del orden de los 0,10–0,20 a 0,30-0.50 m³/m²/día para canales construidos sobre suelos pesados y medios, respectivamente y de < 0,03 m³/m²/día para canales impermeabilizados. Por su parte, Kraatz (1977) presenta pérdidas por infiltración del orden de 0,9 y 0,2 m³/m²/día para canales de tierra e impermeabilizados, respectivamente (20 % en redes de tierra y 4 % en redes impermeabilizadas). Por último, Palacios Vélez y García (2011) en mediciones realizadas en el Distrito de Riego de Río Mayo presentan valores de pérdidas en conducción del 44 % (11 % por evaporación y 33 % por infiltración).

La Tabla 47 presenta los valores de eficiencia considerados factibles de alcanzar en los proyectos de riego que podrían ser implementados a futuro en el área de estudio. Para la elección de los valores de eficiencia se han considerado sistemas de conducción y distribución por medio de canales sin impermeabilizar construidos sobre suelos de texturas finas, medias y sueltas. Se presentan -además- dos alternativas que suponen mayor tecnología e inversión: canales impermeabilizados y tuberías. En todos los casos se ha asumido una adecuada operación y mantenimiento de los mismos. Además, cada alternativa de conducción y distribución podría ir complementada con diferentes métodos de aplicación del agua en el interior de las propiedades agrícolas, (desde escurrimiento superficial (RES) a través de melgas, surcos, etc. y caudal discontinuo (RCD) hasta aspersión (AS), micro-aspersión (MA) y el goteo (G)).

Tabla 47: Eficiencias factibles de alcanzar de acuerdo a la infraestructura de conducción y distribución para distintos métodos de aplicación en la parcela con adecuada operación y mantenimiento (escurrimiento superficial (RES), caudal discontinuo (RCD), aspersión (AS), micro-aspersión (MA) y goteo (G))

Sistema de conducción y distribución	Eficiencia de conducción (%)	Eficiencia de distribución (%)	Método de aplicación	Eficiencia de aplicación (%)	Eficiencia del sistema (%)
Red de tierra (en suelos de textura fina) con buena operación y	85	90	RES	65	50

mantenimiento			RCD	85	65
			AS	75	57
			MA	80	61
			G	90	69
Red de tierra (en suelos de textura intermedia) con buena operación y mantenimiento	80	80	RES	65	42
			RCD	85	54
			AS	75	48
			MA	80	51
Red de tierra (en suelos de textura gruesa) con buena operación y mantenimiento	75	70	RES	65	34
			RCD	85	45
			AS	75	39
			MA	80	42
Red de canales impermeabilizados con buena operación y mantenimiento	95	95	RES	65	59
			RCD	85	77
			AS	75	68
			MA	80	72
Red de tuberías con buena operación y mantenimiento	98	98	RES	65	62
			RCD	85	82
			AS	75	72
			MA	80	77
			G	90	86

Analizando la Tabla 47, se observan que las eficiencias de las distintas alternativas de sistemas de riego parten desde un 34 % (red de tierra en suelos de textura gruesa y métodos de riego por escurrimiento superficial) hasta un 86 % (sistemas de redes a presión y riego localizado en parcela). Se ha considerado para este proyecto que el sistema de conducción y distribución será red de canales impermeabilizados con buena operación y mantenimiento o red de tuberías con buena operación y mantenimiento. Por la particularidad de los cultivos predominantes en el área del estudio se estima que -en la mayoría de los casos- los métodos de riego seleccionados serán tecnificados: máquinas de aspersión y localizado (goteo, micro-aspersión, sub-superficial, etc.), por lo que podría pensarse en un escenario de eficiencias del sistema (e_s) con valores cuyos

extremos estarían entre el 65 y el 83 %, con valores medios de 73%. Los valores mencionados con anterioridad implicarían –considerando los usos beneficiosos y racionales propuesto por Burt et al. (1997)- valores de sagacidad de riego (IS) superiores al 80% y de hasta el 90%.

Q. Requerimiento bruto de riego a nivel de bocatomas en propiedad, en canal secundario y en canal primario (cabecera del sistema)

Se presenta a continuación el análisis -que partiendo de las necesidades netas de riego de cada cultivo- permite conocer la lámina bruta de riego en los diferentes niveles del sistema de riego. Por ejemplo, partiendo de maíz grano cuyos requerimientos netos son de 772 mm.año⁻¹, si el método de riego a utilizar es aspersión (pívtot) con una eficiencia del 75%, debería recibirse anualmente en bocatoma de la propiedad una lámina de 1029 mm (772 mm.año⁻¹ /0,75) que representa 10.291 m³.ha⁻¹. año⁻¹. Si se asume que el sistema de riego posee una eficiencia de distribución y conducción del 95% para cada una de ellas, la lámina de riego a recibir en bocatoma del canal 2° será de 1083 mm.año⁻¹ y en bocatoma de canal 1° (cabecera del sistema de riego) será de 1140 mm.año⁻¹. Por último, en la tabla también se incluye el método de riego a utilizar y su eficiencia de aplicación, por lo que el cultivo del maíz puede ser regado por surcos, aspersión o goteo, y su requerimiento bruto cambiará de acuerdo al método de riego elegido.

Tabla 48: Requerimiento neto de riego por cultivo, lámina en bocatoma de finca, lámina en bocatoma de canal secundario, lámina en bocatoma de canal primario (cabecera del sistema), método de riego (aspersión o goteo) y eficiencias de aplicación, distribución y conducción en el proyecto Mari Menuco, Neuquén

Cultivo	Requerimiento neto de riego (mm)	Lámina en bocatoma de finca (mm)		Lámina en bocatoma canal 2° (mm)	Lámina en bocatoma canal 1° (mm)	Método de riego
		Eficiencia aplicación		Eficiencia distribución	Eficiencia conducción	
		90%	75%	95%	95%	
		Goteo	Aspersión			
Alfalfa (heno)	1187	N/A	1583	1666	1754	Aspersión
Pasturas polifíticas base alfalfa	1275	N/A	1699	1789	1883	Aspersión
Pasturas polifíticas de invierno	870	N/A	1160	1221	1285	Aspersión
Verdeos de invierno (silo)	411	N/A	549	577	608	Aspersión
Maíz (grano)	772	N/A	1029	1083	1140	Aspersión

Sorgo (silo)	689	N/A	919	967	1018	Aspersión
Cebolla	823	914	N/A	962	1013	Goteo
Almendro	1032	1147	N/A	1207	1271	Goteo
Nogal	1226	1362	N/A	1433	1509	Goteo
Vid	743	825	N/A	869	914	Goteo

N/A = no aplica

R. Dotaciones de riego (caudal ficticio continuo)

La Tabla 49 presenta los requerimientos netos del sistema y las dotaciones de riego para distintas eficiencias del sistema de riego. Se calculó el promedio de todas las etapas de los requerimientos netos del sistema y se afectó dicho promedio por tres niveles de eficiencia del sistema según la infraestructura con la que tenga el proyecto (impermeabilización de canales primarios, secundarios y terciarios, y/o tuberías) y de acuerdo a los métodos de riego que podría implementarse en el interior de las propiedades.

A los fines de asegurar que la entrega del agua sea suficiente 3 de cada 4 años, se ha elegido una probabilidad de ocurrencia de ETo de 75% (Figura 27).

Tabla 49: Requerimientos netos del sistema y dotaciones de riego para distintas eficiencias del sistema de riego para una probabilidad de ocurrencia de ETo del 75%

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Etapas	Requerimientos netos del sistema (L/s.ha)											
1°	0.71	0.72	0.37	0.18	0.08	0.08	0.08	0.18	0.28	0.35	0.32	0.52
2°	0.73	0.70	0.37	0.16	0.07	0.06	0.07	0.15	0.25	0.34	0.38	0.58
Promedio	0.72	0.71	0.37	0.17	0.08	0.07	0.07	0.16	0.26	0.34	0.35	0.55
Eficiencia	Dotaciones de riego del sistema para distintas eficiencias (L/s.ha)											
50%	1.44	1.42	0.73	0.34	0.15	0.14	0.15	0.33	0.53	0.69	0.70	1.11
65%	1.11	1.09	0.56	0.26	0.12	0.11	0.11	0.25	0.40	0.53	0.53	0.85
70%	1.03	1.01	0.52	0.25	0.11	0.10	0.11	0.23	0.38	0.49	0.50	0.79
83%	0.87	0.85	0.44	0.21	0.09	0.08	0.09	0.20	0.32	0.41	0.42	0.67

En la Figura 27 se grafican los requerimientos netos del sistema para un 75% de probabilidad de ocurrencia de ETo en las dos etapas del proyecto y el promedio de valores entre ambas etapas.

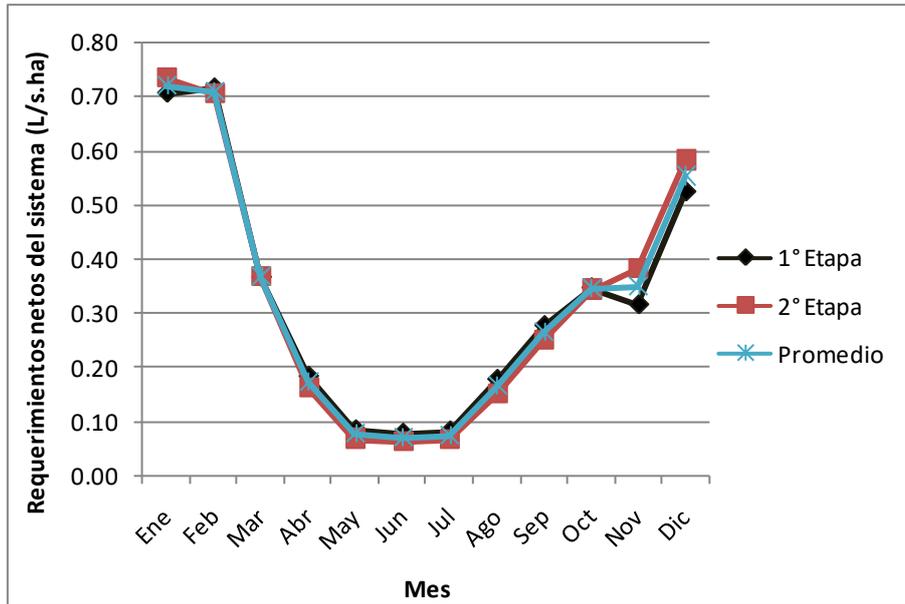


Figura 27: Requerimientos netos del sistema para una probabilidad del 75% de ETo en Mari Menuco, Neuquén

Considerando una eficiencia del sistema del 70%, la dotación seleccionada para el diseño de la red de canales y/o tuberías es de 1.03 L/s.ha. Dicho valor será confirmado de acuerdo a la infraestructura que tendrá el proyecto.

S. Disponibilidad hídrica de la cuenca

El proyecto Mari Menuco, ubicado en la margen derecha del Río Neuquén, y aguas arriba de la confluencia de este con el río Limay, contempla la ampliación de 15000 hectáreas de riego que serían derivadas del río Neuquén a partir de la toma ubicada sobre el embalse Mari Menuco.

La determinación de la disponibilidad del agua requerida para regar las nuevas áreas proyectadas, no solo depende del balance hídrico, sino del manejo del complejo hidroeléctrico Cerros Colorados donde está localizado el lago Mari Menuco (Figura 28). Por lo antes mencionado, es importante tener presente las principales características del complejo Cerros Colorados.

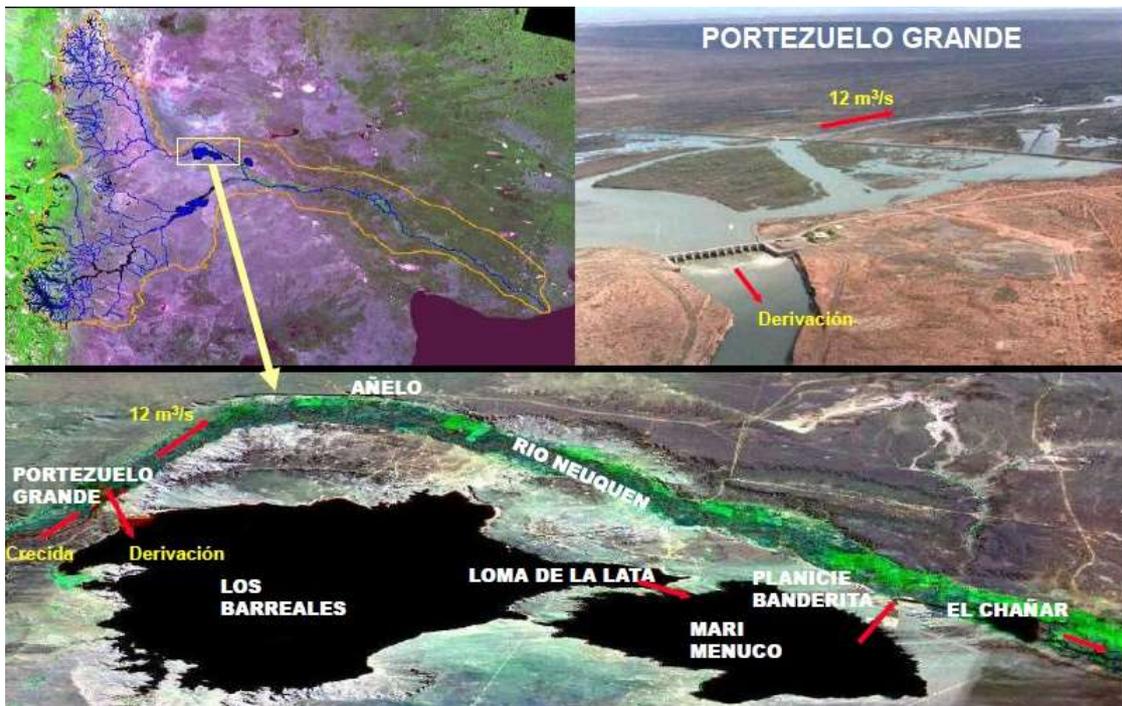


Figura 28: Localización de las obras sobre el área de estudio: Portezuelo Grande, dique Los Barreales, dique Loma de La lata y Embalse Mari Menuco

El embalse Los Barreales, con una capacidad de 28164 Hm³ y un volumen de operación de 3997 Hm³, actúa durante el invierno como atenuador de crecidas y durante el verano como reserva de volumen de agua a fin de mantener el rendimiento de los generadores.

Los Diques Loma de la Lata y Mari Menuco tienen como función controlar el paso de agua desde el embalse Los Barreales al embalse Mari Menuco. El dique Loma de la Lata controla que el nivel del embalse Mari Menuco se mantenga constante para lograr una generación de electricidad eficiente en Planicie Banderita, mientras que el dique Mari Menuco realiza la contención del agua para evitar la erosión natural. El embalse Mari Menuco, con un volumen de operación de 346 Hm³ y una capacidad de 13800 Hm³ en años hidrológicos de bajo caudal puede ser utilizado como reserva adicional. Este embalse posee un nivel máximo normal de 413.5 msnm, un mínimo de operación de 412.5 msnm y un nivel mínimo extraordinario de 410.5 msnm.

Al sur-este del lago Mari Menuco se ubica la obra de toma para riego con una capacidad de captación de 42 m³/s, y una cámara derivadora desde donde se proveen agua tanto para el acueducto de 6 m³/s que provee agua potable como para el canal de riego revestido de 19 m³/s hasta la progresiva 4900 m, continuando sin revestimiento.

Según la curva de altura caudal (H-Q) de la obra de toma de captación para riego, cuando el nivel del embalse se encuentra al nivel mínimo extraordinario tenemos en la toma un caudal de 19.5 m³/s, alcanzando 40 m³/s cuando el nivel del embalse se encuentra a una cota de 411.22 m snm.

Simulaciones realizadas para el período 1903-2006, considerando todos los meses del año, establecieron que en el 7% de los mismos el nivel del lago Mari Menuco fue igual o menor al necesario para captar 6 m³/s; y en el 10,1% fue igual o menor al necesario para captar 25 m³/s.

El Dique y planta hidroeléctrica Planicie Banderita ubicado al NE del embalse Mari Menuco controla el nivel del embalse aprovechando el desnivel de 70 m existente para la generación de energía eléctrica, restituyendo de esta forma agua turbinada al curso natural del río.

AÑO	CAUDALES MEDIOS MENSUALES(m ³ /seg)												DERRAME ANUAL [hm ³]	CAUDAL ESPECÍFICO [l/s/km ²]	ESCURR. SOBRE LA CUENCA [mm]	CAUDALES(m ³ /s)			
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR				MÁXIMO MEDIO DIARIO	MÍNIMO MEDIO DIARIO	MEDIO ANUAL	
1935-36	90.0	182	361	263	188	340	402	1,140	841	375	137	86.0	11,349	11.6	368	1,567	77.0	259	
1936-37	109	397	423	332	263	377	570	870	563	196	141	92.0	11,674	12.0	378	2,925	78.0	370	
1937-38	80.0	330	481	395	805	424	547	590	707	363	131	132	11,908	13.3	415	2,570	75.0	409	
1938-39	114	117	172	271	230	370	564	968	718	304	161	96.0	10,767	11.1	340	2,320	80.0	341	
1939-40	87.0	460	467	475	649	354	496	530	428	196	135	100	11,524	11.8	374	1,578	85.0	364	
1940-41	112	900	805	702	416	394	673	662	563	267	149	136	15,243	15.7	494	2,780	86.0	483	
1941-42	118	209	429	562	476	492	777	880	1,008	878	252	242	15,353	16.4	517	1,740	110	506	
1942-43	122	170	192	147	353	383	487	746	433	172	102	87.0	8,728	8.87	263	879	82.0	277	
1943-44	80.0	135	133	160	170	457	536	455	346	106	74.0	61.0	6,750	6.92	219	1,018	58.0	213	
1944-45	52.0	106	526	285	285	385	671	821	825	269	234	142	11,118	11.4	360	1,815	58.0	353	
1945-46	121	530	598	294	422	471	728	709	462	229	165	118	12,773	13.1	434	5,063	95.0	405	
1946-47	89.0	101	108	190	161	236	230	296	224	99.0	84.0	56.0	4,889	5.03	130	415	53.0	155	
1947-48	57.0	81.0	161	172	165	194	386	532	209	99.0	64.0	50.0	5,668	5.81	184	788	47.0	179	
1948-49	120	156	214	328	292	401	592	842	658	258	136	188	10,717	11.0	346	1,134	47.0	340	
1949-50	108	575	534	260	192	202	330	284	142	133	79.0	69.0	8,448	8.69	274	2,941	65.0	268	
1950-51	109	381	346	195	599	376	459	754	760	447	246	148	12,709	13.1	412	4,005	76.0	459	
1951-52	100	241	648	659	451	468	549	764	768	408	229	215	14,521	14.9	471	2,470	96.0	459	
1952-53	118	190	224	252	167	237	312	280	182	104	67.0	52.0	5,761	5.92	187	546	49.0	183	
1953-54	72.0	287	272	271	169	642	464	1,146	1,153	586	359	284	16,117	16.6	523	1,850	64.0	511	
1954-55	146	166	308	355	620	305	432	647	422	174	102	76.0	6,981	9.96	314	2,449	72.0	307	
1955-56	98.0	111	173	154	149	197	401	575	150	134	92.0	86.0	6,536	6.70	212	1,348	77.0	257	
1956-57	118	210	146	275	253	209	417	526	233	203	71.0	60.0	6,920	7.10	224	766	56.0	219	
1957-58	72.0	115	117	227	282	209	349	479	838	132	76.0	67.0	6,497	6.62	208	949	63.0	204	
1958-59	68.0	181	383	738	437	373	623	679	346	181	107	78.0	10,917	11.2	355	3,509	62.0	347	
1959-60	422	422	441	495	373	652	614	766	603	293	133	111	14,045	14.4	455	1,723	85.0	444	
1960-61	115	126	371	311	246	241	578	854	344	145	83.0	89.0	8,787	9.03	285	2,122	61.0	279	
1961-62	90.0	88.0	248	441	324	512	786	817	610	266	160	90.0	11,776	12.1	382	1,795	71.0	373	
1962-63	77.0	82.0	130	146	261	232	242	367	114	63.0	67.0	51.0	4,628	4.74	149	633	39.0	146	
1963-64	51.0	80.0	120	215	237	472	617	799	717	373	148	102	10,435	10.7	337	2,108	41.0	329	
1964-65	87.0	95.0	109	113	109	193	343	334	244	125	93.0	68.0	5,037	5.18	165	443	60.0	160	
1965-66	186	318	679	498	329	268	512	818	648	332	138	89.0	12,964	13.1	420	1,609	56.0	411	
1966-67	181	294	378	516	219	274	465	662	599	369	194	116	10,727	11.0	348	1,629	93.0	340	
1967-68	89.0	133	131	122	181	209	443	529	516	113	81.0	75.0	6,390	6.55	207	678	64.0	202	
1968-69	65.0	73.0	71.0	73.0	88.0	114	129	128	99.0	68.0	36.0	38.0	2,604	2.68	84.4	170	33.0	82.6	
1969-70	47.0	188	358	337	434	376	360	566	326	208	100	88.0	8,968	10.2	323	1,821	88.0	316	
1970-71	69.0	78.0	158	179	206	220	385	509	433	184	89.0	67.0	6,823	7.02	221	695	56.0	216	
1971-72	58.0	265	197	484	491	317	486	561	365	171	89.0	72.0	9,490	9.73	306	2,169	52.0	300	
1972-73	89.0	1,098	990	489	563	578	515	790	772	437	186	101	18,425	18.9	597	5,569	63.0	584	

AÑO	CAUDALES MEDIOS MENSUALES(m ³ /seg)												DERRAME ANUAL [hm ³]	CAUDAL ESPECÍFICO [l/s/km ²]	ESCURR. SOBRE LA CUENCA [mm]	CAUDALES(m ³ /s)			
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR				MÁXIMO MEDIO DIARIO	MÍNIMO MEDIO DIARIO	MEDIO ANUAL	
1973-74	100	229	262	324	234	213	360	527	311	144	90.0	65.0	7,539	7.75	244	1,199	59.0	239	
1974-75	61.0	126	293	252	270	263	536	632	380	162	107	80.0	8,333	8.57	270	1,888	54.0	264	
1975-76	128	282	472	529	301	366	591	826	647	274	125	84.0	12,211	12.5	396	1,948	78.0	386	
1976-77	84.0	84.0	265	177	164	243	404	488	315	145	89.0	62.0	6,633	6.82	215	717	58.0	210	
1977-78	66.0	238	257	382	299	483	719	798	637	246	134	80.0	11,448	11.8	371	1,375	61.0	363	
1978-79	70.0	139	204	359	290	326	576	653	480	190	107	88.0	9,822	10.1	318	1,971	69.0	311	
1979-80	74.0	118	110	348	747	535	462	582	567	246	166	182	10,939	11.2	355	2,983	72.0	346	
1980-81	384	761	791	591	427	308	401	416	370	180	106	82.0	12,710	13.1	412	3,531	76.0	403	
1981-82	114	831	510	298	372	278	344	356	196	113	81.0	66.0	9,403	9.67	305	2,377	60.0	298	
1982-83	75.0	174	478	665	382	817	679	812	947	332	221	99.0	15,506	15.9	503	3,004	69.0	492	
1983-84	109	121	470	344	266	269	527	622	272	118	84.0	79.0	8,646	8.87	280	3,142	72.0	273	
1984-85	83.0	155	180	480	213	371	792	798	765	339	143	95.0	11,667	12.0	378	1,832	74.0	370	
1985-86	113	353	397	469	185	199	313	411	210	97.0	70.0	69.0	7,615	7.83	247	2,156	63.0	241	
1986-87	84.0	393	1,064	384	347	277	489	524	535	211	125	108	11,978	12.3	388	4,570	51.0	380	
1987-88	100.0	111	247	496	362	364	742	724	358	141	85.0	82.0	10,071	10.3	327	1,487	72.0	318	
1988-89	78.0	97.0	149	254	327	269	486	720	166	125	68.0	55.0	7,361	7.57	239	964	53.0	233	
1989-90	57.0	63.0	112	175	194	243	456	416	179	79.0	64.0	56.0	5,520	5.68	179	594	44.8	175	
1990-91	139	200	196	142	264	437	319	218	108	60.2	46.8	43.1	5,725	5.89	186	1,248	41.8	182	
1991-92	71.2	776	567	440	238	357	361	483	342	231	93.3	74.9	10,664	10.9	346	4,659	43.4	337	
1992-93	91.2	424	550	302	210	323	489	703	504	240	98.4	74.3	10,591	10.9	343	1,234	67.6	336	
1993-94	97.7	301	869	565	491	503	540	601	503	232	104	79.3	12,877	13.2	418	3,243	70.4	408	
1994-95	132	179	300	573	300	531	651	538	392	153	87.0	72.0	10,309	10.6	334	2,989	67.0	327	
1995-96	82.0	121	451	446	318	528	458	655	432	156	82.0	79.7	10,040	10.3	326	1,268	65.1	317	
1996-97	114	95.4	219	139	193	195	196	142	78.7	51.6	50.1	55.0	4,024	4.14	130	660	44.8	128	
1997-98	104	196	484	383	625	505	321	431	348	175	106	87.5	9,952	10.2	323	1,990	47.2	316	
1998-99	93.4	102	95.3	104	88.6	96.7	120	77.5	53.3	45.7	41.7	42.3	2,536	2.61	82.2	154	37.5	80.4	
1999-00	48.2	100	172	155	275	446	583	551	238	96.6	93.1	68.9	7,445	7.63	241	1,098	42.6	235	
2000-01	64.9	114	474	633	457	424	636	679	551	247	113	72.8	11,776	12.1	382	2,390	52.6	373	
2001-02	70.7	441	592	964	641	502	648	539	409	200	153	260	14,328	14.7	465	3,448	66.4	454	
2002-03	210	309	374	297	773	537	820	783	677	309	142	99.4	14,074	14.5	456	3,561	90.9	446	
2003-04	93.9	108	627	455	243	291	318	309	180	95.7	71.5	70.3	7,539	7.73	244	3,277	53.1	238</	

El análisis estadístico de los derrames en Paso de Indios de los ciclos 1903/04 al 2012/13 de abril a marzo, presenta los siguientes resultados:

Tabla 51: Número de años de la serie (N°), derrame medio (media), desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV), valor mínimo (Min) y máximo (Max) y mediana de los derrames (Hm³) en la estación Paso de Indios, río Neuquén

Sitio	N°	Media	D.E.	CV	Min	Max	Mediana
Paso de Indios	110	9711	3773	39	2536	20969	9961

Tabla 52: Percentiles (P, %) de los derrames (Hm³) en la estación Paso de Indios, río Neuquén

Sitio	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95
Paso de Indios	4123	4887	6662	9960	11970	14549	15956

Se presenta a continuación un análisis de la disponibilidad del recurso hídrico del área para satisfacer 15000 hectáreas nuevas a regar a partir del dique Mari Menuco.

El análisis se ha hecho a nivel anual y tiene los siguientes supuestos:

- 1) Derrame del río para diferentes percentiles en la estación Paso de Indios
- 2) Superficie nueva a regar: 15000 Hectáreas.
- 3) Volumen de regulación: 4343 Hm³ (3997 Hm³ de Los barreales y 346 Hm³ de Mari Menuco).
- 4) Se ha considerado una posible disminución del caudal del río del 10% por cambio climático según los datos de los modelos del Banco Mundial.
- 5) Se ha previsto un volumen de reserva para el caudal ecológico del 10%.
- 6) Se estima que actualmente con esta fuente de agua se riegan 76200 hectáreas, 16200 sobre la provincia de Neuquén y 60000 hectáreas en el Alto Valle del Río Negro. En realidad esto no es así, la superficie regada en Neuquén es menor y en el caso del Alto Valle se riegan menos de 50000 hectáreas.
- 7) Se ha considerado una necesidad neta de riego para los cultivos del área de 10075 m³/ha año (1.007 mm/año). Para tener de referencia, en la estación meteorológica de Observatorio del SMN en Buenos Aires llueven 1076 mm/año y en Castelar 995 mm/año.
- 8) Se ha asumido una eficiencia de los sistemas de riego (conducción, distribución y aplicación) ya existentes en el área de estudio (Neuquén y Alto Valle) del 42%. El mismo está planteado considerando la infraestructura existente y la posibilidad de lograr una eficiencia de riego parcelaria razonable con los sistemas de riego por escurrimiento superficial de la zona. En ese sentido es importante considerar que mientras más baja es la eficiencia de riego, más agua hay que extraer del río y más problemas se derivan por su mal uso: elevación de la napa freática, lavado de fertilizantes, mayor mano de obra,

etc. Es importe establecer un límite de extracción, que en este caso sería de 23.990 m³/ha.año.

- 9) Se ha estimado el consumo de agua humano a razón de 450 L/día por persona para una población sobrestimada de 500.000 habitantes que se abastecen del río Neuquén.
- 10) Se ha considerado un consumo industrial similar al poblacional (humano).
- 11) Se ha considerado un área promedio de evaporación constante de los embalses de 56300 hectáreas (que contempla la superficie del lago Los Barreales y del lago Mari Menuco). En realidad esa superficie fluctúa en el tiempo resultando menor a la mencionada. La evaporación mensual se estimó a partir del método de Penman (1948) con datos pertenecientes a la estación meteorológica Neuquén Aeropuerto, lo cual determina un valor de 1280 mm/año de agua evaporada.
- 12) Se ha considerado la misma demanda de agua para la nueva área a regar (15000 hectáreas) pero con una eficiencia de riego ponderada del 70%. Ello determina una extracción de 14393 m³/ha año.

Con todos estos supuestos se han confeccionado las siguientes tablas para los distintos percentiles de agua disponible:

Tabla 53: Análisis de la disponibilidad hídrica a partir de la estación Paso de Indios en Neuquén para distintos percentiles de derrames anuales

Percentil (%)	Derrame Anual (Hm ³)	Volumen de Regulación (Hm ³)	Número de veces que el derrame puede ser almacenado en obra de regulación	Afectación por Cambio Climático sobre el derrame	Uso ecológico sobre el derrame	Superficie cultivada actual (ha)
5	4123	4343	1.05	0.1	0.1	76200
10	4887	4343	0.89	0.1	0.1	76200
25	6662	4343	0.65	0.1	0.1	76200
50	9960	4343	0.44	0.1	0.1	76200
75	11970	4343	0.36	0.1	0.1	76200
90	14549	4343	0.3	0.1	0.1	76200

Tabla 54: Continuación

Demanda agrícola bruta comprometida (Hm ³)	Consumo Agrícola	Población de la cuenca (hab)	Consumo unitario equivalente (L/día)	Consumo poblacional comprometido (Hm ³)	Fracción de consumo población sobre el derrame	Fracción del uso industrial sobre el derrame
1828	0.44	500000	450	82.1	0.02	0.020
1828	0.37	500000	450	82.1	0.017	0.017
1828	0.27	500000	450	82.1	0.012	0.012
1828	0.18	500000	450	82.1	0.008	0.008
1828	0.15	500000	450	82.1	0.007	0.007

1828	0.13	500000	450	82.1	0.006	0.006
------	------	--------	-----	------	-------	-------

Tabla 55: Continuación

Evaporación de embalses (mm/año)	Agua evaporada (Hm ³)	Fracción de agua evaporada sobre el derrame	Fracción comprometida sobre el derrame anual	Derrame disponible (Hm ³)	Demanda bruta agrícola del proyecto (Hm ³ /año)	Relación derrame disponible / demanda bruta del proyecto
1280	721	0.17	0.86	586	216	2.7
1280	721	0.15	0.76	1197	216	5.5
1280	721	0.11	0.61	2617	216	12.1
1280	721	0.07	0.47	5255	216	24.3
1280	721	0.06	0.43	6863	216	31.8
1280	721	0.05	0.39	8926	216	41.3

Conclusión: Los volúmenes disponibles resultan suficiente para regar el área del proyecto aun para el percentil del 5%. Considerando la información antecedente se califica la situación de la cuenca ante la nueva obra en función de la oferta hídrica asignándole un valor de ISD de 5 - “Muy Alto”.

IV. BIBLIOGRAFÍA

Allen R.G., Pereira L. S., Raes D. y Smith M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO, Irrigation and drainage paper: 56. Rome - Italy.

Allen R.G., Pereira L. S., Raes D. y Smith M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56 Roma Italia.

ASAE Standard: ASAE.S 330.1. 1985. Procedure for sprinkler distribution testing for research purposes. In: ASAE Standards. ASAE, St. Joseph, MI.

Bos, M.G. y J. Nugteren. 1974. On irrigation efficiencies. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Publication 19, 1th edition Wageningen. The Netherlands.

Bos, M.G. y J. Nugteren. 1982. On irrigation efficiencies. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Publication 19, 3th edition, Wageningen. The Netherlands.

Burt, C .M, Clemmens A. J., Strelkoff, T.S., Solomon K. H., Bliesner R.D., Hardy L.A., Howell, T.A., Eisenhauer, D.E., 1997. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. J. Irrig. Drain. Eng. (November/December), 423-442.

Climate Change Portal Knowledge del Banco Mundial WBG, 2016. Sitio web: <http://sdwebx.worldbank.org/climateportal>.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. 2015. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Duek, Alicia. 2017. Usos sostenibles del agua en Mendoza. Estimación y territorialización de

las disponibilidades hídricas actuales y escenarios futuros. Tesis de doctorado, UNCuyo-INA-Mendoza-Argentina

Emberger L., 1955. Une classification biogéographique des climats. Recueil des travaux des laboratoires de botanique, géologie et zoologie de la faculté des sciences de l'université de Montpellier (Série Botanique), Fascicule 7, 3-43.

FAO. 2015 a. Documento de trabajo N°1- Características demográficas, económicas y sociales de la provincia de Neuquén. Proyecto FAO-UTF/ARG/017. Argentina.

FAO. 2015 b. Desarrollo Institucional para la Inversión UTF/ARG/017. Documento Técnico N° 7B Balance Hídrico de la Cuenca del Río Neuquén. Argentina.

Frost, K.R.; Schwalen, H.C. 1955. Sprinkler evaporation losses. Agricultural Engineering, St. Joseph, v.36, n.8, p.526-8.

García De Jalón D. y M. González Del Tánago. 2004. "El concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en los ríos españoles," Departamento De Ingeniería Forestal, Escuela de Ingenieros De Montes, Universidad Politécnica De Madrid. Madrid, España.

Grassi, Carlos J. 1998. Fundamentos del riego. Serie Riego y Drenaje RD-38, CIDIAT, Mérida, Venezuela.

Keller, J. y Mc Colloch. A.W. 1962. Ames irrigation Handbook, Second edition, Section II: SMF -3 Ames Company, Milpitas, California.

Keller, J.; Bliesner, R.D. 1990. Sprinkle and trickle irrigation. New York: AnaviBook - Van Nostrand Reinhold. 652 p.

Kraatz, D.B. 1977. Irrigation canal living. FAO Land and Water Development Series. N° 1. Roma, Italia.

Mahibbur R.M y Govindarajulu Z. 1997. Modification of the test of Shapiro and Wilks for normality. Journal of applied statistics, 24 (2): 219-235.

Morábito J., S. Salatino y C. Schilardi. 2012. El desempeño del uso agrícola del agua en los oasis de los ríos Mendoza y Tunuyán a través de nuevos indicadores. VI Jornadas de Riego y Fertirriego. Mendoza, Argentina. <http://www.riegoyfertirriego.com/>

MPF-IPyS. 2014. Publicaciones Hidro-meteorológicas. Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Argentina.

ORSEP. 2016. Organismo Regulador de Seguridad de Presas. Ficha de presas. Información del documento Copyright © 2006-2016 Franklin D. Roosevelt 2318, CP C1428BOJ, Ciudad de Buenos Aires. Argentina.

Palacios Vélez, E. y A. García 2011. La operación de los sistemas de riego con apoyo de las técnicas de la información. Editorial del Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Papadakis, J. 1966. Climates of the world and their agricultural potentialities. Ed. por autor, Buenos Aires.

Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of The Royal Society A 193(1032):120-145, London

Roscher, K. 1986. Irrigation delivery scheduling. Depart. of Irrigation and Civil Engineering Agricultural University – Wageningen – The Netherlands.

Smith M, G Muñoz, G Van Halsema, F Maraux, G Izzi y R Wahaj. 1998. Cropwat. FAO Roma Italia.

SMN Servicio Meteorológico Nacional. 1969 Bases de datos climáticos de la República Argentina 1958-1969. Buenos Aires – Argentina.

SMN Servicio Meteorológico Nacional. 1971. Bases de datos climáticos de la República Argentina 1961 – 1970. Buenos Aires – Argentina.

SMN Servicio Meteorológico Nacional. 2016. Bases de datos suministrados por climáticos de la República Argentina. Buenos Aires – Argentina.

SSRH (2014). Subsecretaria de Recursos Hídricos, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. Red hidrológica nacional. Publicaciones hidrometeorológicas. CD. ISBN: 978-987-25894-6-2. Argentina

Tarjuelo, José María. 2005. El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi-Prensa. 581 páginas. ISBN: 978-84-8476-225-6.

Thornthwaite C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geog. Rev. 38, 55-94.

Trimmer W. L 1987. Sprinkler evaporation loss equation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York, v.113, n.4, p.616-20.

V. ANEXOS

T. Listado de cultivos

21. Pasturas, cereales y oleaginosas

Tabla 56: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Alfalfa para heno)

Nombre del cultivo:	Alfalfa	Siembra:	15/03	Cosecha	14/13
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coeficiente de cultivo (kc)	0,4	****	0,95	0,90	
Duración (días)	150	30	150	35	365
Profundidad de raíces (m)	1,20	****	1,20		
Nivel de Agotamiento (p)	0,55	****	0,55	0,55	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0,8	1,00	1,10	0,80	1,00
Altura del cultivo (m)	0,7				

Tabla 57: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Cebada forrajera)

Nombre del cultivo:	Cebada	Siembra:	01/05	Cosecha	6/11
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coeficiente de cultivo (kc)	0,30		1.15	0.25	

Duración (días)	23	40	79	48	190
Profundidad de raíces (m)	0.30	****	1.00		
Nivel de Agotamiento (p)	0.55	****	0.55	0.90	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.20	0.60	0.50	0.40	1.00
Altura del cultivo (m)	1.00				

Tabla 58: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Girasol)

Nombre del cultivo:	girasol	Siembra:	01/11	Cosecha	19/02
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0,35	****	1.15	0.35	
Duración (días)	21	30	38	21	110
Profundidad de raíces (m)	0.3	****	1.1		
Nivel de Agotamiento (p)	0.45	****	0.50	0.80	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.40	0.60	0.80	0.80	0.95
Altura del cultivo (m)	2.0				

Tabla 59: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Maíz forrajero)

Nombre del cultivo:	Maíz forrajero	Siembra:	01/11	Cosecha	25/02
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0,30		1.15	1.05	
Duración (días)	21	33	37	25	116
Profundidad de raíces (m)	0.30	****	1.00		
Nivel de Agotamiento (p)	0.55	****	0.55	0.80	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.40	0.40	1.30	0.50	1.25
Altura del cultivo (m)	2.00				

Tabla 60: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Polifíticas base alfalfa)

Nombre del cultivo:	pasturas polifíticas	Siembra:	1°/04	Cosecha	31/03
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coeficiente de cultivo (kc)	0,85	''''	0,95	0,85	
Duración (días)	140	60	120	45	365
Profundidad de raíces (m)	0.8	''''	0.8		
Nivel de Agotamiento (p)	0.5	''''	0.5	0.5	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0,8	0.8	0.8	0.8	0.8
Altura del cultivo (m)	0,20				

Tabla 61: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Polifíticas de invierno)

Nombre del cultivo:	Polifíticas invierno	Siembra:	01/04	Cosecha	31/03
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coeficiente de cultivo (kc)	0.90		0.95		0.95
Duración (días)	10	20	167	168	365
Profundidad de raíces (m)	0.90		0.90		
Nivel de Agotamiento (p)	0.50		0.50	0.50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	1	1	1	1	
Altura del cultivo (m)			0.40		

Tabla 62: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Verdeos de invierno)

Nombre del cultivo:	Verdeos invierno	Siembra:	01/04	Cosecha	31/10
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coeficiente de cultivo (kc)	0.50		1.15	0.25	

Duración (días)	30	40	95	49	214
Profundidad de raíces (m)	0.30		1.10		
Nivel de Agotamiento (p)	0.50		0.50	0.50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.80	0.80	0.80	0.80	
Altura del cultivo (m)			0.70		

Tabla 63: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Sorgo grano)

Nombre del cultivo:	Sorgo	Siembra:	01/12	Cosecha	04/04
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0,30	****	1.00	0.55	
Duración (días)	20	35	40	30	125
Profundidad de raíces (m)	0.30	****	1.2		
Nivel de Agotamiento (p)	0.60	****	0.50	0.80	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.20	0.40	0.55	0.20	0.90
Altura del cultivo (m)	1.50				

Tabla 64: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Sorgo silo)

Nombre del cultivo:	Sorgo Forrajero	Siembra:	01/12	Cosecha	20/03
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0,30		1.20	1.05	
Duración (días)	18	31	35	26	110
Profundidad de raíces (m)	0.30	****	1.20		
Nivel de Agotamiento (p)	0.60	****	0.50	0.80	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.20	0.40	0.55	0.20	0.90
Altura del cultivo (m)	3.00				

Tabla 65: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Soja)

Nombre del cultivo:	Soja	Siembra:	01/11	Cosecha	13/02
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0,40	****	1.15	0.50	
Duración (días)	19	18	49	19	105
Profundidad de raíces (m)	0.30	****	1.0		
Nivel de Agotamiento (p)	0.50	****	0.60	0.90	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.40	0.80	1.00	0.40	0.85
Altura del cultivo (m)	0.60				

Tabla 66: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Trigo)

Nombre del cultivo:	trigo de invierno	Siembra:	01/05	Cosecha	06/12
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0,70	****	1.15	0.25	
Duración (días)	28	127	37	28	220
Profundidad de raíces (m)	0.3	****	1.2		
Nivel de Agotamiento (p)	0.55	****	0.55	0.90	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.20	0.60	0.5	0.4	1.0
Altura del cultivo (m)	1.0				

22. Forestales / Frutales

Tabla 67: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Cerezo)

Nombre del cultivo:	Cerezo	Siembra:	01/10	Cosecha	10/04
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0,45	****	0.95	0.70	
Duración (días)	18	63	82	27	190
Profundidad de raíces (m)	1.20	****	1.20		

Nivel de Agotamiento (p)	0.50	''''	0.50	0.50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Altura del cultivo (m)	4.0				

Tabla 68: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Forestales: Álamo)

Nombre del cultivo:	Álamo	Siembra:	01/05	Cosecha	30/04
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0,30	''''	1.25	0.45	
Duración (días)	150	50	125	40	365
Profundidad de raíces (m)	1.50	''''	1.50		
Nivel de Agotamiento (p)	0.50	''''	0.50	0.50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Altura del cultivo (m)	10.0				

Tabla 69: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Frutales de pepita: Manzano, peral)

Nombre del cultivo:	Manzano, peral	Siembra:	01/10	Cosecha	15/04
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0,45	''''	0.95	0.70	
Duración (días)	19	65	83	28	195
Profundidad de raíces (m)	1.20	''''	1.20		
Nivel de Agotamiento (p)	0.50	''''	0.50	0.50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Altura del cultivo (m)	4.0				

Tabla 70: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Nogal)

Nombre del cultivo:	Nogal	Siembra:	01/10	Cosecha	08/04
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0,50	****	1.10	0.60	
Duración (días)	20	10	130	30	190
Profundidad de raíces (m)	2.0	****	2.0		
Nivel de Agotamiento (p)	0.50	****	0.50	0.50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Altura del cultivo (m)	4.0				

Tabla 71: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Vid para vinificar)

Nombre del cultivo:	Vid para vinificar	Siembra:	01/10	Cosecha	15/04
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0,30	****	0.70	0.45	
Duración (días)	22	54	97	22	195
Profundidad de raíces (m)	1.00	****	1.00		
Nivel de Agotamiento (p)	0.45	****	0.45	0.45	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.20	0.70	0.85	0.40	0.85
Altura del cultivo (m)	1.80				

Tabla 72: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Almendro)

Nombre del cultivo:	Almendro	Siembra:	30/08	Cosecha	27/03
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0.45		0.90	0.65	
Duración (días)	20	70	90	30	210
Profundidad de raíces (m)	1.20		1.20		

Nivel de Agotamiento (p)	0.40		0.40	0.60	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.85	0.85	1	0.80	0.85
Altura del cultivo (m)	4				

Tabla 73: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Olivo)

Nombre del cultivo:	Olivo	Siembra:	01/06	Cosecha	31/05
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0.55		0.70	0.70	
Duración (días)	125	90	60	90	365
Profundidad de raíces (m)	1.40		1.40		
Nivel de Agotamiento (p)	0.60		0.65	0.65	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Altura del cultivo (m)	4				

23. Hortalizas

Tabla 74: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Ajo)

Nombre del cultivo:	Ajo	Siembra:	15/03	Cosecha	19/11
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0,65	''''	0,90	0,75	
Duración (días)	120	60	40	30	250
Profundidad de raíces (m)	0,25	''''	0,60		
Nivel de Agotamiento (p)	0,30	''''	0,40	0,50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0,80	1,00	1,10	0,80	1,00
Altura del cultivo (m)	0,4				

Tabla 75: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Cebolla Sintética)

Nombre del cultivo:	Cebolla	Siembra:	15/09	Cosecha	13/03
---------------------	---------	----------	-------	---------	-------

	Sintética				
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coeficiente de cultivo (kc)	0,60		1.05	0.65	
Duración (días)	18	30	84	7	139
Profundidad de raíces (m)	0.25	****	0.50		
Nivel de Agotamiento (p)	0.30	****	0.40	0.50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.50	0.60	1.10	0.80	1.05
Altura del cultivo (m)	0.40				

Aclaración: se deja de regar el 31/1 para cosechar en Febrero- Marzo.

Tabla 76: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Cebolla Valencianita)

Nombre del cultivo:	Cebolla Valencianita	Siembra:	15/04	Cosecha	01/11
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coeficiente de cultivo (kc)	0,70		1.05	0.75	
Duración (días)	25	32	102	42	201
Profundidad de raíces (m)	0.25	****	0.50		
Nivel de Agotamiento (p)	0.30	****	0.40	0.50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.50	0.60	1.10	0.80	1.05
Altura del cultivo (m)	0.50				

Tabla 77: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Lechuga de invierno)

Nombre del cultivo:	Lechuga de invierno	Siembra:	15/04	Cosecha	03/08
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coeficiente de cultivo (kc)	0,70		1.00	0.95	
Duración (días)	23	34	36	17	110
Profundidad de raíces (m)	0.25	****	0.60		

Nivel de Agotamiento (p)	0.30	''''	0.45	0.50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.80	0.40	1.20	1.00	1.00
Altura del cultivo (m)	0.30				

Tabla 78: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Lechuga de verano)

Nombre del cultivo:	Lechuga de verano	Siembra:	15/10	Cosecha	15/01
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0,70		1.00	0.95	
Duración (días)	19	28	29	14	90
Profundidad de raíces (m)	0.25	''''	0.60		
Nivel de Agotamiento (p)	0.30	''''	0.45	0.50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.80	0.40	1.20	1.00	1.00
Altura del cultivo (m)	0.30				

Tabla 79: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Papa)

Nombre del cultivo:	Papa	Siembra:	10/11	Cosecha	08/03
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0,50		1.15	0.75	
Duración (días)	21	25	38	25	109
Profundidad de raíces (m)	0.30	''''	0.60		
Nivel de Agotamiento (p)	0.25	''''	0.30	0.50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.45	0.80	0.80	0.30	1.10
Altura del cultivo (m)	0.60				

Tabla 80: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Tomate para industria)

Nombre del cultivo:	Tomate industria	Siembra:	15/10	Cosecha	13/03
VARIABLES/ETAPAS DE CRECIMIENTO	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0,60	''''	1.15	0.70	
Duración (días)	31	41	47	31	150
Profundidad de raíces (m)	0.25	''''	1.0		
Nivel de Agotamiento (p)	0.30	''''	0.40	0.50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.50	0.60	1.10	0.80	1.05
Altura del cultivo (m)	0.60				

Tabla 81: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Tomate en fresco)

Nombre del cultivo:	Tomate fresco	Siembra:	01/11	Cosecha	30/3
VARIABLES/ETAPAS DE CRECIMIENTO	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente de cultivo (kc)	0.60		1.20	0.80	
Duración (días)	31	41	47	31	150
Profundidad de raíces (m)	0.25		1		
Nivel de Agotamiento (p)	0.30		0.40	0.50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.50	0.60	1.10	0.80	1.05
Altura del cultivo (m)			1		

U. Clasificación climática de Papadakis

Tabla 82: Tipo de invierno en función de la temperatura media mínima de mínimas absolutas del mes más frío ($t'a_1$), la temperatura media de mínimas del mes más frío (t_1) y la temperatura media de máximas del mes más frío (T_1) (Papadakis, 1966)

TIPO DE INVIERNO			$t'a_1$ (°C)	t_1 (°C)	T_1 (°C)
Ecuatorial	---	Ec	>7	>18	
Tropical	cálido	Tp	>7	13 a 18	>21
	medio	tP	>7	8 a 13	>21
	fresco	tp	>7	---	<21
Citrus	tropical	Ct	-2.5 a 7	>8	>21
	---	Ci	-2.5 a 7	---	10 a 21
Avena	cálida	Av	-10 a -2,5	>-4	>10
	fresca	av	>-10		5 a 10
Triticum	avena-trigo	Tv	-29 a -10	---	>5
	cálido	Ti	>-29	---	0 a 5
	fresco	ti	>-29	---	<0

Tabla 83: Tipo de verano en función los distintos períodos de regímenes de heladas (estación libre de heladas en meses (ExLH), la media de la media de máximas de los n meses más cálidos ($1/n \sum i$), la media de máximas del mes más cálido (T_{12}) y la media de mínimas del mes más cálido (t_{12}) (Papadakis, 1966)

TIPO DE VERANO		ExLH [x]	T_{12}	t_{12}	
		$1/n \cdot \sum i = 13 - nT_i$			
Gossypium	Cálido	G	>4.5 [m]	>25 [6]	>33.5
	Fresco	g	>4.5 [m]	>25 [6]	<33.5
Coffee	---	c	=12 [m]	>21 [6]	<33.5
Oriza	---	O	>4 [m]	21 a 25 [6]	---
Maize	---	M	>4.5 [D]	>21 [6]	---
Triticum	Cálido	T	>4.5 [D]	<21 [6] y >17 [4]	---
	Fresco	t	2.5 a 4.5 [D]	>17 [4]	---

ExLH = x: mínima (m), disponible (D), media (M)

Tabla 84: Clasificación agroclimática anual por su régimen térmico de acuerdo al tipo de invierno y verano (Papadakis, 1966)

REGIMEN TÉRMICO		NOMENCLATURA	TIPO DE INVIERNO	TIPO DE VERANO
Ecuatorial	Ecuatorial cálido	EQ	Ec	G
	Ec. semi-cálido	Eq	Ec	g
Tropical	Cálido	TR	Tp	G
	Semi cálido	Tr	Tp	g
	Cálido con invierno frío	tR	tP	G, g
	Frío	tr	tp	O, g
Tierra templada	Templada	Tt	Tp, tP, tp	c
	Templada fresca	tt	tp	T
Tierra fría	Baja	TF	Ct o más frío	g
	Media	Tf	Ct o más frío	O, M
	Alta	tf	Ci o más frío	T, t
Subtropical	Semitropical	Ts	Ct	G, g
	Cálido	SU	Ci, Av	G
	Semicálido	Su	Ci	g
Marino	Super-marino	Mm	Ci	T
	Cálido	MA	Ci	O, M
	Fresco	Ma	av, Av	T
	Frío	ma	av, Ti, Tv	P
	Tundra	mp	Ti, av	p
	Desértico subglacial	mF	Ti	F
Templado	Cálido	TE	av, Av	M, O
	Fresco	Te	ti, Ti, Tv	T
	Frío	te	ti, Ti	t
Pampeano-Patagoniano	Pampeano	PA	Av	M, O
	Patagoniano	Pa	Tv, av, Av	t
	Patagoniano frío	pa	Ti, Tv, av	P

Tabla 85: Clasificación mensual desde el punto de vista hídrico (árido, seco, intermedio seco y húmedo, post-húmedo, húmedo y mojado) en base a los datos de precipitación (P), reserva (R) y evapotranspiración de referencia (ETo) (Papadakis, 1966)

A	Árido	$P+R < 25\% ETo$
S	Seco	$25\% ETo < P+R < 50\% ETo$
I	Intermedio seco	$50\% ETo < P+R < 75\% ETo$
Y	Intermedio húmedo	$75\% ETo < P+R < 100\% ETo$
P	Post-húmedo	$P+R > 100\% ETo$ - la lluvia no cubre la ETo
H	Húmedo	$P > 100\% ETo$ - $(P+R) < 200\% ETo$ o $(P+R) - ETo < 100$ mm
W	Mojado	$(P+R) > 200\% ETo$ y $(P+R) - ETo > 100$ mm

Nota: HU (siempre húmedo): todos los meses son húmedos, **Hu (húmedo):** uno o más meses son intermedios, **Me (húmedo):** Ln mayor que el 20% de la evapotranspiración potencial (ETP) anual y/o índice anual de humedad mayor de 0.88, **Me (seco):** Ln menor que el 20% de la ETP anual, índice anual de humedad entre 0.22 y 0.88, **me (árido):** demasiado seco para Me

Tabla 86: Clasificación agroclimática por su régimen hídrico (Papadakis, 1966)

RÉGIMEN HÍDRICO		CARACTERÍSTICAS	
Húmedo Ih > 1 Ln > 0.20 ETP	Permanente	HU	Todos los meses húmedos
	No permanente	Hu	No todos húmedos
Mediterráneo Latitud > 20° Precipitación: invernal > estival	Húmedo	ME	Ln > 0.20ETP y/o Ih > 0.88
	Seco	Me	LN < 0.20ETP, 0.22 < Ih < 0.88
	Semiárido	me	Más seco que el anterior
Monzónico	Húmedo	MO	Ln > 0.20ETP y/o Ih > 0.88
	Seco	Mo	Ln < 0.20ETP, 0.44 < Ih < 0.88
	Semiárido	mo	Ih < 0.44
Estepario		St	Primavera no seca; latitud > 20°
Desértico (los meses con T > 15°C son secos)	Absoluto	da	Ihm < 0.25 y si tm > 15°C Ih < 0.09
	Mediterráneo	de	Lluvia invernal mayor que estival
	Monzónico	do	Julio y agosto menos secos que abril y mayo
	Isohigro	di	Ninguno de los anteriores
Isohigro semiárido		si	Muy seco para estepario y muy húmedo para desértico

Nota: Monzónico: los meses de julio- agosto y abril – mayo en el hemisferio Norte corresponden a los meses de diciembre-enero y octubre-noviembre respectivamente en el hemisferio sur. **Estepario:** el régimen no es ni húmedo ni mediterráneo, ni desértico, ni monzónico; en primavera (marzo, abril y mayo en el hemisferio norte) suma más del 50% de la ETo. **Isohigro semiárido (si):** semejante al anterior, pero la lluvia de la primavera cubre menos del 50% de la ETo. **Desértico:** la lluvia anual cubre menos del 22% de la ETo. Se divide en: **de** (desierto mediterráneo), uno o más meses del invierno no son áridos; **do** (desierto monzónico), uno o más meses no son áridos en verano; **di** (desierto isohigro), uno o más meses no son áridos en primavera y/o la lluvia cubre más del 9% de la ETo; y **da** (desierto absoluto), todos los meses son áridos, la lluvia cubre menos del 9% de la ETo

Tabla 87: Clasificación de las unidades climáticas y sus subdivisiones en función del régimen térmico e hídrico (Papadakis, 1966)

UNIDAD CLIMÁTICA	SUBUNIDAD CLIMÁTICA	REGIMEN TÉRMICO	REGIMEN HÍDRICO
TROPICAL	Ecuatorial húmedo semi-cálido	Eq	Hu, MO (Ih > 1)
	Tropical húmedo semi-cálido	Tr	Hu, MO (Ih > 1)

	Ecuatorial-tropical seco semicálido	Eq, Tr	MO, Mo (Ih<1)
	Ecuatorial-tropical cálido	EQ, TR	MO, Mo
	Ecuatorial-tropical semi- árido	EQ, Eq, TR, Tr	Mo
	Tropical fresco	tr	HU, Hu, MO, Mo
	Tierra templada húmeda	Tt, tt	HU, Hu, MO
	Tierra templada seca	Tt, tt	Mo, mo
	Tropical cálido de invierno fresco	tR	HU, Hu, MO, Mo, mo
TIERRA FRIA	Tierra fría semi-tropical	TF (invierno Ct)	HU, Hu, MO, Mo, mo
	Tierra fría baja	TF (invierno Ci, Av)	HU, Hu, MO, Mo, mo
	Tierra fría media	Tf	HU, Hu, MO, Mo, mo
	Tierra fría alta	tf	HU, Hu, MO, Mo, mo
	Andino bajo	An	HU, Hu, MO, Mo, mo
	Andino alto	an	HU, Hu, MO, Mo, mo
	Andino de taiga	aP	HU, Hu
	Andino de tundra	ap	HU, Hu, MO, Mo, mo
	Andino de desierto sub- glacial	aF	HU, Hu, MO, Mo, mo
DESERTICO	Desierto tropical cálido	EQ, TR, tR	da, de, di, do
	Desierto subtropical cálido	Ts, SU	da, de, di, do
	Desierto tropical fresco	Eq, Tr, tr	da, de, di, do
	Desierto subtropical fresco	Su, MA, Mm	da, de, di, do
	Desierto de tierras altas de bajas latitudes	Tf, tt, TF, Tf, tf, An, an	da, do
	Desierto continental	CO, Co, co, te	da, de, di, do
	Desierto pampeano	PA, TE	da, de, di, do

	Desierto patagoniano	Pa, pa	da, de, di, do
SUBTROPICAL	Subtropical húmedo	SU, Su	HU, Hu
	Subtropical monzónico	SU, Su	MO, Mo, mo (con primavera seca)
	Semi-tropical cálido	Ts (verano G)	
	Semi-tropical semi-cálido	Ts (verano g)	HU, Hu, MO, Mo, mo
	Subtropical semi-mediterráneo	SU, Su	MO, Mo (no seca la primavera)
PAMPEANO	Pampeano típico	PA	St
	Pampeano de tierras altas	Pa	St
	Pampeano subtropical	SU, su	St
	Pampeano marítimo	TE, MA, Mm, Ma	St
	Peri-pampeano monzónico	PA	Mo, mo
	Peri-pampeano semiárido	PA, TE, SU, Su	si
	Pradera patagoniana	Pa, pa, ma	St
	Patagoniano semi-árido	Pa, pa, Ma, TE	mo, si, me
MEDITERRANEO	Mediterráneo subtropical	SU, Su	ME, Me
	Mediterráneo marítimo	MA, Mm	ME, Me
	Mediterráneo marítimo fresco	Ma	ME
	Mediterráneo tropical	tr	ME, Me
	Mediterráneo templado	TE	ME, Me
	Mediterráneo templado fresco	Te, te, Po, Pa, pa	ME, Me
	Mediterráneo continental	CO, Co, co	ME, Me
	Mediterráneo semiárido subtropical	SU, Su, Tr, tr, MA	me
	Mediterráneo semiárido	CO, Co, co, TE,	me

	continental	Te, te	
MARITIMO	Marítimo cálido	MA, Mm	HU, Hu
	Marítimo fresco	Ma	HU, Hu
	Marítimo frío	ma	HU, Hu
	Marítimo polar	mp, mF	HU, Hu
	Templado cálido	TE	HU, Hu
	Templado fresco	Te	HU, Hu
	Templado frío	te	HU, Hu
	Patagoniano húmedo	Pa, pa	Hu, Hu
CONTINENTAL HUMEDO	Continental cálido	CO	HU, Hu, Mo
	Continental semi-cálido	Co	HU, Hu, MO
	Continental frío	co	HU, Hu, MO
ESTEPARIO	Estepario cálido	CO	St
	Estepario semi-cálido	Co	St
	Estepario frío	co	St
	Estepario templado	te, Te	St
	Estepario polar	Po (invierno Pr)	St
	Continental semi-árido	CO, Co, co, te, Po	si
	Continental monzónico seco	CO, Co, co	Mo, mo
POLAR	Taiga	Po	HU, Hu, MO, Mo, St (con invierno pr)
	Tundra	po	cualquiera
	Desierto sub-glacial	Fr	cualquiera
	Hielo permanente	fr	cualquiera
	Alpino	Al, al	cualquiera

V. Clasificación climática de Thornthwaite

Tabla 88: Clasificación del tipo climático según el índice de humedad (Im) (Thornthwaite, 1948)

TIPO	DESCRIPCION	CONDICION
E	Árido	$-40 \geq Im > -60$
D	Semiárido	$-20 \geq Im > -40$
C ₁	Seco subhúmedo	$0 \geq Im > -20$
C ₂	Subhúmedo	$20 \geq Im > 0$
B ₁	Húmedo	$40 \geq Im > 20$
B ₂		$60 \geq Im > 40$
B ₃		$80 \geq Im > 60$
B ₄		$100 \geq Im > 80$
A	Perhúmedo	$Im > 100$

Tabla 89: Clasificación del tipo climático según el índice de aridez (Ia) e índice hídrico (Ih) (Thornthwaite, 1948)

	DESCRIPCION	CONDICION
Sólo para los tipos de humedad A, B, C ₂ (perhúmedo, húmedo y subhúmedo)		
r	Falta de agua pequeña o nula	$16,7 > Ia \geq 0$
s	Falta de agua estival moderada	$33,3 > Ia \geq 16,7$ Falta estival
w	Falta de agua invernal moderada	$33,3 > Ia \geq 16,7$ Falta invernal
s ₂	Falta de agua estival grande	$Ia > 33,3$ Falta estival
w ₂	Falta de agua invernal grande	$Ia > 33,3$ Falta invernal
Sólo para los tipos climáticos en función de la humedad C ₁ , D, E (Seco subhúmedo, semiárido y árido)		
d	Exceso de agua pequeño o nulo	$10 > Ih \geq 0$
s	Exceso de agua invernal moderado	$20 > Ih \geq 10$ Exceso invernal
w	Exceso de agua estival moderado	$20 > Ih \geq 10$ Exceso estival
s ₂	Exceso de agua invernal grande	$Ih \geq 20$ Exceso invernal
w ₂	Exceso de agua estival grande	$Ih \geq 20$ Exceso estival

Tabla 90: Clasificación del tipo climático según la evapotranspiración potencial (ETP) (Thornthwaite, 1948)

TIPO	DESCRIPCION	CONDICION
E'	Helada permanente	$142 \geq \text{ETP}$
D'	Tundra	$285 \geq \text{ETP} > 142$
C' ₁	Microtérnico	$427 \geq \text{ETP} > 285$
C' ₂		$570 \geq \text{ETP} > 427$
B' ₁	Mesotérnico	$712 \geq \text{ETP} > 570$
B' ₂		$855 \geq \text{ETP} > 712$
B' ₃		$997 \geq \text{ETP} > 855$
B' ₄		$1140 \geq \text{ETP} > 997$
A'	Megatérnico	$\text{ETP} > 1140$

Tabla 91: Clasificación del tipo climático según la concentración estival de la eficacia térmica (ETP_{v%}) (Thornthwaite, 1948)

TIPO	CONDICION
a'	$48,0 > \text{ETP}_{v\%}$
b' ₄	$51,9 > \text{ETP}_{v\%} \geq 48,0$
b' ₃	$56,3 > \text{ETP}_{v\%} \geq 51,9$
b' ₂	$61,6 > \text{ETP}_{v\%} \geq 56,3$
b' ₁	$68,0 > \text{ETP}_{v\%} \geq 61,6$
c' ₂	$76,3 > \text{ETP}_{v\%} \geq 68,0$
c' ₁	$88,0 > \text{ETP}_{v\%} \geq 76,3$
d'	$\text{ETP}_{v\%} \geq 88,0$