

# Programa Desarrollo de Nuevas Áreas Bajo Riego

## Proyecto NEGRO MUERTO

### Perfil de Proyecto Componente Riego

## PROVINCIA DE RIO NEGRO



### AUTORES

**J.A. Morábito, L. Martin, L. Sponton, A. Mariani, R. Hernández**



## INDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>II. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>4</b>
A. Área de estudio .....	4
B. Periodo libre de heladas .....	5
C. Clasificación Climática.....	5
D. Determinación de la Evapotranspiración .....	7
E. Disponibilidad hídrica de la cuenca .....	8
<b>III. RESULTADOS.....</b>	<b>10</b>
F. Datos meteorológicos.....	10
G. Periodo libre de heladas .....	18
H. Clasificación climática de Papadakis .....	20
I. Clasificación climática de Thornthwaite.....	22
J. Determinación de ETo.....	24
K. Determinación de la precipitación efectiva .....	29
L. Cultivos y parámetros necesarios para el cálculo de las necesidades de riego .....	31
M. Evapotranspiración de los cultivos.....	32
N. Modelo de cultivos .....	34
O. Necesidades de riego de los cultivos.....	37
P. Eficiencias de los sistemas de riego.....	41
Q. Requerimiento bruto de riego a nivel de bocatomas en propiedad, en canal secundario y en canal primario (cabecera del sistema) .....	56
R. Dotaciones de riego (caudal ficticio continuo) .....	56
S. Disponibilidad hídrica de la cuenca .....	57
<b>IV. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>61</b>
<b>V. ANEXOS .....</b>	<b>62</b>

## 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 “Negro Muerto” en la provincia de Río Negro y determinar la dotación de riego que se usará en el diseño de la red de riego, ya sean canales o tuberías.

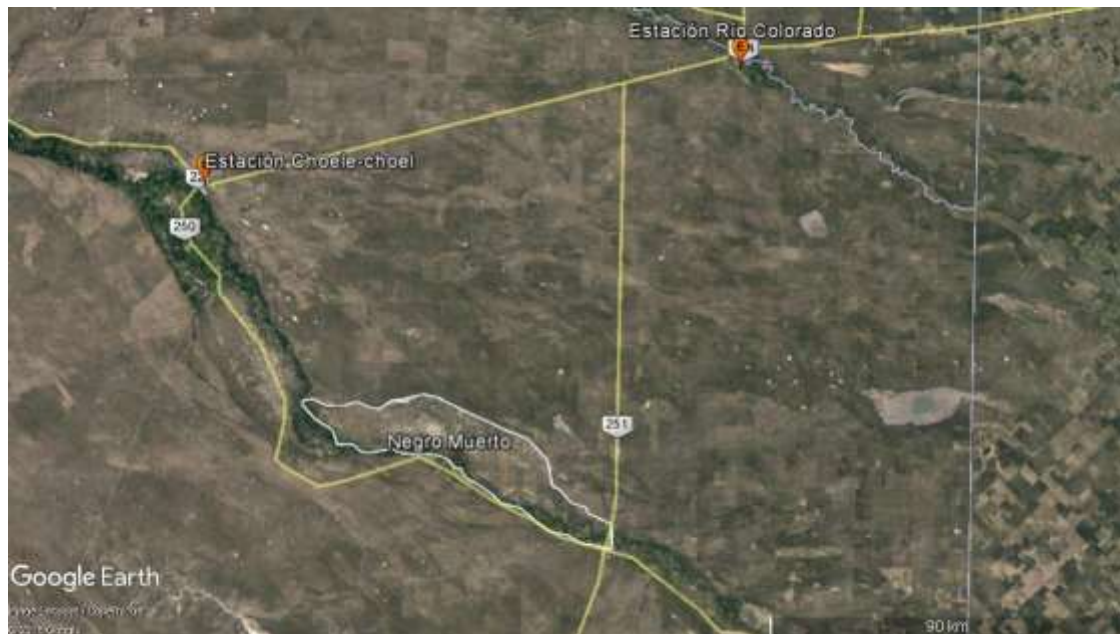
## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Área de estudio

A los fines de proceder a la determinación de las necesidades de riego resulta necesario seleccionar estaciones meteorológicas que sean representativas del lugar y que provean 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: Características principales de las estaciones meteorológicas Choele Choel y Río Colorado en el proyecto Negro muerto, Río Negro**

Estación del SMN	Número de identificación	Coordenadas		Altitud	Periodo de la serie analizada
		Latitud	Longitud		
Choele Choel	87733	39 17 S	65 39 W	131 m	1958-1969
Río Colorado	87736	39 01 S	64 05 W	79 m	1996-2016



**Figura 1: Ubicación de las estaciones meteorológicas Choele Choel y Río Colorado, y del proyecto Negro muerto en la provincia de Río Negro**

## 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 periodos 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 Choele Choel y Rio Colorado (SMN). Se realizó el cálculo del inicio y finalización del periodo de heladas por interpolación lineal, suponiendo que las temperaturas medias mínimas se producen el día 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 (Choele Choel y Rio Colorado).

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 Choele Choele y Rio Colorado, 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.

## 2. Thornthwaite

La clasificación climática de Thornthwaite (1948) se basa 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 50 mm acumulados, lo que realmente puede evaporar son 50 mm 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.

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

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

- 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 (Ia) =  $\frac{100 \times \text{deficiencia de agua (anual)}}{\text{necesidad de agua (anual)}}$

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

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

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

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

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:
- $\lambda ET$ : 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 ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ )
  - $\rho_a$ : Densidad media del aire a presión constante ( $\text{kg m}^{-3}$ )
  - $c_p$ : Calor específico del aire ( $\text{MJ kg}^{-1} \text{ °C}^{-1}$ )
  - $e_s - e_a$ : Déficit de presión de vapor del aire (kPa)
  - $\Delta$ : Pendiente de la curva que relaciona la temperatura con la presión de vapor a saturación ( $\text{kPa °C}^{-1}$ )
  - $\gamma$ : Constante psicrométrica ( $\text{kPa °C}^{-1}$ )
  - $r_a$ : Resistencia aerodinámica ( $\text{s m}^{-1}$ )
  - $r_s$ : Resistencia superficial ( $\text{s m}^{-1}$ )

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 (ETo) por el método FAO Penman – Monteith, que es la siguiente (Allen et al., 1998):

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

donde:

- ET<sub>o</sub>: Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm día<sup>-1</sup>)
- R<sub>n</sub>: Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)
- G: densidad del flujo de calor del suelo (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)
- γ: Constante psicrométrica (s m<sup>-1</sup>)
- T: Temperatura diaria media del aire a 2 m de altura (°C)
- μ<sub>2</sub>: Velocidad del viento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>)
- e<sub>s</sub>: Presión de vapor a saturación (kPa)
- e<sub>a</sub>: Presión de vapor actual (kPa)
- e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>: Déficit de presión de saturación (kPa)
- Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>)

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 ET<sub>o</sub> para esa localidad.

Se llama Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>o</sub>) (Allen et al., 1998), 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<sup>-1</sup> 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 ET<sub>o</sub> son los parámetros climáticos, por lo tanto, esta última es también un parámetro climático y puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. ET<sub>o</sub> 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):

Choele Choele y Rio Colorado. 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 auxilio del modelo (Smith et al, 1998) 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 ET<sub>o</sub> 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 ET<sub>o</sub> (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 ET<sub>o</sub> 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 ET<sub>o</sub> para diferentes probabilidades de ocurrencia se calculó con el CROPWAT la evapotranspiración máxima mensual (ET<sub>c</sub>) de cada cultivo para las probabilidades de 50% y 75%.

Para transformar los datos de evapotranspiración del cultivo de referencia, ET<sub>o</sub>, en la evapotranspiración de un determinado cultivo, se debe conocer el valor del coeficiente del cultivo (K<sub>c</sub>). Esto permite calcular ET<sub>c</sub>, 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  $K_c$ . Los valores de  $K_c$  utilizados en el presente trabajo fueron obtenidos de FAO (Allen et al, 2006).

Para transformar las láminas determinadas mediante el cálculo de  $ET_c$  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  $ET_c$  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 Negro 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 Negro, a la altura del proyecto Negro Muerto, 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 Choele Choel

La siguiente tabla presenta los datos estadísticos de dicha estación para la serie de años 1958 – 1969.

Tabla 2: Parámetros meteorológicos relevantes de la estación Choele Choel\* (SMN, 1970)

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Nº de años (1958 - 1969)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
Temp. máxima absoluta (°C)	41	41	42	34	29	26	25	27	32	37	40	41	35
Temp. máxima media (°C)	33	31	28	22	18	14	14	17	19	24	28	30	23
Temp. media (°C)	24	22	20	15	12	8	8	10	12	16	20	22	16
Temp. mínima media (°C)	16	14	12	8	5	2	3	3	5	8	12	14	8
Temp. mínima absoluta (°C)	3	3	-2	-5	-7	-13	-8	-8	-6	-5	2	6	-3
Velocidad viento media (km/h) a 10 m	17	15	14	11	11	11	11	14	15	17	16	18	14
Humedad relativa media (%)	37	42	47	56	60	64	65	54	51	48	45	42	51
Heliofanía relativa media (%)	64	66	68	58	50	46	44	49	48	53	55	58	55
Nubosidad media (octavos)	3	3	3	3	4	4	5	4	4	4	4	3	4
Precipitación media (mm)	17	29	35	37	23	27	25	11	18	54	39	37	29

\*Nota: datos suministrados por el SMN (1970).

Como puede verse la temperatura máxima absoluta en dicho periodo ha alcanzado un valor de 42,0 °C, la mínima absoluta un valor de -12,8 °C y la temperatura media anual es de 15,8 °C con extremos de 24,2 °C en enero y 8,3 °C en los meses de junio y julio. La velocidad del viento a 10 m de altura de medición varía entre 11,0 (abril, mayo, junio y julio) y 18,0 km/h (diciembre), siendo el valor medio anual de 14,2 km/h. Si se analiza la humedad relativa la zona presenta un valor medio anual de 50,9 % con valores extremos de 65,0% en julio y de 37,0% en enero. En lo que respecta a la heliofanía relativa media el área tiene un valor medio anual de 54,7% con extremos medios anuales de 67,5% (marzo) y de 43,8% en julio. La precipitación media anual es de 353 mm. Con esta información se elaboraron las siguientes figuras:

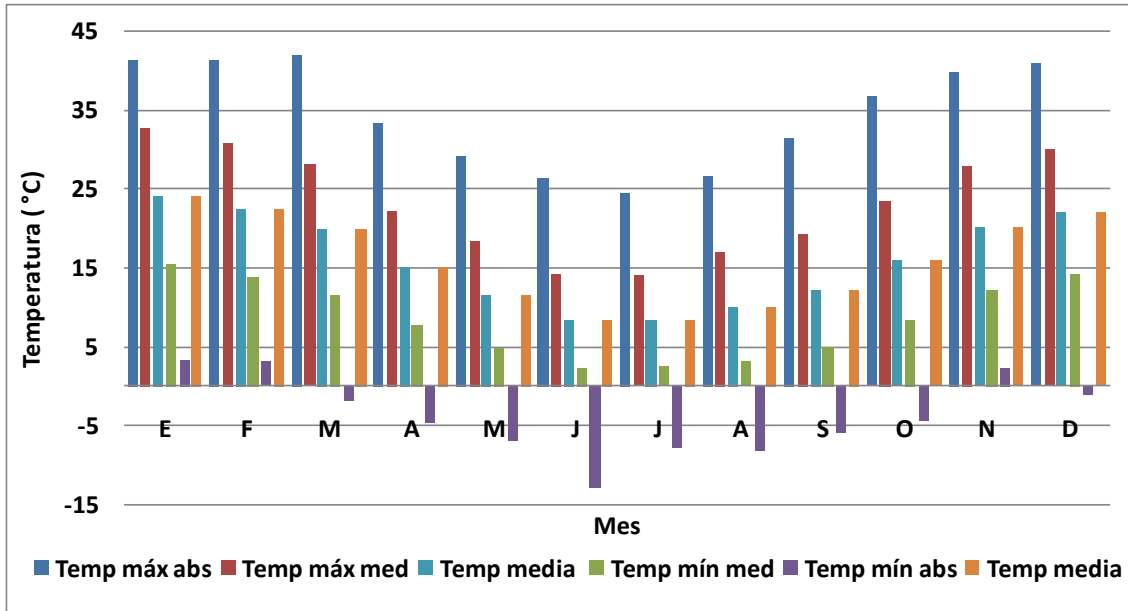


Figura 2: Temperaturas máximas absolutas, máximas medias, media, mínimas medias y mínimas absolutas en la estación Choele Choel (1958 - 1969)

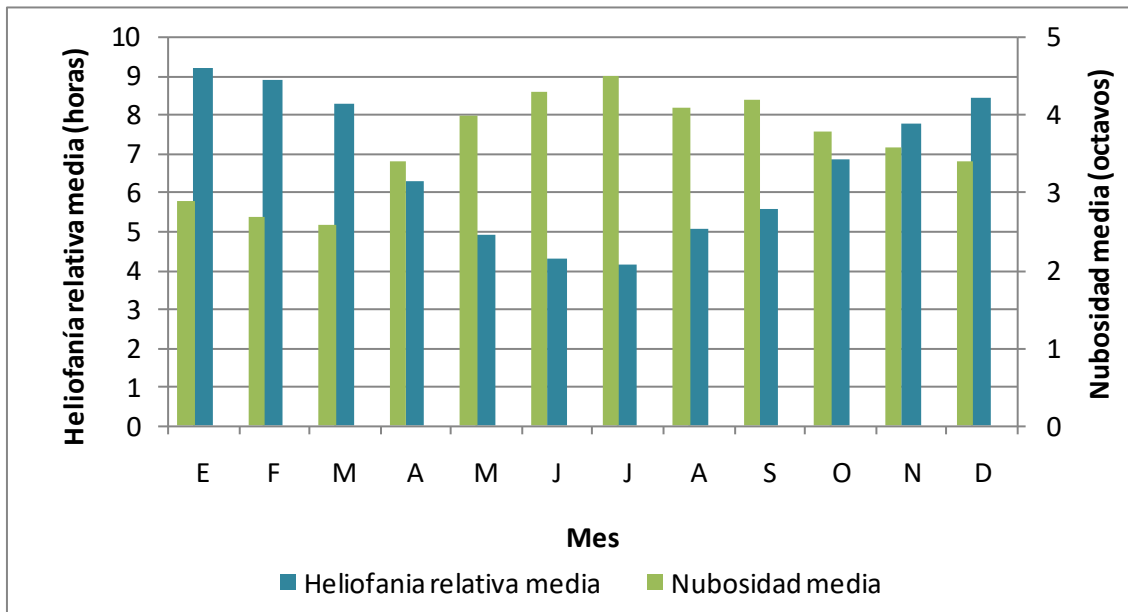
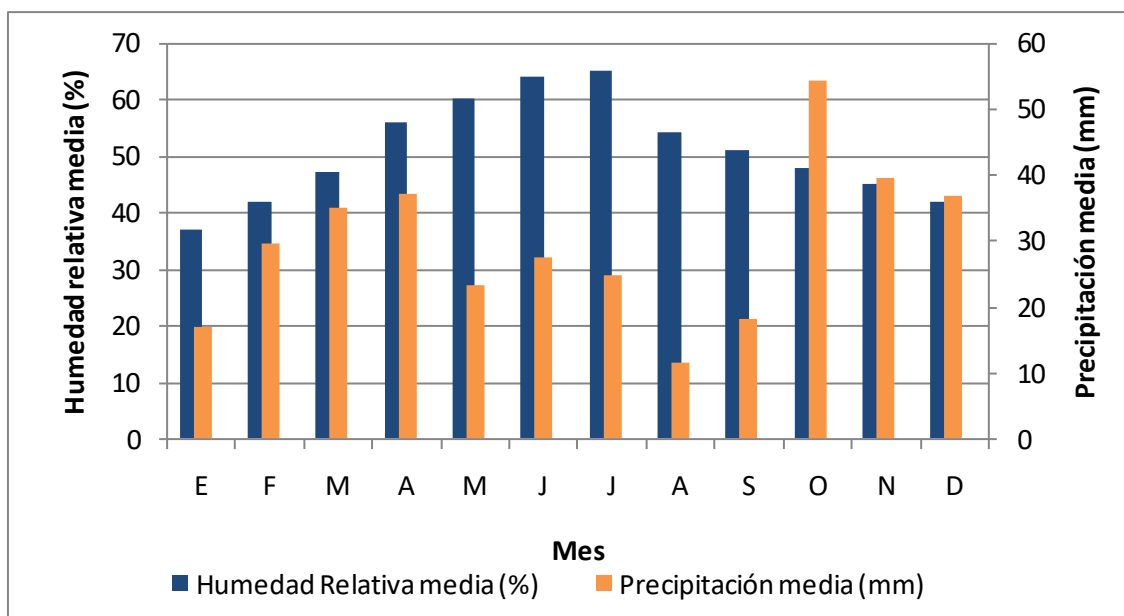


Figura 3: Heliofanía relativa media y nubosidad media en la estación Choele Choel (1958 - 1969)



**Figura 4: Humedad relativa media y precipitación media en la estación Choele Choe (1958 - 1969)**

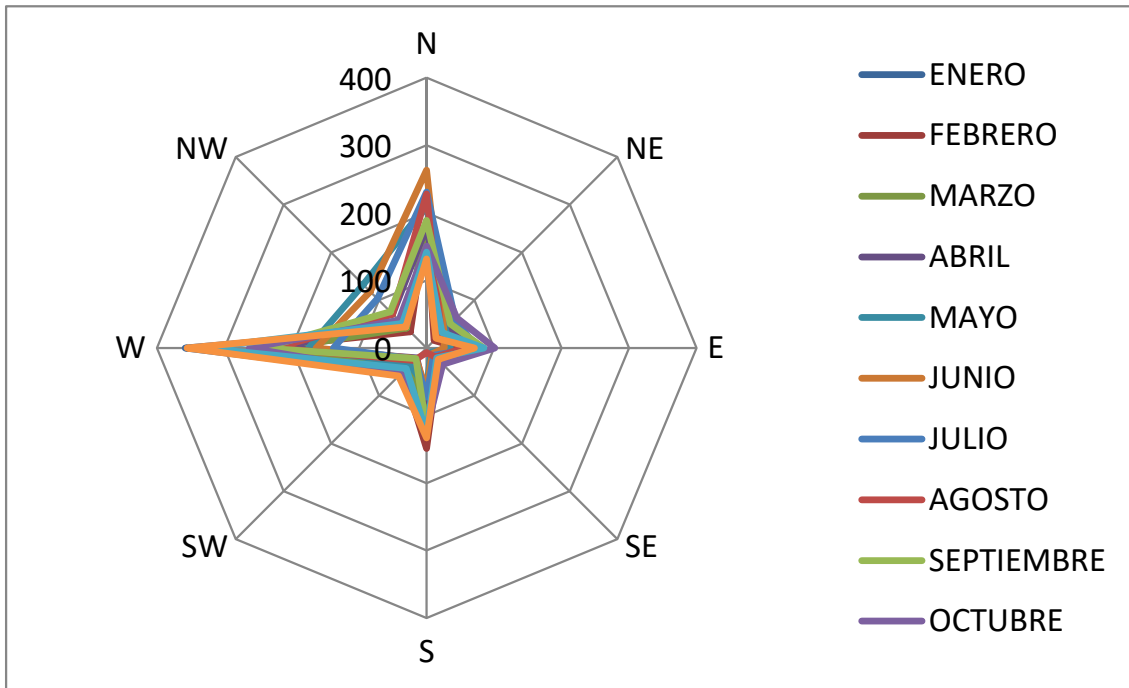
La Tabla 3 y Figura 5 sintetizan la información referida a la frecuencia de dirección de vientos.

**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 la estación Choele Choe**

Dirección/mes *	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	163	186	189	179	211	263	231	228	189	151	142	132
NE	28	16	49	42	39	36	60	31	50	63	32	20
E	63	50	76	72	35	26	75	55	85	101	85	71
SE	12	25	24	26	9	12	15	19	28	34	21	24
S	113	149	110	78	60	63	73	7	121	121	126	133
SW	55	50	37	21	35	22	24	26	22	54	43	59
W	358	252	214	208	175	164	138	223	242	263	332	355
NW	40	34	42	71	133	118	103	71	76	58	51	44

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

La mayor parte del tiempo el viento sopla del cuadrante Oeste (W).



**Figura 5: Frecuencia de direcciones de vientos (escala de 1000) en la estación Choele Choele (SMN, 1971)**

La Tabla y Figura 6 tabla 3 presentan la información relativa a la velocidad del viento.

**Tabla 4: 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) en la estación Choele Choele\* (SMN, 1971)**

Dirección/mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	26	24	20	17	15	17	15	19	19	22	24	26
NE	20	24	22	22	19	20	22	24	26	26	24	28
E	22	20	15	17	13	15	17	17	19	20	22	20
SE	19	22	19	15	19	13	13	11	19	17	22	19
S	19	17	15	13	15	15	15	15	17	17	17	17
SW	19	17	17	15	17	19	15	19	13	17	19	20
W	19	17	19	17	19	17	17	22	19	20	17	20
NW	19	17	15	11	13	11	13	13	15	15	19	22

Se observa que los vientos más fuertes son del noreste (NE).

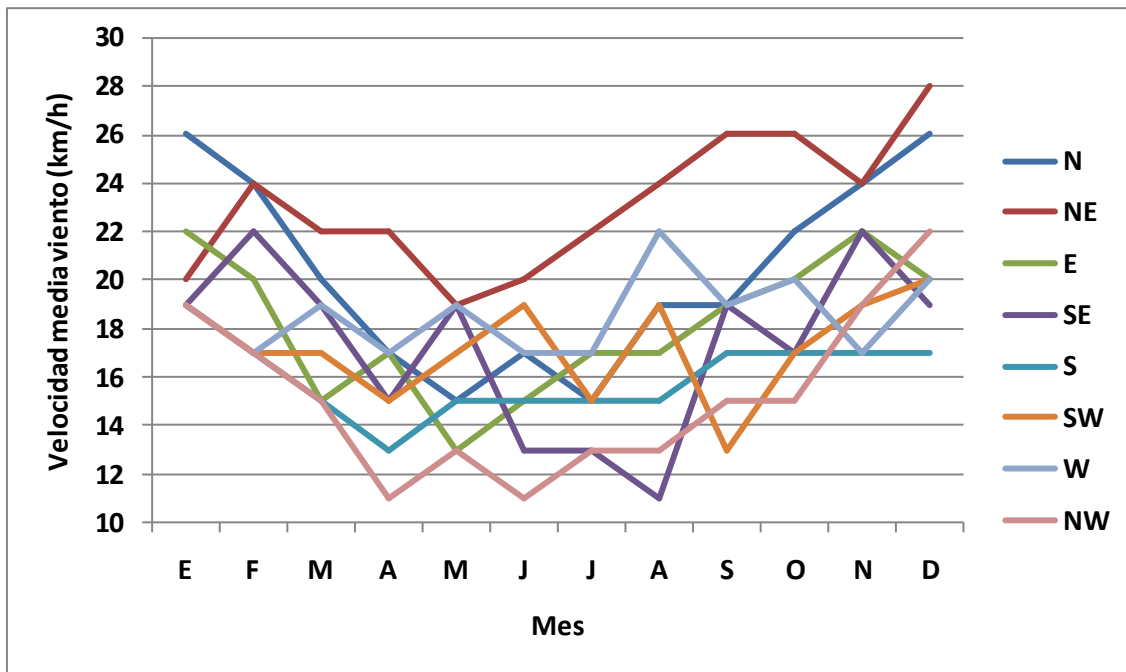


Figura 6: Velocidad media de vientos en la estación Choele Choele\* (SMN, 1971)

#### 4. Estación Río Colorado

La siguiente tabla presenta los datos meteorológicos de dicha estación para la serie de años 1996-2016.

Tabla 5: Parámetros meteorológicos relevantes de la estación Río Colorado (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	21
Temp. máxima absoluta (°C)	43	38	37	33	30	23	26	31	30	35	38	42	34
Temp. máxima media (°C)	33	30	27	22	17	14	14	17	20	24	27	31	23
Temp. media (°C)	25	23	20	15	11	9	8	11	12	15	21	25	16
Temp. mínima media (°C)	17	16	13	9	6	4	4	5	6	10	13	15	10
Temp. mínima absoluta (°C)	7	7	1	-2	-6	-8	-6	-8	-3	-1	1	1	-1
Velocidad viento media (km/h) a 10 m <sup>(1)</sup>	17	14	14	13	14	13	12	14	15	16	15	16	14
Humedad relativa media (%) <sup>(1)</sup>	43	51	56	63	68	71	73	61	58	55	52	47	58
Heliofanía relativa media (horas)	11	9	8	7	5	4	5	6	7	8	10	11	8
Nubosidad media (octavos) <sup>(1)</sup>	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	4
Precipitación media (mm)	51	60	49	47	28	18	15	23	41	56	43	44	40

<sup>(1)</sup> Valores obtenidos del periodo 1961-1970 (SMN, 1971)

Como puede verse la temperatura máxima absoluta en dicho periodo ha alcanzado un valor de 42,5 °C, la mínima absoluta un valor de -7,8 °C y la temperatura media anual es de 16,2 °C con extremos de 24,7 °C en enero y 8,3 °C en el mes de julio. La velocidad del viento a 10 m de altura de medición varía entre 12,0 (julio) y 17,0 km/h (enero), siendo el valor medio anual de 14,4 km/h. Si se analiza la humedad relativa la zona presenta un valor medio anual de 58,2 % con valores extremos de 73,0% en julio y de 43,0% en enero. En lo que respecta a la heliofanía relativa media el área tiene un valor medio anual de 7,5 horas/día y la lluvia media anual es de 476 mm. Con esta información se elaboraron las siguientes figuras:

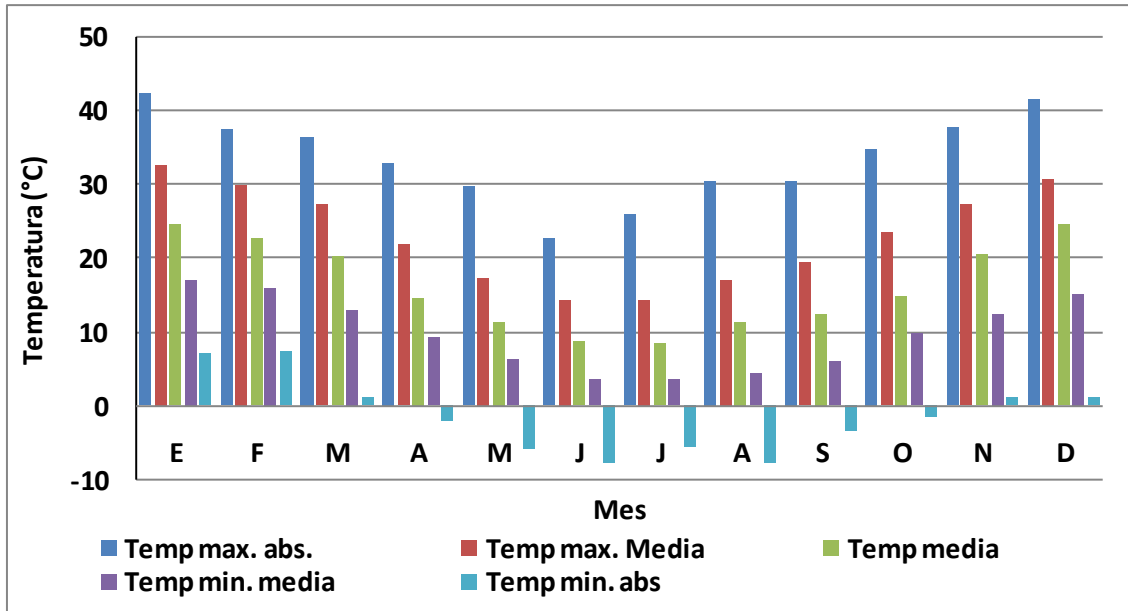


Figura 7: Temperaturas máximas absolutas, máximas medias, medias, mínimas medias y mínimas absolutas de la estación Río Colorado (1996-2016)

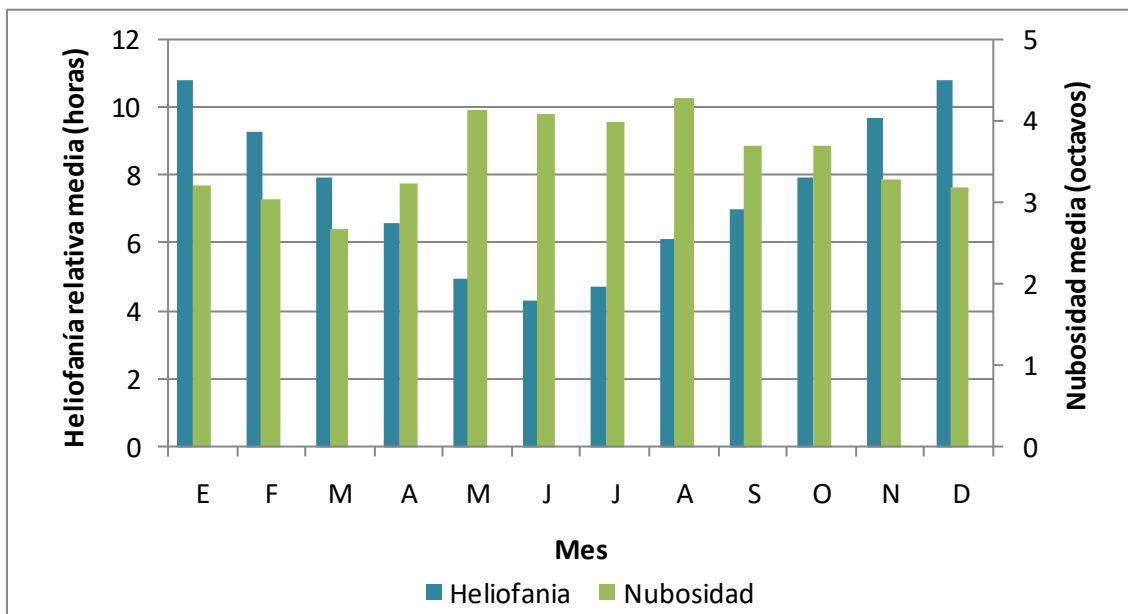
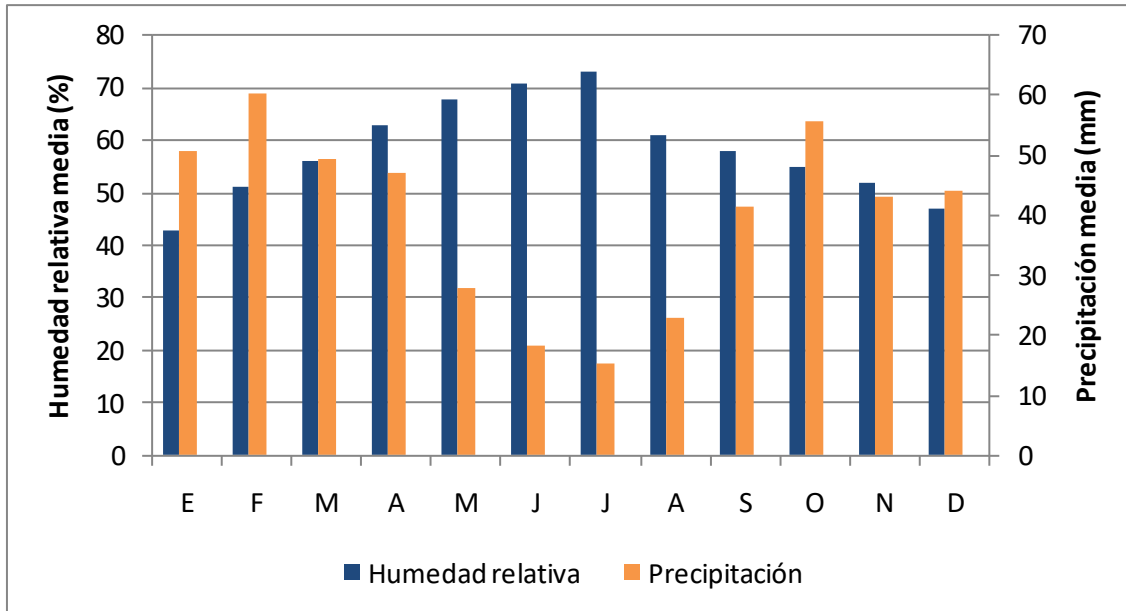


Figura 8: Heliofanía relativa media y nubosidad media de la estación Río Colorado (1996-2016)



**Figura 9: Humedad relativa media (SMN, 1971) y precipitación media de la estación Río Colorado (SMN, 2016)**

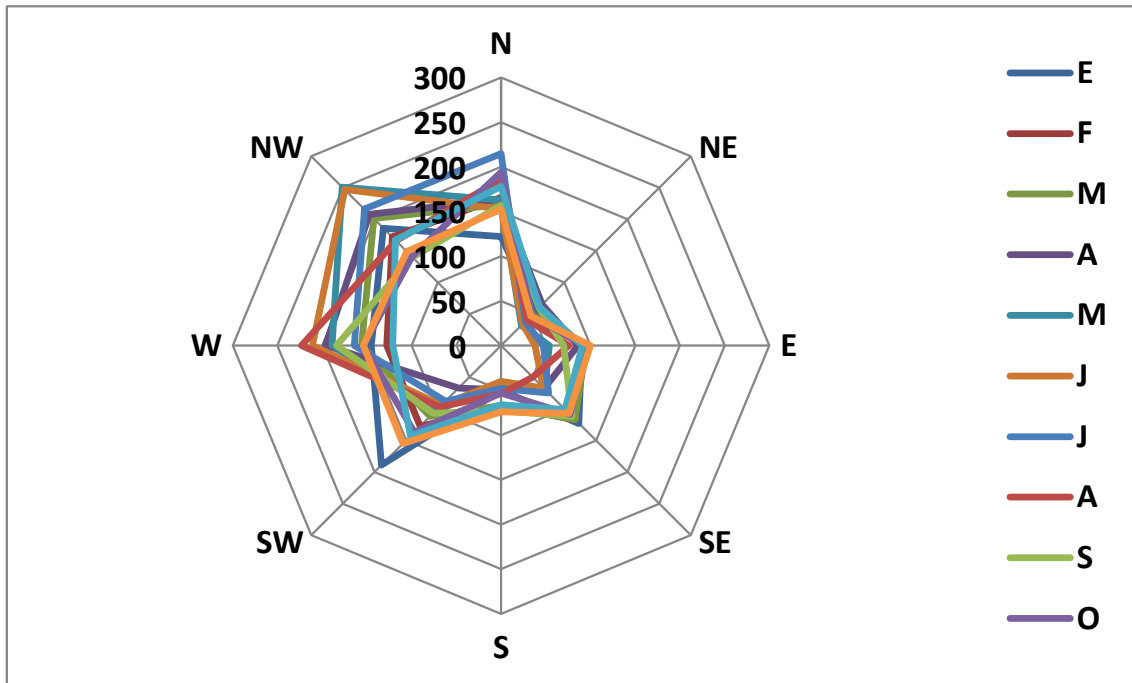
La Tabla 6 y Figura 10 sintetizan la información referida a la frecuencia de dirección de vientos.

**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 Río Colorado**

Frecuencia\mes*	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	122	166	158	164	163	153	215	186	157	194	178	153
NE	55	45	49	65	32	34	38	41	60	48	61	47
E	90	95	95	86	54	38	47	76	70	93	91	100
SE	123	117	117	68	69	67	75	50	112	109	101	107
S	50	67	67	49	41	40	48	54	73	53	66	74
SW	189	128	112	67	105	94	88	97	107	137	143	155
W	145	128	156	196	189	211	164	223	184	154	121	154
NW	186	172	201	208	251	247	216	166	140	141	167	149

\*Nota: datos obtenidos de las estadísticas climáticas del SMN, 2016.

La mayor parte del tiempo el viento sopla del cuadrante Noroeste (NW) y Oeste (W).



**Figura 10: Frecuencia de direcciones de vientos (escala de 1000) de la estación Río Colorado**

La Tabla 7 y Figura 11 contienen la información referida a la velocidad media de los vientos.

**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 Río Colorado (SMN, 1971)**

Velocidad del viento/mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	17	15	15	17	19	19	15	19	20	19	17	15
NE	17	11	13	13	11	11	9	11	13	13	15	13
E	15	13	9	11	11	7	7	9	13	15	15	11
SE	17	13	13	13	11	15	11	13	15	17	15	15
S	15	15	13	17	13	17	13	17	15	17	15	17
SW	22	19	19	20	24	22	19	22	20	22	20	24
W	17	13	15	13	13	13	11	15	17	19	17	17
NW	17	15	13	13	15	13	15	15	15	15	15	19

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



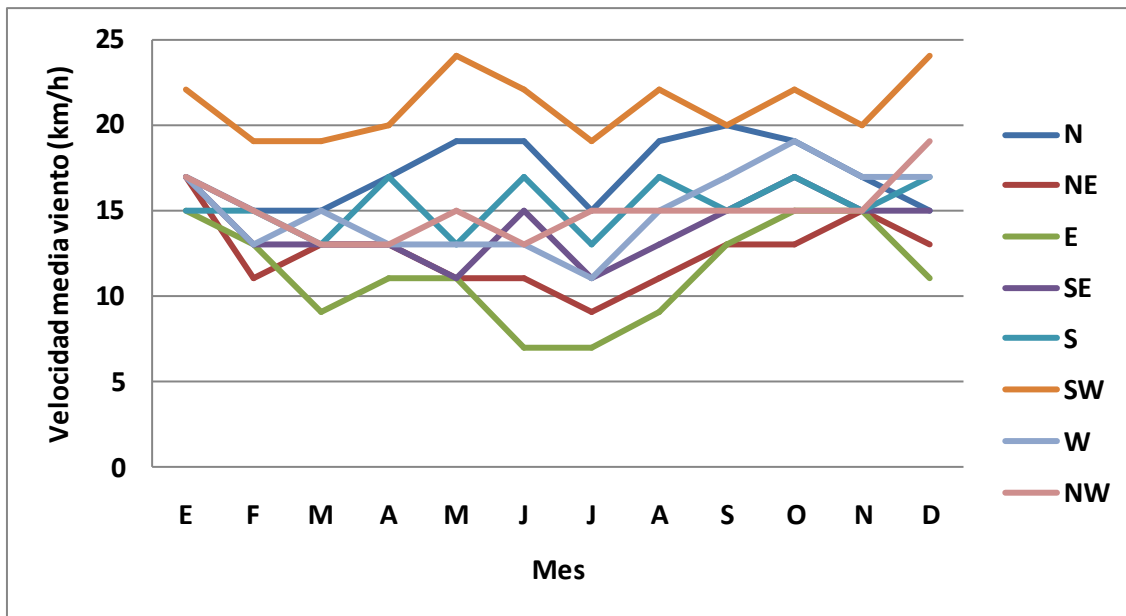


Figura 11: Velocidad media de vientos (km/h) en la estación Río Colorado (SMN, 1971)

**G. Periodo libre de heladas**

**5. Estación Choele Choel**

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 Choele Choel (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 junio y agosto, 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 Choele Choel (1958-69, SMN), Río Negro (Emberger, 1955)**

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Temperatura media mínima (°C)</b>	16	14	12	8	5	2	3	3	5	8	12	14
T < 0°C												
0°C < T < 3°C												
3°C < T < 7°C												

En la Tabla 9 se observa que la duración del periodo con riesgo de heladas, considerando intervalos de temperatura media mínima de 0 a 3°C y de 0°C a 7°C es de 61 y 164 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 304 y 201 días respectivamente.

**Tabla 9: Regímenes de heladas en la estación Choele Choel (1958-69, SMN), Río Negro (Emberger, 1955)**

Periodo de heladas					Periodo libre de heladas (días)
Temperatura media mínima (°C)	Clasificación	Fecha inicio heladas	Fecha fin heladas	Duración (días)	
T < 0°C	Seguro	-	-	-	-

$0^{\circ}\text{C} < T < 3^{\circ}\text{C}$	Muy probable	06-jun	06-ago	61	304
$0^{\circ}\text{C} < T < 7^{\circ}\text{C}$	Muy probable y probable	22-abr	03-oct	164	201

## 6. Estación Río Colorado

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 Río Negro (Tabla 10). Se observa que no se registraron valores de temperatura media mínima por debajo de  $0^{\circ}\text{C}$  ni valores entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $3^{\circ}\text{C}$  en cada mes de la serie analizada. Sin embargo, se deduce un periodo de heladas “muy probable y probable” ( $3^{\circ}\text{C} < T < 7^{\circ}\text{C}$ ) entre los meses de mayo y setiembre.

**Tabla 10: Temperaturas medias mínimas mensuales y periodos de heladas en la estación Río Colorado (1996-2016, SMN), Río Negro (Emberger, 1955)**

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Temperatura media mínima (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	17	16	13	9	6	4	4	5	6	10	13	15
$T < 0^{\circ}\text{C}$												
$0^{\circ}\text{C} < T < 3^{\circ}\text{C}$												
$3^{\circ}\text{C} < T < 7^{\circ}\text{C}$												

En la Tabla 11 se observa que la duración del periodo con riesgo de heladas, considerando intervalos de temperatura media mínima de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $7^{\circ}\text{C}$  es de 138 días. El periodo libre de heladas para el mismo rango de temperaturas es de 227 días.

**Tabla 11: Regímenes de heladas en la estación Río Colorado (1996-2016, SMN), Río Negro (Emberger, 1955)**

Periodo de heladas					Periodo libre de heladas (días)
Temperatura media mínima ( $^{\circ}\text{C}$ )	Clasificación	Fecha inicio heladas	Fecha fin heladas	Duración (días)	
$T < 0^{\circ}\text{C}$	Seguro	-	-	-	-
$0^{\circ}\text{C} < T < 3^{\circ}\text{C}$	Muy probable	-	-	-	-
$0^{\circ}\text{C} < T < 7^{\circ}\text{C}$	Muy probable y probable	08-may	23-sep	138	227

## 7. Promedio de valores entre ambas estaciones

En 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 Negro muerto una duración promedio del periodo libre de heladas de 214 días (7,1 meses). Las fechas promedios de inicio y finalización de heladas con riesgo para los cultivos son el 30 de abril y el 28 de setiembre (151 días).

**Tabla 12: Duración del periodo con y sin heladas (por estación y promedio de valores entre Choele Choel y Rio Colorado) en el proyecto Negro Muerto, Rio Negro**

		<b>Choele Choel</b>	<b>Rio Colorado</b>	<b>Promedio entre ambas estaciones</b>
<b>Periodo con heladas</b>	<b>Inicio</b>	22-abr	08-may	30-abr
	<b>Fin</b>	03-oct	23-sep	28-sep
	<b>días</b>	164	138	151
<b>Periodo libre de heladas</b>	<b>días</b>	201	227	214
	<b>meses</b>	6,7	7,6	7,1

#### 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 en las estaciones Choele Choel y Rio Colorado.

**Tabla 13: Datos meteorológicos de Choele Choel (1958 – 1969, SMN) y Rio Colorado (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 ( $T_1$ )**

<b>Estación meteorológica / Mes más frío del año</b>	<b><math>t'a_1</math> (°C)</b>	<b><math>t_1</math> (°C)</b>	<b><math>T_1</math> (°C)</b>
Choele Choel (junio)	-12.8	2.3	14.3
Rio Colorado (Julio)	-5.6	3.5	14.3

Los datos del SMN presentan un solo valor de la temperatura mínima absoluta de junio en Choele Choel y de Julio en Rio Colorado 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 Choele Choel (-12.8 °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 junio en Choele Choel y el mes de Julio en Rio Colorado, la temperatura media de mínima absoluta se encuentran entre -10°C y -2.5°C, la temperatura media de mínimas es > -4°C y la temperatura media de máximas es >10°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 Tabla 14 se muestran los datos de temperatura de los meses más cálidos necesarios para clasificar el tipo de verano en ambas estaciones meteorológicas. El mes más cálido para Choele Choel y Rio Colorado es 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 Choele Choel (1958-69, SMN) y Rio Colorado (1996-2016, SMN)

	Meses más cálidos	Temperatura media máxima (°C)	$1/n \sum i$ (°C) n= 6 meses	$1/n \sum i$ (°C) n= 4 meses	$T_{12}$ (°C) Enero	$t_{12}$ (°C)
<b>Choele Choel</b>	Ene	32.7	28.9	30.45	32.7	15.6
	Feb	30.9				
	Dic	30				
	Mar	28.2				
	Nov	27.9				
	Oct	23.6				
<b>Rio Colorado</b>	Ene	32.7	28.6	30.2	32.7	17
	Dic	30.8				
	Feb	30				
	Nov	27.3				
	Mar	27.2				
	Oct	23.6				

Según la clasificación, corresponde al **tipo de verano “Maíz” (M)**, debido a que la estación libre de heladas es > 4.5 meses y la temperatura media de la media de máximas de los 6 meses más cálidos es > 25°C en ambas estaciones (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

A continuación, se muestran los datos meteorológicos de la estación Choele Choel (Tabla 15) y Rio Colorado (Tabla 16) necesarios para la clasificación del régimen hídrico.

**Tabla 15: Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) 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 Choele Choel (1961-70, SMN)**

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Días</b>	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
<b>ET<sub>o</sub> diaria (mm.día<sup>-1</sup>)</b>	8	7	5	3	2	1	1	3	3	5	6	7
<b>ET<sub>o</sub> mensual (mm.mes<sup>-1</sup>)</b>	246	185	161	91	63	43	44	76	101	151	184	223
<b>25% ET<sub>o</sub> (mm.mes<sup>-1</sup>)</b>	62	46	40	23	16	11	11	19	25	38	46	56
<b>50% ET<sub>o</sub> (mm.mes<sup>-1</sup>)</b>	-	-	-	45	31	22	22	-	-	75	-	-
<b>Precipitación media (mm)</b>	17	17	16	38	24	12	20	13	23	57	41	33

<b>Temperatura media (°C)</b>	24	22	20	15	12	8	8	10	12	16	20	22
<b>Ln</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Ih</b>	0.2											
<b>Clasificación del mes (A= árido, S=seco)</b>	A	A	A	S	S	S	S	A	A	S	A	A

**Tabla 16: Evapotranspiración de referencia (ETo) media diaria y mensual (mm), precipitación media mensual (mm), índice de humedad y clasificación del mes desde el punto de vista hídrico en la estación Rio Colorado (1996-2016, SMN)**

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Días</b>	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
<b>ETo diaria (mm.día<sup>-1</sup>)</b>	8	7	5	3	2	2	2	3	4	5	6	8
<b>ETo mensual (mm.mes<sup>-1</sup>)</b>	239	187	156	96	69	48	46	80	105	150	191	244
<b>25% ETo (mm.mes<sup>-1</sup>)</b>	60	47	39	24	17	12	11	20	26	37	48	61
<b>50% ETo (mm.mes<sup>-1</sup>)</b>	119	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95	122
<b>Precipitación media (mm)</b>	45	54	50	47	28	18	15	23	41	56	43	45
<b>Temperatura media (°C)</b>	25	23	20	15	11	9	8	11	12	15	21	25
<b>Ln</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Ih</b>	0.29											
<b>Clasificación del mes (A= árido, S=seco)</b>	A	S	S	S	S	S	S	S	S	S	A	A

El régimen hídrico es “isohigro semiárido” (si), es decir que la precipitación anual se distribuye en forma más o menos uniforme durante todo el año. Este régimen se caracteriza por ser muy seco para “estepario” y muy húmedo para “desértico”, no es “mediterráneo” ni “monzónico”, y la precipitación anual (465 mm) cubre menos del 50% de la ETo (805 mm). Este régimen no es “desértico” debido a que la precipitación anual cubre más del 22% de la ETo anual (354 mm) (ver anexo).

## 12. Tipo de clima

La clasificación agroclimática final de la aérea de estudio, teniendo en cuenta el régimen térmico e hídrico, corresponde al tipo climático de “**Peri-pampeano semiárido**” (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 Choele-Choel (Tabla 17) y Rio Colorado (Tabla 18).

**Tabla 17: 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 Choele-Choel (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 <sup>-1</sup> )	8	7	5	3	2	1	1	2	3	5	6	7	4
ETo mensual (mm.mes <sup>-1</sup> )	246	185	161	91	63	43	44	76	101	151	184	223	1568
Precipitación media mensual (mm)	17	17	16	38	24	12	20	13	23	57	41	33	311
Almacenaje acumulado de agua (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Déficit de agua (mm)	229	168	145	53	39	31	24	63	78	94	143	190	1257
Exceso de agua (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETr (mm.mes <sup>-1</sup> )	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 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 Rio Colorado (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 <sup>-1</sup> )	8	7	5	3	2	2	2	3	4	5	6	8	4
ETo mensual (mm.mes <sup>-1</sup> )	239	187	156	95	65	46	45	79	105	150	188	239	1587
Precipitación media mensual (mm)	45	54	50	47	28	18	15	23	41	56	43	45	465
Almacenaje acumulado de agua (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Déficit de agua (mm)	194	133	106	48	37	28	29	56	64	94	145	195	1122
Exceso de agua (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETr (mm.mes <sup>-1</sup> )	45	54	50	47	28	18	15	23	41	56	43	45	465

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 Choele Choel y Rio Colorado (Tabla 19).

**Tabla 19: Índice de humedad (Im), índice de aridez (Ia), índice hídrico (Ih), evapotranspiración potencial (ETP) y concentración estival (ETv) en Choele Choel (1961-70, SMN) y Rio Colorado ((1996-2016, SMN) (Thornthwaite, 1948)**

Índices	Estación Choele Choel	Estación Rio Colorado
<b>Im</b>	-48	-43
<b>Ia</b>	80.2	70.7
<b>Ih</b>	0	0
<b>ETP</b>	1568.3	1587
<b>ETv (%)</b>	73.3	72.6

Con los valores obtenidos se determinó que la zona del proyecto Negro Muerto 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 ETo**

**13. Estación Choele Choel**

Se realizó el cálculo de la ETo mensual para el periodo comprendido entre 1958 y 1969 (Tabla 20).

**Tabla 20: Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) para el área de influencia de la estación meteorológica Choele Choel (1958-69, SMN)**

AÑO/MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1958	8.26	6.41	5.24	3.21	1.99	1.42	1.56	2.35	3.29	5.21	5.82	6.88
1959	7.40	6.9	5.2	2.66	1.96	1.44	1.42	2.28	3.47	5.2	6.45	7.47
1961	8.29	6.75	5.36	3.28	2.06	1.44	1.32	2.6	3.23	5.07	6.4	7.61
1962	7.79	6.8	5.8	3.09	2.06	1.55	1.46	2.52	3.59	5.15	6.67	6.92
1963	7.96	6.32	5.24	2.86	2.06	1.51	1.46	2.37	3.02	4.53	5.41	7.31
1964	8.01	6.64	4.85	2.98	2	1.33	1.43	2.49	3.35	4.86	5.89	6.94
1965	7.93	6.46	5.05	3.02	1.79	1.57	1.32	2.44	3.39	4.95	6.27	6.94
1966	7.91	6.07	5.21	2.96	2.22	1.45	1.35	2.37	3.26	4.61	6.01	7.03
1967	7.97	6.57	5.09	3.27	1.97	1.32	1.42	2.47	3.45	4.55	6.3	7.74
1968	7.82	6.87	4.94	2.98	2.17	1.45	1.6	2.68	3.49	4.52	6.34	7.02
1969	8.01	6.78	5.08	2.99	1.97	1.44	1.44	2.48	3.40	4.85	6.01	7.34

A continuación, se detallan las variables estadísticas que caracterizan los 11 años de análisis de datos meteorológicos y el análisis de probabilidad de ocurrencia (Tabla 21). Los valores siguen una distribución normal.

**Tabla 21: 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 meteorológica Choele Choel (1958-69, SMN)**

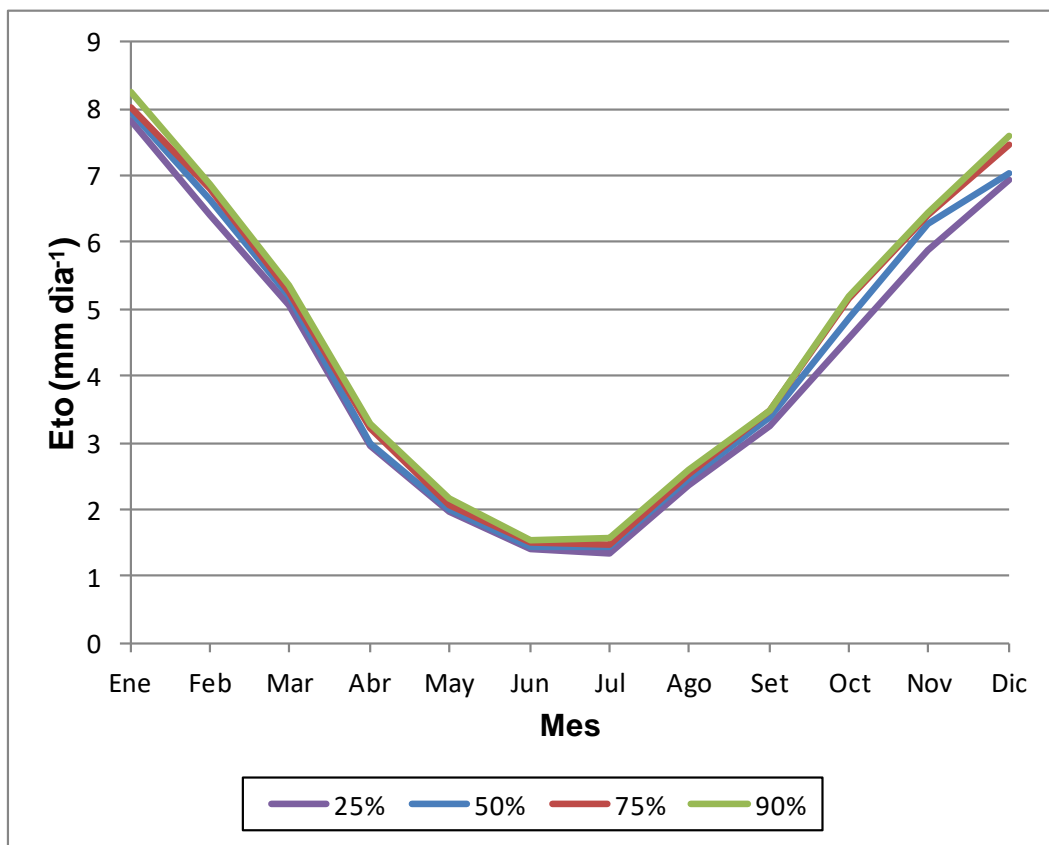
	N	x	D.E.	Var	E.E.	Mín	Máx	Med	P 25	P 50	P 75	P 90	r	P
<b>Ene</b>	11	7.9	0.2	0.1	0.1	7.4	8.3	8.0	7.8	8.0	8.0	8.3	0.9	0.4378
<b>Feb</b>	11	6.6	0.3	0.1	0.1	6.1	6.9	6.6	6.4	6.6	6.8	6.9	1.0	0.4308
<b>Mar</b>	11	5.2	0.3	0.1	0.1	4.9	5.8	5.2	5.1	5.2	5.2	5.4	0.9	0.3426
<b>Abr</b>	11	3.0	0.2	0.0	0.1	2.7	3.3	3.0	3.0	3.0	3.2	3.3	1.0	0.5446
<b>May</b>	11	2.0	0.1	0.0	0.0	1.8	2.2	2.0	2.0	2.0	2.1	2.2	1.0	0.7405
<b>Jun</b>	11	1.5	0.1	0.0	0.0	1.3	1.6	1.4	1.4	1.4	1.5	1.6	1.0	0.3337
<b>Jul</b>	11	1.4	0.1	0.0	0.0	1.3	1.6	1.4	1.4	1.4	1.5	1.6	1.0	0.3329

<b>Ago</b>	11	2.5	0.1	0.0	0.0	2.3	2.7	2.5	2.4	2.5	2.5	2.6	1.0	0.8784
<b>Set</b>	11	3.4	0.2	0.0	0.1	3.0	3.6	3.4	3.3	3.4	3.5	3.5	1.0	0.8739
<b>Oct (*)</b>	11	4.9	0.3	0.1	0.1	4.5	5.2	4.9	4.6	4.9	5.2	5.2	1.0	0.0505
<b>Nov</b>	11	6.1	0.4	0.1	0.1	5.4	6.7	6.3	5.9	6.3	6.4	6.5	1.0	0.8072
<b>Dic</b>	11	7.2	0.3	0.1	0.1	6.9	7.7	7.0	6.9	7.0	7.5	7.6	0.9	0.0597

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

(\*) Datos de Octubre 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 Choele Choel durante el periodo entre 1958 hasta 1969. Los valores son medias, n=11**

#### 14. Estación Río Colorado

El cálculo de ETo mensual se realizó durante 21 años, desde 1996 hasta 2016 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). En ciertos meses de los años 1966, 1997, 1998, 1999, 2004, 2014, 2015 y 2016, no se pudo obtener la ETo debido a la falta de datos necesarios para su cálculo.



**Tabla 22: Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) para el área de influencia de la estación meteorológica Rio Colorado (1996, 2016, SMN)**

AÑO/MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1996	6.69	----	4.6	2.95	2.32	1.65	1.48	2.65	3.24	4.34	----	----
1997	7.99	6.67	5.02	3.35	2.38	1.53	1.44	2.56	3.38	4.52	6.08	----
1998	7.17	----	4.22	3.01	2.29	1.62	----	2.79	3.54	5.76	6.25	7.84
1999	7.07	6.67	4.8	3.01	2.1	1.45	1.43	2.62	3.57	5.17	----	7.88
2000	6.98	6.68	5.02	3.29	2.16	1.59	1.49	2.38	3.31	4.69	6.22	7.94
2001	6.65	6.56	5.17	3.26	2.06	1.61	1.47	2.63	3.48	4.58	6.03	8.15
2002	6.63	6.68	4.82	3.28	2.2	1.59	1.45	2.58	3.62	5.02	6.39	7.87
2003	7.72	6.66	5.2	3.02	2.3	1.6	1.49	2.61	3.58	5.39	6.45	7.76
2004	7.73	6.79	5.17	3.3	2.01	1.65	1.41	2.59	3.83	4.79	----	7.57
2005	7.83	6.66	5.27	3.42	2.18	1.5	1.48	2.39	3.62	5.02	6.52	7.22
2006	7.6	6.67	5.18	3.33	2.2	1.54	1.47	2.59	3.89	5.14	6.53	7.76
2007	8.37	6.76	5.17	3.32	2.09	1.62	1.49	2.39	3.52	5.22	6.42	8.23
2008	8.7	6.63	5.6	3.58	2.19	1.58	1.47	2.62	3.81	5.44	6.53	8.07
2009	8.24	6.65	5.71	3.8	2.36	1.69	1.46	2.71	3.47	5.22	6.4	7.59
2010	8.25	6.74	5.18	3.31	2.32	1.6	1.48	2.59	3.63	5.03	6.44	7.91
2011	8.7	6.86	5.27	3.34	2.21	1.59	1.47	2.58	3.61	4.77	6.61	8.36
2012	8.78	6.67	5.34	3.27	2.25	1.59	1.49	2.49	3.67	4.9	6.51	7.9
2013	7.7	6.79	5.14	3.54	2.36	1.58	1.5	2.62	3.48	5.15	6.19	8.35
2014	8.63	----	4.71	----	----	----	----	----	2.87	4.02	5.94	7.75
2015	7.31	----	4.3	2.58	----	1.51	1.48	----	3.21	3.56	6.31	7.29
2016	6.93	----	4.75	2.33	----	----	----	2.55	3.31	3.65	6.54	7.86

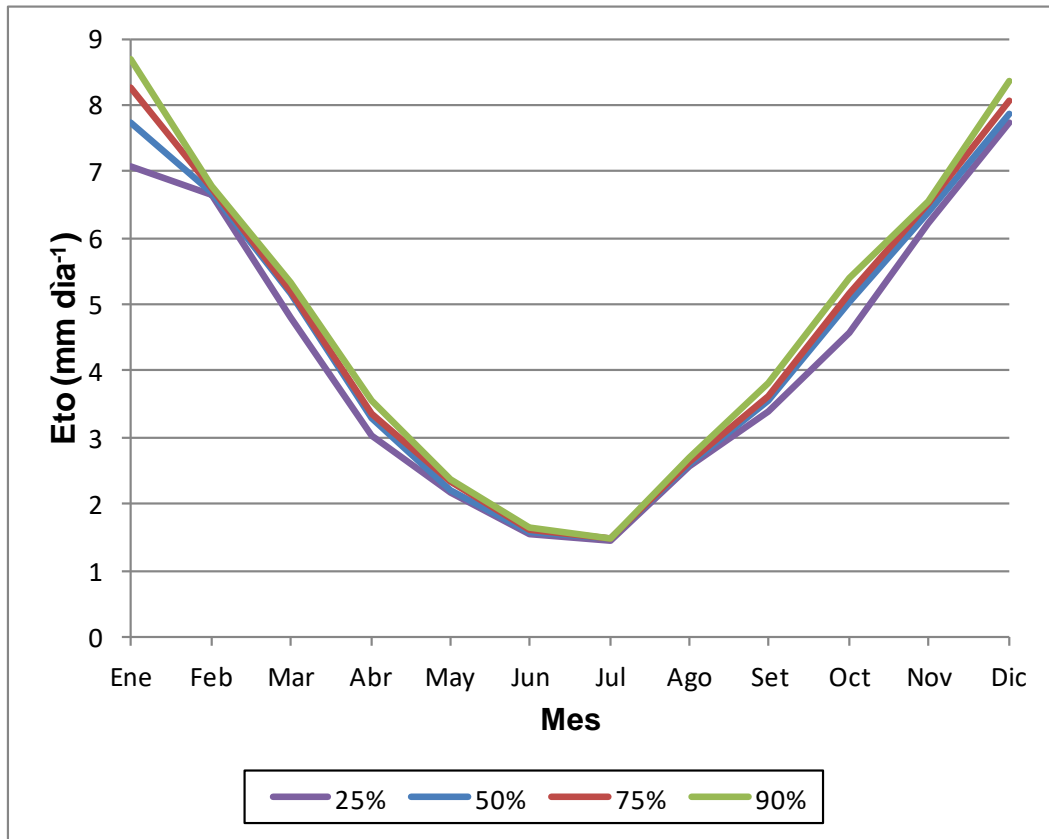
En la Tabla 23 se resumen las variables estadísticas obtenidas del cálculo de las ETo mensual. Los datos tienen una distribución normal.

**Tabla 23: 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 meteorológica Rio Colorado (1996-2016, SMN)**

	n	x	D.E.	Var	E.E.	Mín	Máx	Med	P25	P50	P75	P90	r	P
Ene	21	7.7	0.7	0.5	0.2	6.6	8.8	7.7	7.1	7.7	8.3	8.7	1.0	0.0636
Feb	16	6.7	0.1	0.0	0.0	6.6	6.9	6.7	6.7	6.7	6.7	6.8	1.0	0.3153
Mar	21	5.0	0.4	0.1	0.1	4.2	5.7	5.2	4.8	5.2	5.2	5.3	1.0	0.3823
Abr	20	3.2	0.3	0.1	0.1	2.3	3.8	3.3	3.0	3.3	3.3	3.5	0.9	0.1282
May	18	2.2	0.1	0.0	0.0	2.0	2.4	2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	1.0	0.3739
Jun	19	1.6	0.1	0.0	0.0	1.5	1.7	1.6	1.5	1.6	1.6	1.7	1.0	0.6995
Jul	18	1.5	0.0	0.0	0.0	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9	0.0624
Ago	19	2.6	0.1	0.0	0.0	2.4	2.8	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	1.0	0.1199
Set	21	3.5	0.2	0.1	0.1	2.9	3.9	3.5	3.4	3.5	3.6	3.8	1.0	0.6108
Oct	21	4.8	0.6	0.3	0.1	3.6	5.8	5.0	4.6	5.0	5.2	5.4	1.0	0.2050
Nov	18	6.4	0.2	0.0	0.1	5.9	6.6	6.4	6.2	6.4	6.5	6.5	1.0	0.1088

Dic	19	7.9	0.3	0.1	0.1	7.2	8.4	7.9	7.8	7.9	8.1	8.4	1.0	0.4590
-----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--------

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



**Figura 13: Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) según probabilidad de ocurrencia en la estación meteorológica Rio Colorado durante el periodo entre 1996 hasta 2016. Los valores son medias, n=16 hasta n=21 dependiendo del mes**

### 15. Comparación de ETo entre las estaciones Choele Choel y Rio Colorado

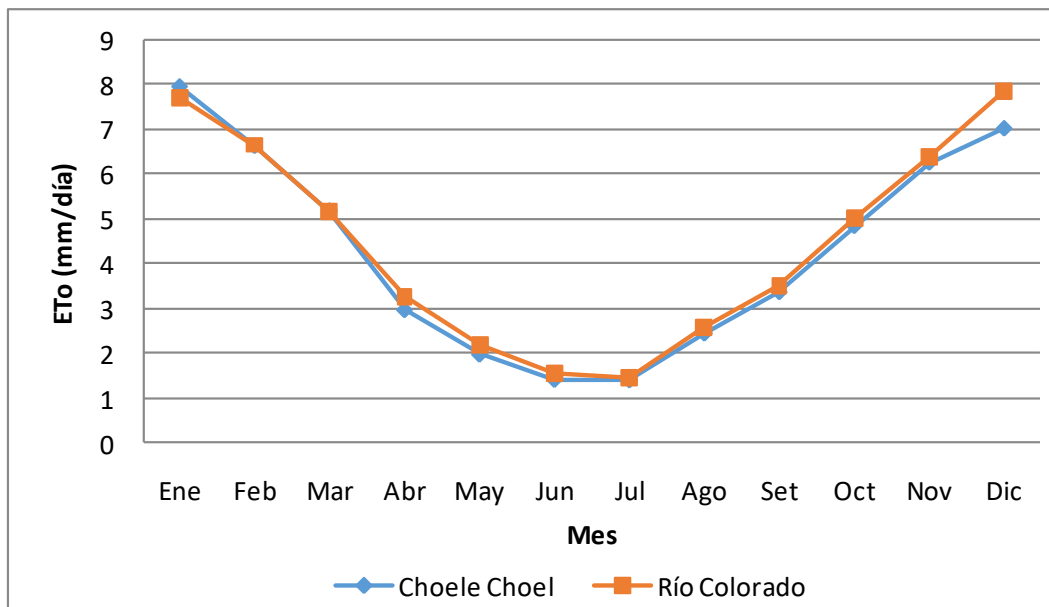
En ambas estaciones, los valores de ETo para 50 y 75% de probabilidad resultaron ser similares (Tabla 24).

**Tabla 24: Valores de ETo (mm/día) para diferentes probabilidades de ocurrencia en las estaciones Choele Choel (1958-69, SMN) y Rio Colorado (1996-2016, SMN)**

Mes/Probabilidad	Estación Choele Choel		Estación Rio Colorado		Promedio entre ambas estaciones	
	50%	75%	50%	75%	50%	75%
Ene	7.96	8.01	7.72	8.25	7.8	8.1
Feb	6.64	6.8	6.67	6.74	6.7	6.8
Mar	5.2	5.24	5.17	5.2	5.2	5.2
Abr	2.99	3.21	3.29	3.34	3.1	3.3
May	2	2.06	2.2	2.32	2.1	2.2
Jun	1.44	1.51	1.59	1.62	1.5	1.6

Jul	1.43	1.46	1.47	1.49	1.5	1.5
Ago	2.47	2.52	2.59	2.62	2.5	2.6
Set	3.39	3.47	3.54	3.62	3.5	3.5
Oct	4.86	5.15	5.02	5.17	4.9	5.2
Nov	6.27	6.4	6.4	6.52	6.3	6.5
Dic	7.03	7.47	7.87	8.07	7.5	7.8

Se observa la similitud de valores de ETo en todos los meses del año entre ambas estaciones para la probabilidad del 50% (Figura 14) y 75% (Figura 15) existiendo leves diferencias en enero, abril, mayo y diciembre en ambas probabilidades de ocurrencia.



**Figura 14: Valores de ETo para Choele Choel (1958-69) y Río Colorado (1996-2016) con una probabilidad de ocurrencia del 50%**

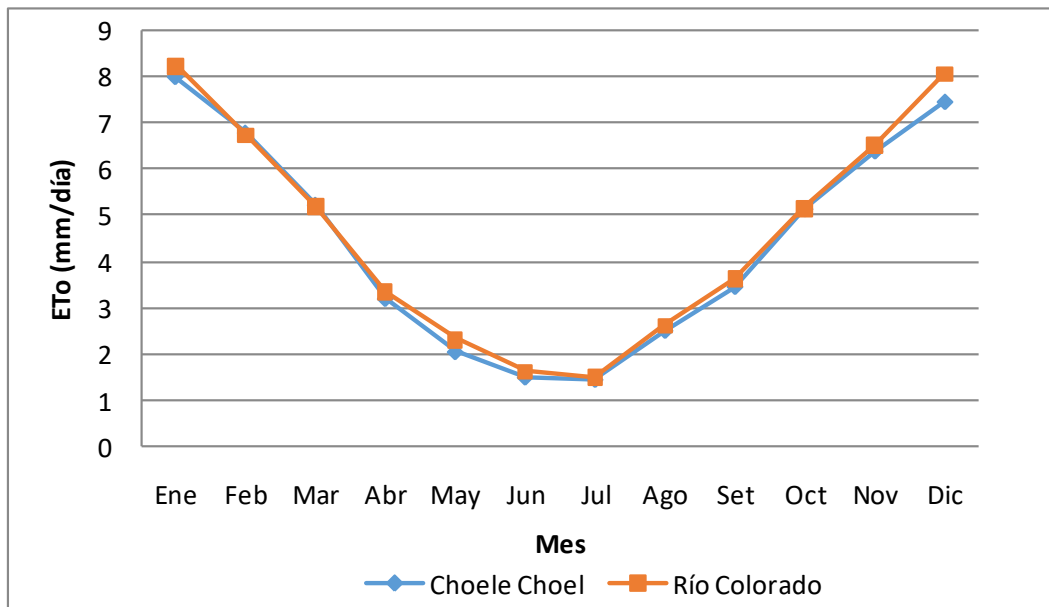


Figura 15: Valores de ETo para Choele Choele (1958-69) y Río Colorado (1996-2016) con una probabilidad de ocurrencia del 75%

**K. Determinación de la precipitación efectiva**

**16. Estación Choele Choele**

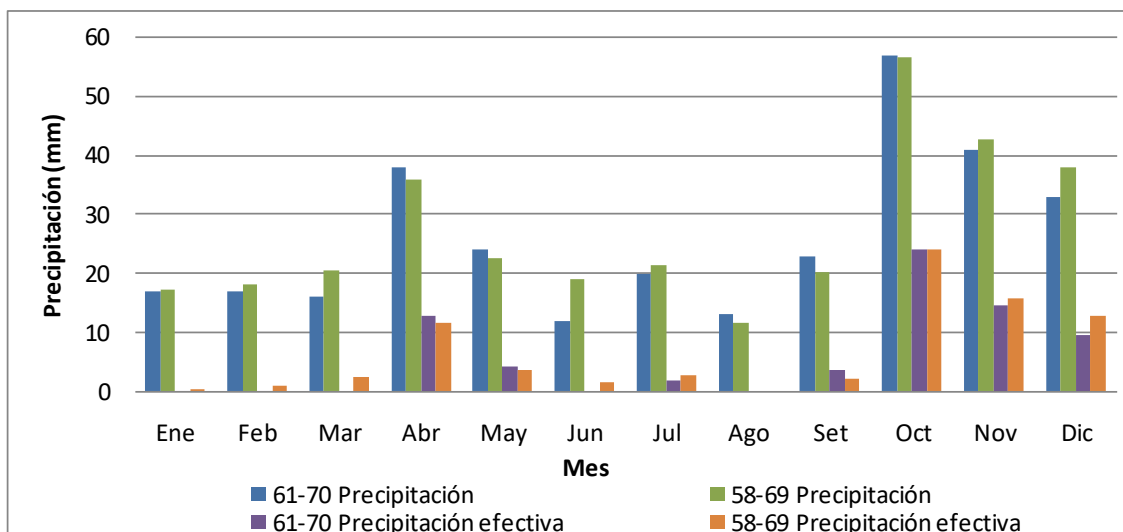
La Tabla 25 contiene valores de precipitación media mensual de los periodos 1961/70 y 1958/69 y de precipitación efectiva calculados por el método de la FAO. En ambos periodos, la precipitación acumulada es similar (311mm y 324 mm para 1961-70 y 1958-69 respectivamente) y con respecto a la precipitación efectiva ocurre lo mismo.

**Tabla 25: Precipitación media mensual y precipitación efectiva en la estación Choele Choele para diferentes periodos (1961/70-1958/69, SMN)**

Mes	Periodo			
	1961-70	1958-69	1961-70	1958-69
	Precipitación media (mm)		Precipitación efectiva (mm)	
Ene	17	17.2	0.2	0.3
Feb	17	18.1	0.2	0.9
Mar	16	20.5	0	2.3
Abr	38	35.8	12.8	11.5
May	24	22.5	4.4	3.5
Jun	12	19.1	0	1.5
Jul	20	21.4	2	2.8
Ago	13	11.7	0	0
Set	23	20.3	3.8	2.2
Oct	57	56.8	24.2	24.1
Nov	41	42.8	14.6	15.7
Dic	33	38.1	9.8	12.9

Total	311	324	72	78
-------	-----	-----	----	----

La Figura 16 ilustra el cuadro anteriormente detallado.



**Figura 16: Precipitación media mensual y precipitación efectiva en los periodos 1961/70 y 1958/69 de la estación Choele Choel (SMN)**

### 17. Estación Río Colorado

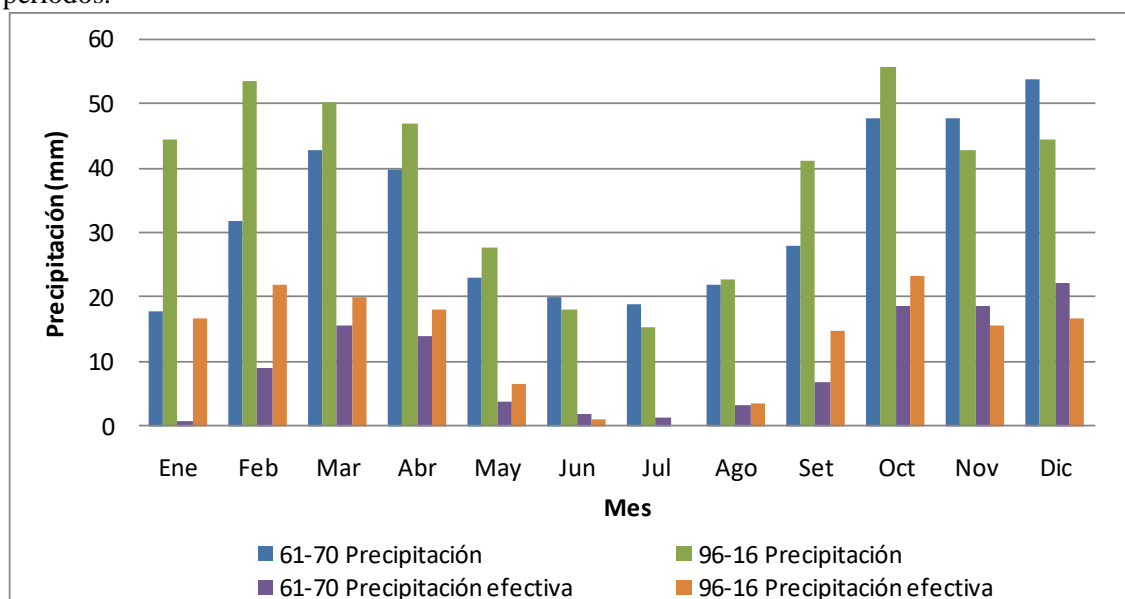
La Tabla 26 muestra los valores de precipitación en 1961-70 y 1996-2016, observándose diferencias entre ambos periodos. La precipitación acumulada anual del periodo 1996-2016 (465 mm) es 18% mayor que la obtenida entre los años 1961-70 (395 mm). La precipitación efectiva anual en el periodo más reciente (160 mm) es 37% mayor que la del periodo más antiguo (117 mm).

**Tabla 26: Precipitación media mensual y precipitación efectiva en la estación Río Colorado para diferentes periodos (1961/70 y 1996/2016, SMN)**

Mes	Periodo			
	1961-70	1996-16	1961-70	1996-16
	Precipitación (mm)		Precipitación efectiva (mm)	
Ene	18	44.5	0.8	16.7
Feb	32	53.5	9.2	22.1
Mar	43	50.4	15.8	20.2
Abr	40	47.1	14	18.3
May	23	27.8	3.8	6.7
Jun	20	18.3	2	1
Jul	19	15.4	1.4	0
Ago	22	22.8	3.2	3.7
Set	28	41.3	6.8	14.8
Oct	48	55.9	18.8	23.5
Nov	48	43	18.8	15.8
Dic	54	44.6	22.4	16.8

Total	395	465	117	160
-------	-----	-----	-----	-----

En la Figura 17 se grafican los valores de precipitación media mensual y efectiva de ambos periodos.



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

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

En la Tabla 27 se muestran los cultivos a implantar en el proyecto y el periodo de crecimiento y desarrollo durante todo el año.

**Tabla 27: Listado de cultivos, fechas de siembra y cosecha. Periodos críticos en relación a necesidades de riego**

Cultivo	Siembra/brotación	Cosecha/caída de hojas
<b>Pasturas, cereales y oleaginosas</b>		
Alfalfa para heno	Febrero-Abril	Pastoreo/cortes todo el ciclo
Sorgo (silo)	Diciembre	Abril - Mayo
Maíz (silo)	Noviembre	Febrero
Verdeos de invierno (silo)	Abril	Octubre/ cortes todo el ciclo
<b>Extensivos</b>		
Maíz (grano)	Noviembre	Marzo
<b>Frutales</b>		
Cerezo	Octubre	Abril
Nogal	Octubre	Abril
<b>Hortalizas</b>		
Cebolla	Setiembre	Marzo/abril

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 28):

- 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 28: 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		
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 29, Tabla 30, Tabla 31).

**Tabla 29: Evapotranspiración del cultivo (ETc) media diaria y mensual (total) para una probabilidad de ocurrencia de ETo del 75% en alfalfa (heno) y verdeos de invierno en el proyecto Negro Muerto, Rio Negro**

Mes	Alfalfa (heno)		Verdeos de Invierno (Silo)	
	ETc mm día <sup>-1</sup>	ETc mm mes <sup>-1</sup>	ETc mm día <sup>-1</sup>	ETc mm mes <sup>-1</sup>
Ene	8.1	251.3		
Feb	6.8	191.1		

Mar	4.2	106.3		
Abr	1.4	40.6	1.7	50.9
May	0.9	27.9	1.7	53.7
Jun	0.7	19.9	2.0	59.1
Jul	0.6	19.4	1.9	58.8
Ago	1.4	44.3	3.1	97.4
Sep	3.5	106.3	3.9	117.5
Oct	5.2	162.7	2.8	85.3
Nov	6.6	197.9		
Dic	7.9	244.5		

**Tabla 30: Evapotranspiración del cultivo (ETc) media diaria y mensual (total) para una probabilidad de ocurrencia de ETo del 75% en maíz (grano), maíz (silo) y sorgo (silo) en el proyecto Negro Muerto, Rio Negro**

Mes	Maiz (grano)		Maiz (silo)		Sorgo (silo)	
	ETc mm día <sup>-1</sup>	ETc mm mes <sup>-1</sup>	ETc mm día <sup>-1</sup>	ETc mm mes <sup>-1</sup>	ETc mm día <sup>-1</sup>	ETc mm mes <sup>-1</sup>
Ene	10.3	319.2	9.9	306.8	9.1	282.1
Feb	7.3	208.5	8.0	196.1	8.8	246.8
Mar	2.9	28.7			6.6	131.9
Abr						
May						
Jun						
Jul						
Ago						
Sep						
Oct						
Nov	2.1	63.7	2.2	67.4		
Dic	7.1	221.6	7.6	238.9	3.0	95.7

**Tabla 31: Evapotranspiración del cultivo (ETc) media diaria y mensual (total) para una probabilidad de ocurrencia de ETo del 75% en cebolla, nogal y almendro en el proyecto Negro Muerto, Rio Negro**

Mes	Cebolla		Nogal		Cerezo	
	ETc mm día <sup>-1</sup>	ETc mm mes <sup>-1</sup>	ETc mm día <sup>-1</sup>	ETc mm mes <sup>-1</sup>	ETc mm día <sup>-1</sup>	ETc mm mes <sup>-1</sup>
Ene	8.5	261.3	9.7	299.4	8.5	262.3
Feb			8.2	230.3	7.2	201.7
Mar			5.6	172.9	5.2	160.7
Abr			3.0	24.1	3.3	26.5
May						
Jun						
Jul						
Ago						



Sep	2.3	37.0				
Oct	4.3	135.8	3.4	106.1	2.5	77.2
Nov	7.2	215.4	7.9	235.7	4.7	142.3
Dic	8.6	266.2	9.4	291.3	7.8	241.3

#### N. Modelo 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 32):

- 1° Etapa (desde el primer al cuarto año): corresponde a la etapa de implementación del proyecto donde se han seleccionado cultivos iniciales para la adecuada preparación del suelo.
- 2° (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.

En los primeros cuatro años se implantará alfalfa para heno, maíz grano y verdes de invierno, maíz y sorgo para silo (Tabla 32). A partir del quinto año, se implantarán nuevos cultivos tales como cebolla, nogal y cerezo, y se reducirán las superficies de los cultivos de la 1° etapa, principalmente en maíz grano.

**Tabla 32: Etapas de desarrollo del proyecto Negro muerto, Rio Negro**

Cultivos	1° ETAPA (1° al 4° año)	2 ETAPA (5° al 20° año)
	Superficie (ha)	Superficie (ha)
Maiz (grano)	11423	9710
Maiz (silo)	3655	3107
Alfalfa (heno)	20865	19974
Sorgo (silo)	22566	21606
Verdeos de Invierno (silo)	7010	6736
Cebolla	-----	2879
Nogal	-----	822
Cerezo	-----	411

Los cultivos de maíz grano (estivales) y verdes de invierno (invernales) rotarán entre sí en ambas etapas del proyecto. La superficie de rotación entre ambos cultivos es de 7010 ha en la 1° etapa y de 6736 ha en la 2° etapa.

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 periodo 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 periodo.

## 2. 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.

### 18. 1° Etapa

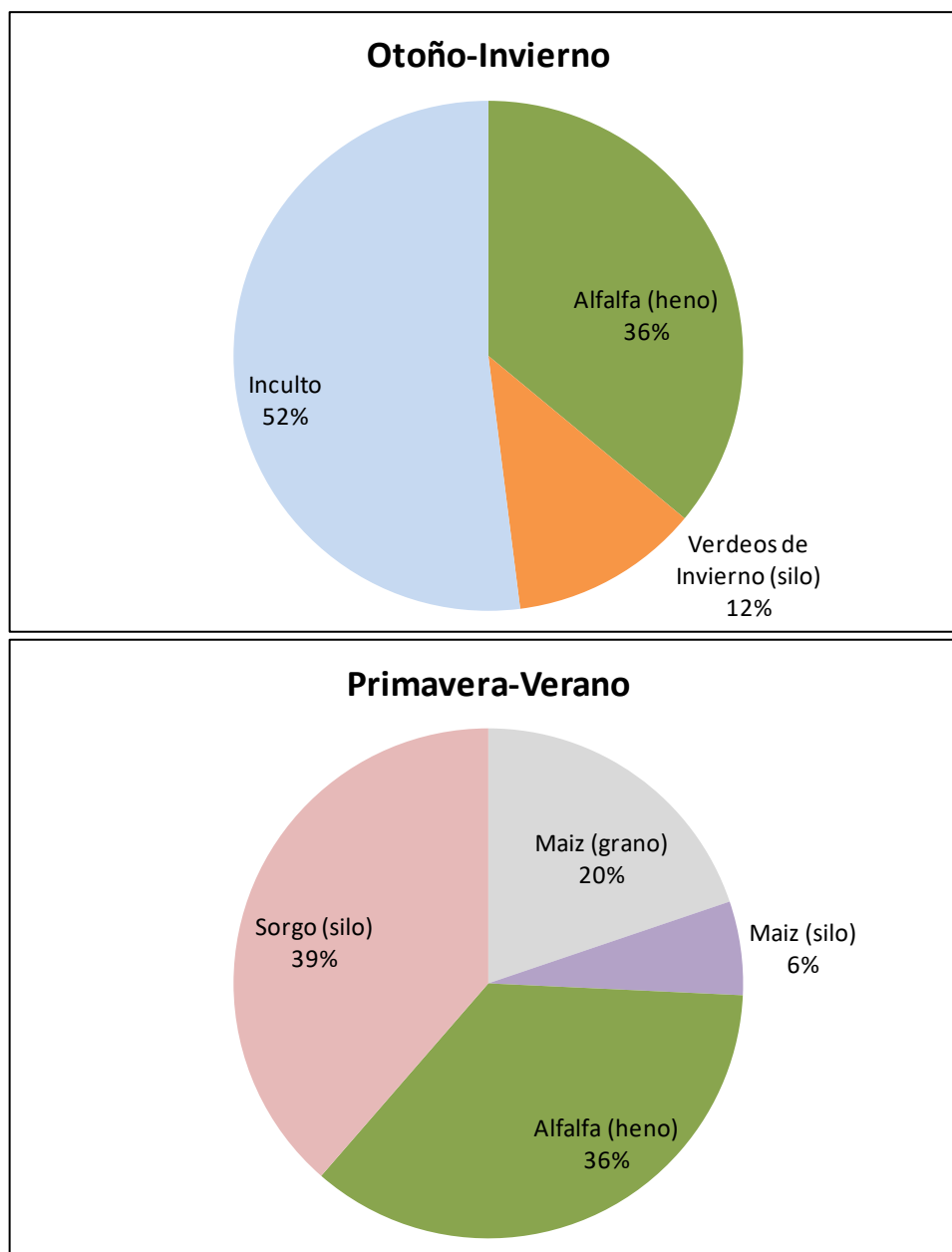
En los primeros cuatro años del proyecto, la superficie cultivada en otoño-invierno será de 27.875 ha y en primavera-verano de 58.509 ha (Tabla 33). La mayor superficie en primavera-verano se debe a que en los meses de setiembre y diciembre se implantarán 22.566 ha de sorgo (silo), 11.423 ha de maíz (grano) y 3.655 ha de maíz (silo).

**Tabla 33: Superficie (en ha y en % respecto a la superficie cultivada anual) durante otoño-invierno y primavera-verano en la 1° etapa del proyecto Negro Muerto, Rio Negro**

Cultivo	Otoño-Invierno		Primavera-Verano	
	Ha	%	ha	%
Maiz (grano) *	-----	-----	11423	20%
Maiz (silo)	-----	-----	3655	6%
Alfalfa (heno)	20865	36%	20865	36%
Sorgo (silo)	-----	-----	22566	39%
Verdeos de Invierno (silo) *	7010	12%	-----	-----
<b>Total</b>	<b>27875</b>	<b>48%</b>	<b>58509</b>	<b>100%</b>
<b>Superficie cultivada anual (ha)</b>	<b>58509</b>			
<b>Superficie total proyecto (ha)</b>	<b>74000</b>			

\*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 Negro muerto, Rio Negro**

**19. 2° etapa**

A partir del 5° año, el escenario productivo cambia debido a la incorporación de cultivos leñosos perennes (nogal y cerezo) y hortícolas (cebolla) (Tabla 34).

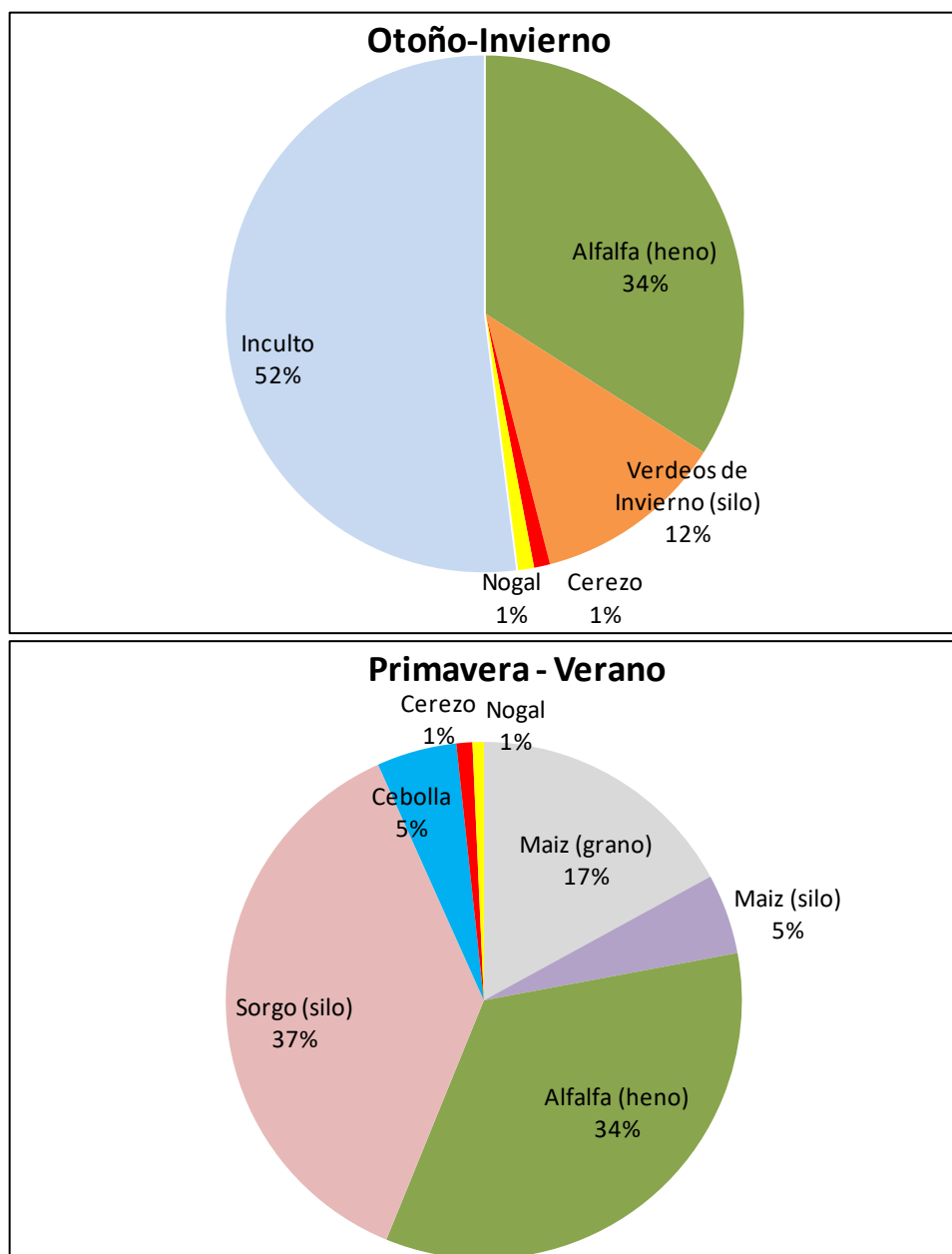
**Tabla 34: Superficie (en ha y en % respecto a la superficie cultivada anual) durante otoño-invierno y primavera-verano en la 2° etapa del proyecto Negro Muerto, Rio Negro**

Cultivo	Otoño-Invierno		Primavera-Verano	
	Ha	%	ha	%
Maiz (grano) *	-----	-----	9710	17%
Maiz (silo)	-----	-----	3107	5%
Alfalfa (heno)	19974	34%	19974	34%

Sorgo (silo)	-----	-----	21606	37%
Verdeos de Invierno (silo) *	6736	12%	-----	-----
Cebolla	-----	-----	2879	5%
Nogal	822	1%	822	1%
Cerezo	411	1%	411	1%
<b>Total</b>	<b>27943</b>	<b>48%</b>	<b>58509</b>	<b>100%</b>
<b>Superficie cultivada anual (ha)</b>	<b>58509</b>			
<b>Superficie total proyecto (ha)</b>	<b>74000</b>			

\*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 Negro muerto, Rio Negro**

### **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 de precipitación media mensual de la estación más próxima al área del proyecto (Choele Choel, periodo 1958-69, SMN). A continuación, se muestran las necesidades netas de cada cultivo y los requerimientos netos del sistema en ambos escenarios productivos.

**Tabla 35: 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 Negro muerto, Rio Negro**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
<b>Necesidades netas (mm/mes)</b>													
1. Maiz (grano)	319	208	28	0	0	0	0	0	0	0	48	209	812
2. Maiz (silo)	306	195	0	0	0	0	0	0	0	0	52	226	780
3. Alfalfa (heno)	251	190	94	29	0	0	0	44	104	139	182	232	1265
4. Sorgo (silo)	282	246	131	0	0	0	0	0	0	0	0	83	742
5. Verdeos de Invierno (silo)	0	0	0	39	50	58	56	97	115	61	0	0	477
<b>Requerimientos Netos del Sistema</b>													
en mm/día	9.0	7.7	2.9	0.5	0.2	0.2	0.2	0.9	1.7	1.8	2.6	5.5	
en mm/mes	280	215	90	15	6	7	7	27	51	57	78	170	
en L/s.ha	1.04	0.89	0.33	0.06	0.02	0.03	0.03	0.10	0.20	0.21	0.30	0.63	
<b>Área Irrigada (% del aérea total)</b>	100	100	94	48	48	48	48	48	48	48	62	100	

En la 2° etapa del proyecto, los requerimientos netos del sistema varían respecto a los primeros 4 años debido a la incorporación de nuevos cultivos al proyecto tales como la cebolla, nogal y cerezo (Tabla 36).

**Tabla 36: 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 Negro muerto, Rio Negro**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
<b>Necesidades netas (mm/mes)</b>													
1. Maiz (grano)	319	208	28	0	0	0	0	0	0	0	48	209	812
2. Maiz (silo)	306	195	0	0	0	0	0	0	0	0	52	226	780
3. Alfalfa (heno)	251	190	94	29	0	0	0	44	104	139	182	232	1265
4. Sorgo (silo)	282	246	131	0	0	0	0	0	0	0	0	83	742
5. Verdeos de invierno	0	0	0	39	50	58	56	97	115	61	0	0	477

6. Cebolla	261	0	0	0	0	0	0	0	35	112	200	254	861
7. Nogal	299	229	171	21	0	0	0	0	0	82	220	279	1301
8. Cerezo	262	201	158	23	0	0	0	0	0	53	127	229	1052
<b>Requerimientos Netos del Sistema</b>													
en mm/día	9.0	7.3	2.9	0.5	0.2	0.2	0.2	0.9	1.7	2.0	2.9	5.6	
en mm/mes	278	205	89	15	6	7	7	27	51	61	86	174	
en L/s/ha	1.04	0.85	0.33	0.06	0.02	0.03	0.03	0.1	0.2	0.23	0.33	0.65	
<b>Área Irrigada (% del aérea total)</b>	100	95	90	48	46	46	46	46	51	53	63	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 para heno tiene una ETc diaria de 6,6 mm/día y por lo tanto el intervalo de riego podría ser de  $(84 \text{ mm}/6,6) 12,7$  días o sea igual a 13 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 8,8 mm /día ( $6,6 \text{ mm/día} / 0,75$ ). Las tablas anteriores también indica el requerimiento acumulado (lámina neta acumulada de riego) de cada cultivo, así la alfalfa para heno requiere 1265 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 %).



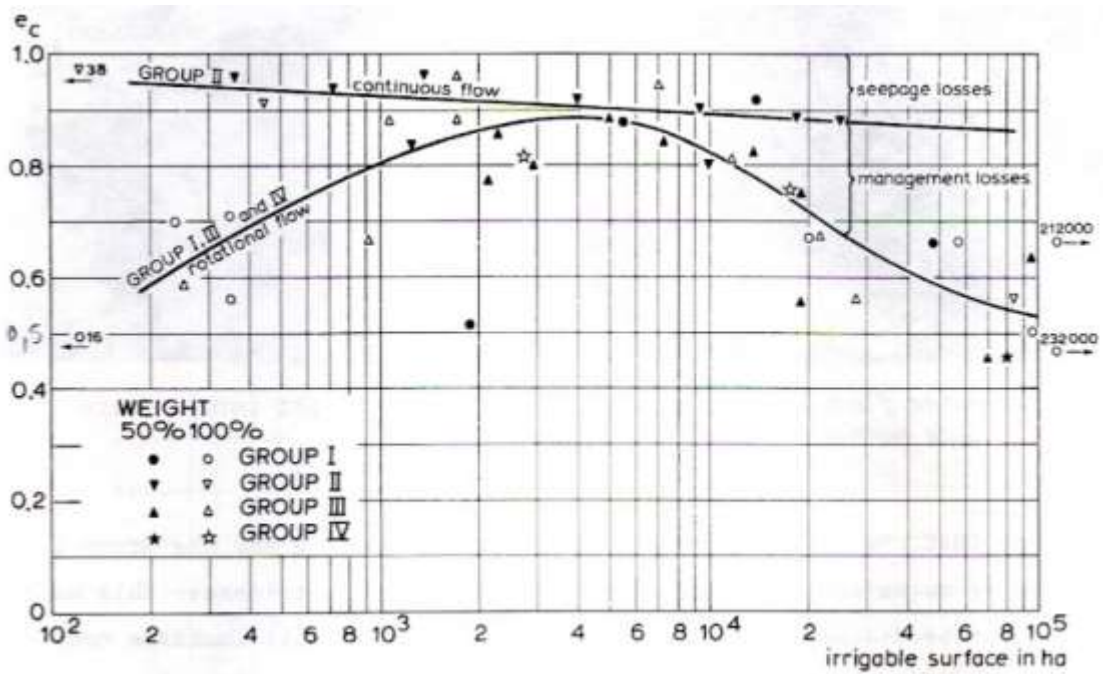


Figura 20: Valores de eficiencia de conducción ( $e_c$ ) en función del tamaño del área a regar

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).

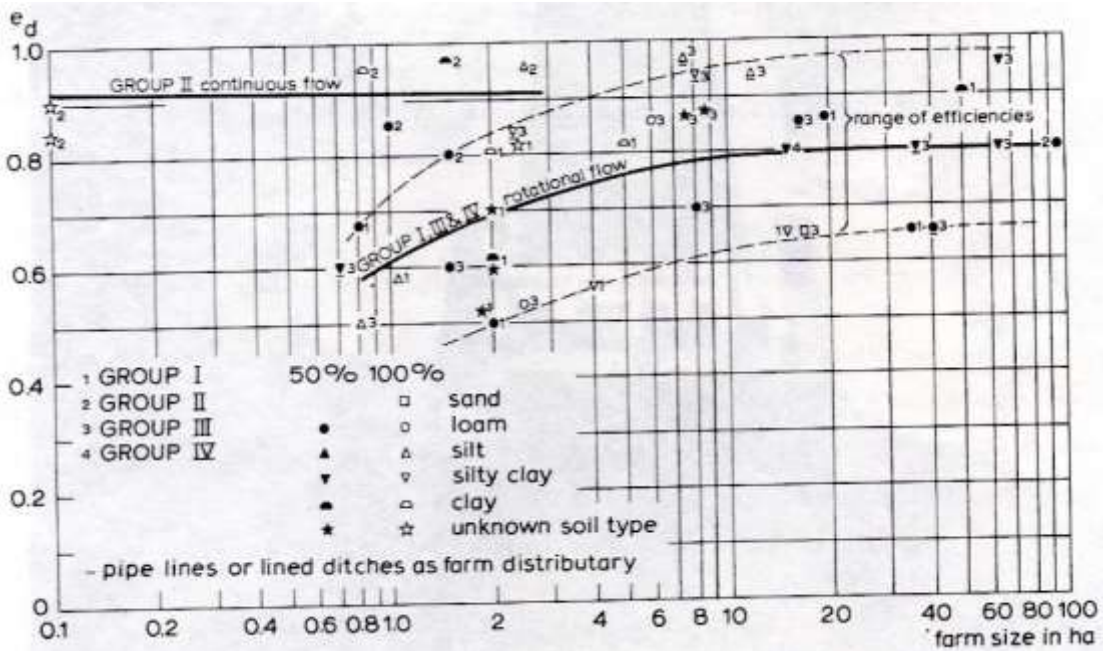


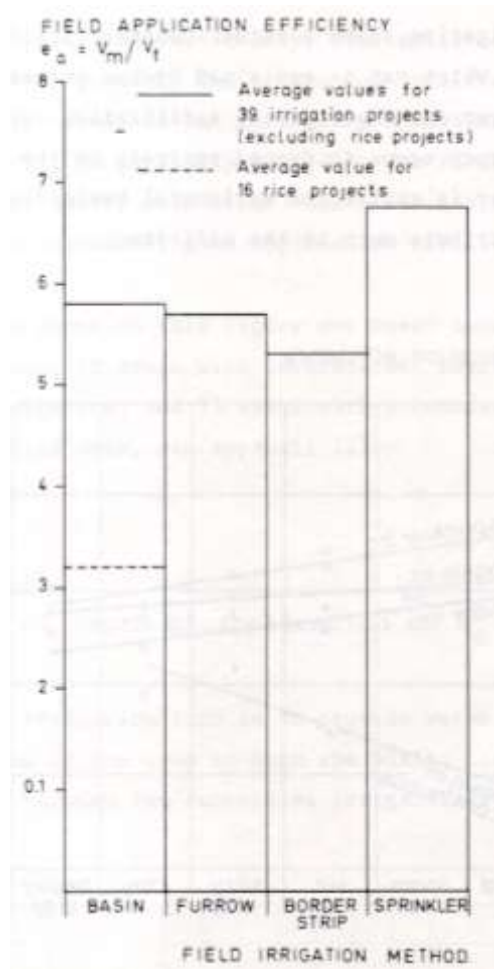
Figura 21: Eficiencia de distribución ( $e_d$ ) en función del tamaño de la propiedad y del tipo de suelo

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 37 muestra los valores medios de eficiencia de aplicación que pueden esperarse para los distintos métodos de riego:

**Tabla 37: Eficiencia de aplicación media (ea) en función del método de riego (Bos y Nugteren, 1974)**

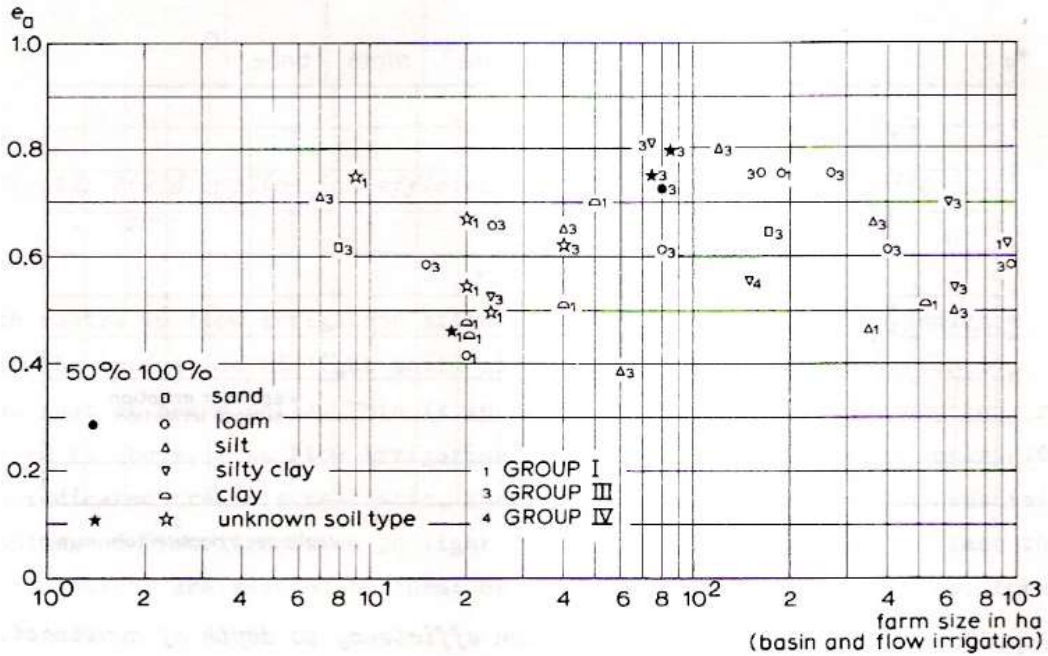
		Eficiencia aplicación versus Método de riego			
GRUPO	Eficiencia de aplicación (%)	Basin (grandes melgas niveladas a cero)	Surcos	Melgas	Aspersión
I	53	56	54	47	-
II	32	32	-	-	-
III	60	59	58	57	68
IV	66	-	-	-	66
Promedio de los Grupos I, III y IV		58	57	53	67

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



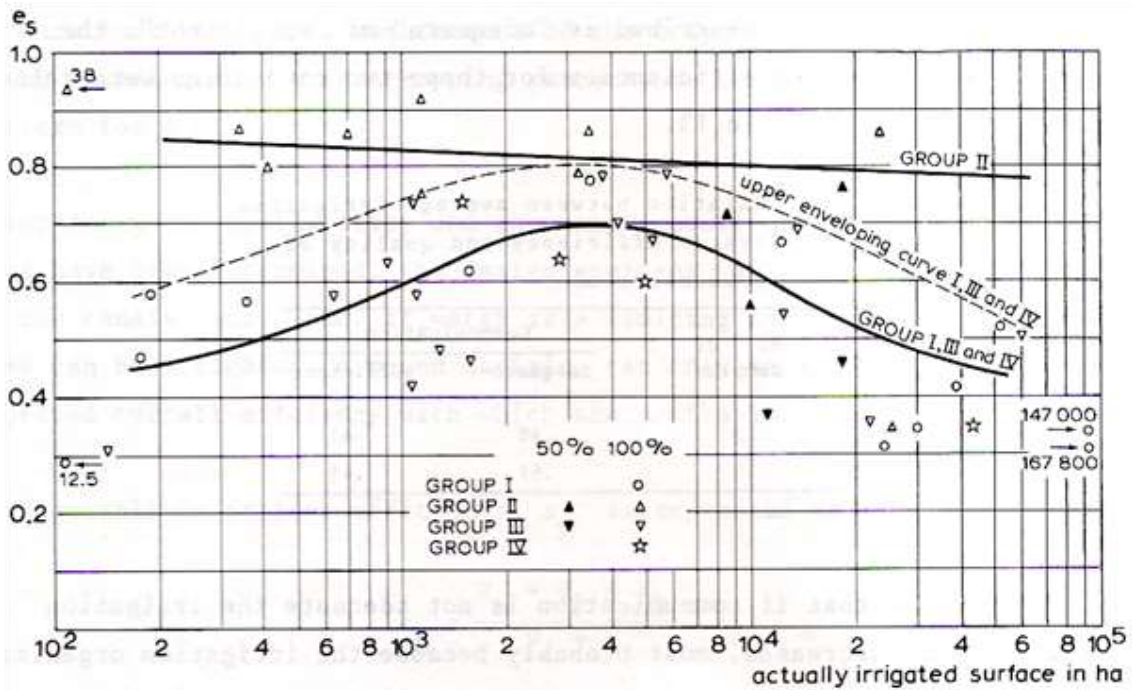
**Figura 22: Eficiencia de aplicación (e<sub>a</sub>) versus métodos de riego**

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.



**Figura 23: Relaciones entre eficiencia de aplicación ( $e_a$ ), tamaño de la parcela y tipo de suelo predominante**

Por último, la Figura 24 sugiere que el tamaño óptimo para lograr la máxima eficiencia del sistema ( $e_s = 70\%$ ) de una superficie de regadío que no posea una planificación previa (proyecto de riego) gira alrededor de 3.000 a 5000 ha. La curva punteada muestra valores máximos de  $e_s$  que pueden esperarse en proyectos bien manejados con un moderno sistema de conducción y distribución ( $e_s = 80\%$ ). Cabe aclarar aquí que la eficiencia de sistema no es un término usado con frecuencia y no está estandarizado por la International Commission of Irrigation and Drainage (ICID).



**Figura 24: Relación entre la eficiencia del sistema de riego ( $e_s$ ) y el área regada, por lo menos, una vez al mes**

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):

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

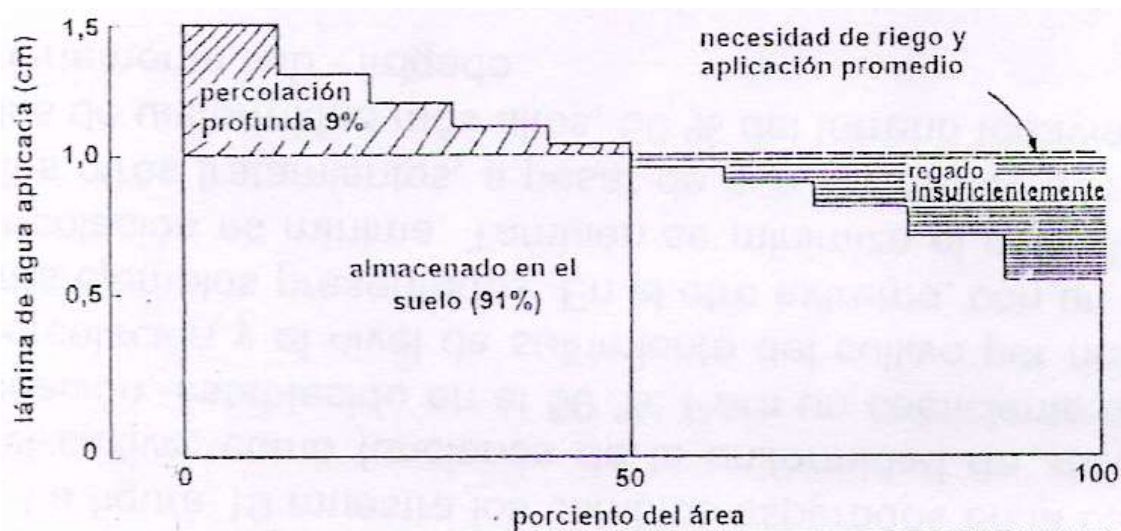
Donde: CU = coeficiente de uniformidad;  $x_i$  = lámina recolectada en pluviómetro (mm);  $x$  = lámina media de agua recolectada (mm) y  $n$  = número de pluviómetros.

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.

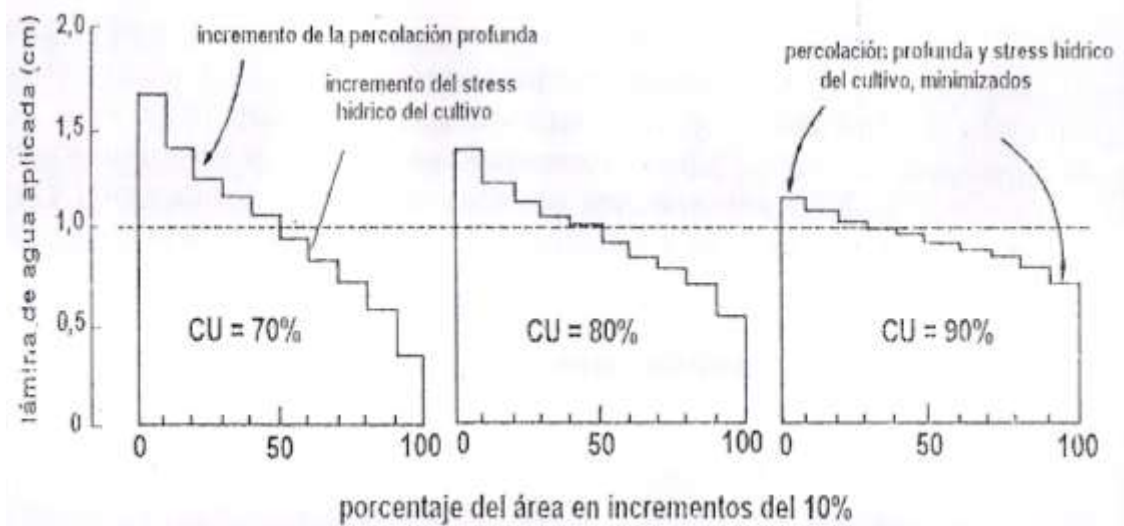
Para hablar de la eficiencia del riego por aspersión se parte de que las necesidades de riego netas son iguales a la necesidad de riego del cultivo desde el último riego, menos la precipitación efectiva. Aquí interviene el concepto de adecuación (cuantificar qué parte de la parcela recibe como mínimo 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 38: 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:

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

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 39 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 39: Eficiencia combinada (Ec) para diferentes métodos de riego**

Sistema	CU%	Adecuación (%)	Esgurrimiento (%)	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 40).

**Tabla 40: Enumeración de los usos consuntivos y no consuntivos según Burt et al. (1997)**

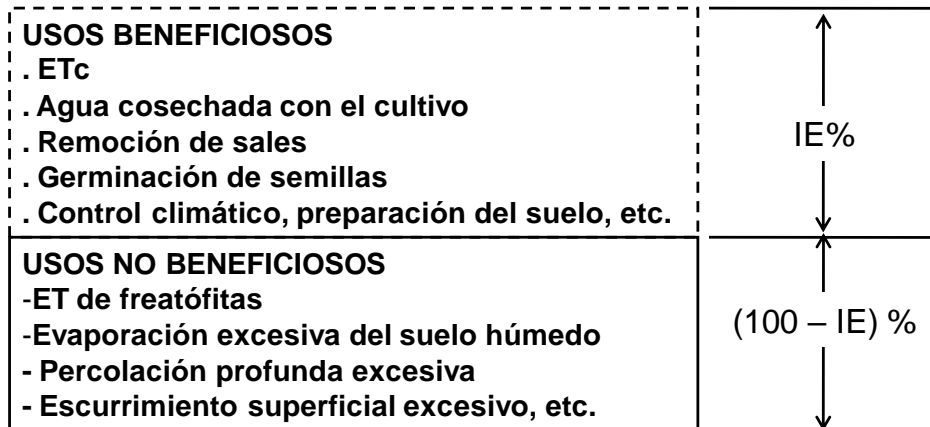
<p><b>USOS CONSUNTIVOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Etc</li> <li>- ET de freatófitas</li> <li>- Evaporación de agua asperjada</li> <li>- Evaporación de los reservorios</li> <li>- Evaporación del suelo húmedo</li> <li>- Agua cosechada con el cultivo, etc.</li> </ul>	<p><b>USOS NO CONSUNTIVOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Remoción de sales</li> <li>- Percolación profunda excesiva</li> <li>- Escurrimiento superficial excesivo</li> <li>- Salpicaduras fuera de la parcela, etc.</li> <li>-</li> </ul>
<p>← (ICUC) % →</p>	<p>← (100 – ICUC) % →</p>

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.

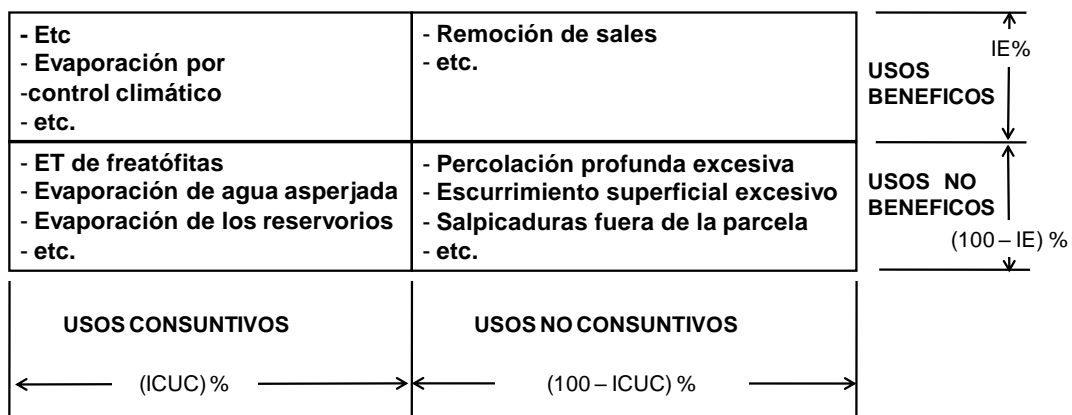
- “usos no benéficos” como el exceso de percolación profunda, la evapotranspiración de malezas o freatófitas -a menos que tengan por función el control de la erosión- el mejoramiento de la estructura del suelo (sean hábitat de insectos o de fauna beneficiosa) (Tabla 41)

**Tabla 41: 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 42).

**Tabla 42: 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 periodo 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.

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

**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:

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

**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:

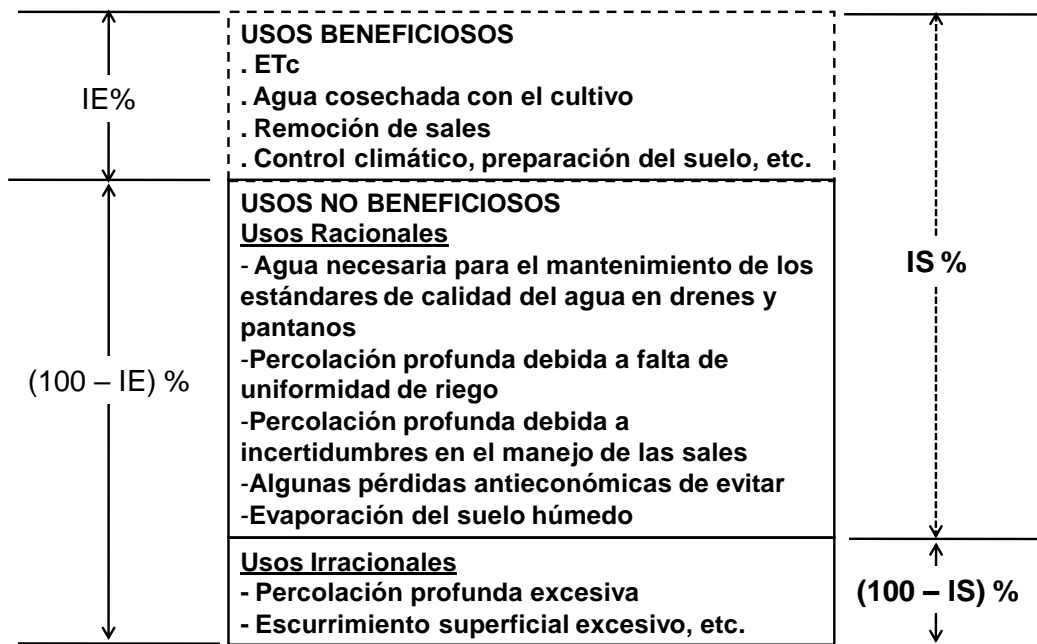
$$\text{Lámina bruta a aplicar} \approx \text{lámina objetivo a reponer} * (100 / PAE_{lq})$$

**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 43: 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 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día para canales construidos sobre suelos pesados y medios, respectivamente y de < 0,03 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día para canales impermeabilizados. Por su parte, Kraatz (1977) presenta pérdidas por infiltración del orden de 0,9 y 0,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/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 Rio Mayo presentan valores de pérdidas en conducción del 44 % (11 % por evaporación y 33 % por infiltración).

La Tabla 44 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 44: 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 mantenimiento	85	90	RES	65	50
			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
			G	90	58
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
			G	90	47
Red de canales impermeabilizados con buena operación y mantenimiento	95	95	RES	65	59
			RCD	85	77
			AS	75	68
			MA	80	72
			G	90	81
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 44, 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 de riego bruta en los diferentes niveles del sistema de riego. Por ejemplo, partiendo de maíz para grano cuyos requerimientos netos son de 812 mm.año<sup>-1</sup>, si el método de riego a usar es aspersión (pívot) con una eficiencia de 75%, debería recibirse anualmente en bocatoma de la propiedad una lámina de 1.082 mm (812 mm.año<sup>-1</sup> /0,75) que representa 1082 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. año<sup>-1</sup>. Si se asume que el sistema de riego posee una eficiencia de distribución y conducción del 98% para cada una de ellas, la lámina de riego a recibir en bocatoma de canal 2° será de 1104 mm.año<sup>-1</sup> y en bocatoma de canal 1° (cabecera del sistema de riego) será de 1127 mm.año<sup>-1</sup>. 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 45: Requerimiento neto de riego, lámina en bocatoma de finca, lámina en bocatoma de canal secundario, lámina en bocatoma de canal primario (cabecera del sistema), método de riego y eficiencias de aplicación, distribución y conducción en el proyecto Negro muerto, Rio Negro**

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 de aplicación		Eficiencia de distribución	Eficiencia de conducción	
		Goteo	Aspersión	98%	98%	
		90%	75%			
Maíz grano	812	N/A	1082	1104	1127	Aspersión
Maíz silo	780	N/A	1040	1061	1082	Aspersión
Alfalfa heno	1265	N/A	1687	1721	1756	Aspersión
Sorgo silo	742	N/A	989	1009	1030	Aspersión
Verdeos de invierno (silo)	477	N/A	636	649	662	Aspersión
Cebolla	861	956	N/A	976	996	Goteo
Nogal	1301	1445	N/A	1474	1505	Goteo
Cerezo	1052	1169	N/A	1193	1218	Goteo

N/A= no aplica

**R. Dotaciones de riego (caudal ficticio continuo)**

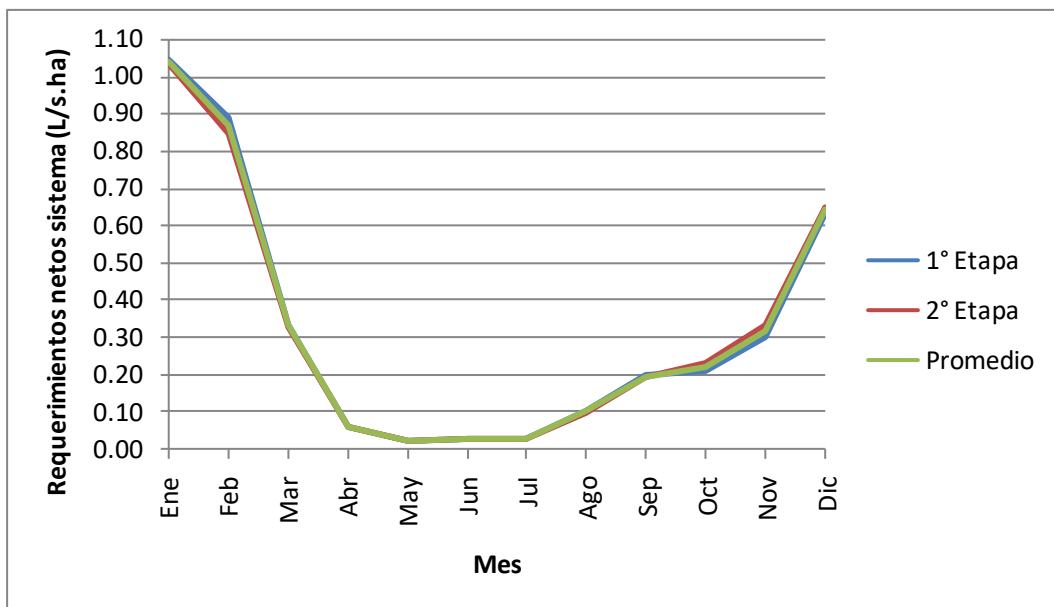
La Tabla 46 contiene los requerimientos netos del sistema y las dotaciones de riego para distintas eficiencias del sistema de riego. Se calculó el promedio de todas las etapas de los requerimientos netos del sistema y se afectó dicho promedio por cuatro niveles de eficiencia del sistema según la infraestructura 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%.

**Tabla 46: 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
<b>Etapa</b>	<b>Requerimientos netos del sistema (L/s.ha)</b>											
1°	1.04	0.89	0.33	0.06	0.02	0.03	0.03	0.10	0.20	0.21	0.30	0.63
2°	1.04	0.85	0.33	0.06	0.02	0.03	0.03	0.10	0.20	0.23	0.33	0.65
Promedio	1.04	0.87	0.33	0.06	0.02	0.03	0.03	0.10	0.20	0.22	0.32	0.64
<b>Eficiencia</b>	<b>Dotaciones de riego del sistema para distintas eficiencias (L/s.ha)</b>											
<b>50%</b>	2.08	1.74	0.67	0.12	0.04	0.05	0.05	0.20	0.39	0.44	0.63	1.28
<b>65%</b>	1.60	1.34	0.51	0.09	0.03	0.04	0.04	0.16	0.30	0.34	0.49	0.99
<b>73%</b>	1.42	1.19	0.46	0.08	0.03	0.04	0.03	0.14	0.27	0.30	0.43	0.88
<b>83%</b>	1.25	1.05	0.40	0.07	0.03	0.03	0.03	0.12	0.24	0.27	0.38	0.77

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.



**Figura 27: Requerimientos netos del sistema para una probabilidad del 75% de ETo en Negro Muerto, Rio Negro**

Considerando una eficiencia del sistema del 73%, la dotación seleccionada para el diseño de la red de canales y/o tuberías es de 1.42 L/s.ha. Dicho valor será confirmado de acuerdo a la infraestructura que tendrá el proyecto.

**S. Disponibilidad hídrica de la cuenca**

El proyecto tiene como fuente de agua al río Negro, que prevé abastecer la zona del proyecto Negro Muerto de 74000 hectáreas a partir del canal matriz y estaciones de bombeo.

El derrame medio anual del río Negro en la estación de aforo Paso Córdoba perteneciente a la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina (SSRH) es de 29809 hm<sup>3</sup>, con un máximo de





AÑO	CAUDALES MEDIOS MENSUALES(m <sup>3</sup> /seg)												DERRAME ANUAL [mm]	CAUDAL ESPECÍFICO [l/s/km <sup>2</sup> ]	ESCURR. SOBRE LA CUENCA [mm]	CAUDALES(m <sup>3</sup> /s)		
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR				MÁXIMO DIARIO	MÍNIMO DIARIO	MEDIO ANUAL
FROM	433	709	1.117	1.100	1.235	1.110	1.250	1.370	1.135	729	495	456	29.009	10.8	335	2.583	285	540
MAX	1.222	1.094	2.983	2.644	2.747	2.018	2.282	2.484	2.501	1.585	1.085	1.125	48.000	17.4	549	5.975	539	1.550
MIN	103	165	289	402	420	195	371	373	399	201	140	95.0	14.596	9.13	162	751	80.0	456
DURACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES - PERIODO 1922-23/2012-13 ** 89 AÑOS CON REGISTRO **																		
	MÍNIMO	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	MÍNIMO			
CAUDALES (m <sup>3</sup> /s)	2.905	2.007	1.729	1.994	1.292	1.195	1.001	540	673	549	507	448	334	235	95.0			
% DEL MÓDULO	516	212	185	148	137	126	108	88.9	71.3	56.1	53.7	47.4	35.4	27.0	19.1			

Un análisis estadístico de los derrames en Paso Córdoba de los ciclos 1922/23 al 2012/13 (68 años) de abril a marzo presenta los siguientes resultados:

**Tabla 48: 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 (Hm<sup>3</sup>) en la estación Paso Córdoba, Rio Negro**

Sitio	N°	Media	D.E.	CV	Min	Max	Mediana
Paso Córdoba	68	29809	8052	27	14396	48880	29625

**Tabla 49: Percentiles (P, %) de los derrames (Hm<sup>3</sup>) en la estación Paso Córdoba, Rio Negro**

Sitio	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95
Paso Córdoba	17119	19332	23957	29625	35806	40429	43846

Se presenta a continuación un análisis de la disponibilidad del recurso hídrico del área para satisfacer 74000 hectáreas nuevas para riego.

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

- 1) Derrame del río para diferentes percentiles en la estación Paso Córdoba.
- 2) Superficie nueva a regar: 74000 Hectáreas
- 3) Volumen de regulación: dado que el río Negro nace a partir de la confluencia de los ríos Limay y Neuquén, se contemplaron en el volumen de regulación las obras sobre el río Limay (Alicurá, Piedra del Águila, Pichi Picún Leufú, Chocón y Arroyito) y sobre el río Neuquén (el Complejo Hidroeléctrico Cerros Colorados), siendo en este caso de 64937 hm<sup>3</sup> (ORSEP, 2016).
- 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 área del 25%.
- 6) Se estima, según información obtenida del documento Estudio del Potencial de Ampliación del Riego en Argentina (FAO, 2015b), que actualmente con el río Negro se riegan 94700 hectáreas, a las cuales se les restó la superficie correspondiente al valle de río Negro que se riega a partir del dique Ballester estimada en 60000 hectáreas y se sumaron las nuevas áreas de riego previstas en los proyectos “Mari Menuco: 15000

hectáreas” y “Patagonia Sustentable: 8563 hectáreas” ubicadas aguas arriba de la confluencia de los ríos Neuquén y Limay, resultando una superficie total de 58263 ha.

- 7) Se ha considerado una necesidad neta de riego para los cultivos del área de 10060 m<sup>3</sup>/ha año (1006 mm/año).
- 8) Se ha asumido una eficiencia de los sistemas de riego (conducción, distribución y aplicación) ya existentes en el área de estudio 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.
- 9) Se ha estimado el consumo de agua humano a razón de 450 L/día por persona para una población de 386510 habitantes que se abastecen del río Negro.
- 10) Se ha considerado un consumo industrial similar al poblacional (humano).
- 11) Se ha considerado la misma demanda de agua para la nueva área a regar (74000 hectáreas) pero con una eficiencia de riego del 73%. Ello determina una extracción de 13781 m<sup>3</sup>/ha año.

Con todos estos supuestos se ha confeccionado la siguiente tabla para los distintos percentiles de agua disponible:

**Tabla 50: Análisis de la disponibilidad hídrica a partir de la estación Paso Córdoba para distintos percentiles de derrames anuales**

Percentil (%)	Derrame Anual (Hm <sup>3</sup> )	Volumen de regulación (Hm <sup>3</sup> )	Número de veces que el derrame puede ser almacenado en obra de regulación	Afectación por Cambio Climático sobre del derrame	Uso ecológico sobre el derrame	Superficie cultivada actual (ha)
5	17119	64937	3.79	0.10	0.25	58263
10	19332	64937	3.36	0.10	0.25	58263
25	23957	64937	2.71	0.10	0.25	58263
50	29625	64937	2.19	0.10	0.25	58263
75	35806	64937	1.81	0.10	0.25	58263
90	40429	64937	1.61	0.10	0.25	58263

**Tabla 51: Continuación**

Demanda agrícola bruta comprometida (Hm <sup>3</sup> )	Consumo Agrícola	Población de la cuenca (hab)	Consumo unitario equivalente (L/día)	Consumo poblacional comprometido (Hm <sup>3</sup> )	Fracción de consumo población sobre el derrame	Fracción del uso industrial sobre el derrame
1396	0.08	386510	450	63.5	0.004	0.004

1396	0.07	386510	450	63.5	0.003	0.003
1396	0.06	386510	450	63.5	0.003	0.003
1396	0.05	386510	450	63.5	0.002	0.002
1396	0.04	386510	450	63.5	0.002	0.002
1396	0.03	386510	450	63.5	0.002	0.002

**Tabla 52: Continuación**

<b>Fracción comprometida sobre el derrame anual</b>	<b>Derrame disponible (Hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Demanda bruta agrícola del proyecto (Hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Relación derrame disponible / demanda bruta del proyecto</b>
0.44	9605	1020	9.4
0.43	11043	1020	10.8
0.41	14049	1020	13.8
0.40	17734	1020	17.4
0.39	21751	1020	21.3
0.39	24756	1020	24.3

**Conclusión:** el agua disponible desde el río Negro es suficiente para abastecer al proyecto de 74000 hectareas bajo riego. 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, 1<sup>th</sup> edition Wageningen. The Netherlands.

Bos, M.G. y J. Nugteren. 1982. On irrigation efficiencies. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Publication 19, 3<sup>th</sup> 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. 2015a. Desarrollo Institucional para la Inversión UTF/ARG/017.DT N°2-Disponibilidad de recursos y condiciones agroclimáticas de la provincia de Rio Negro. Argentina.

FAO. 2015b. Estudio de potencial de ampliación de riego en Argentina, Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-92-5-308995-6.

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

### Listado de cultivos

#### 1. Pasturas, cereales y oleaginosas

**Tabla 53: 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
Coefficiente 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 54: 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

Coefficiente 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 55: 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 56: 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	0.40	0.40	1.30	0.50	1.25

(Ky)					
Altura del cultivo (m)	2.00				

**Tabla 57: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Polifíticas base alfalfa)**

Nombre del cultivo:	pasturas polifíticas	Siembra:	1º/04	Cosecha	31/03
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente 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 58: 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
Coefficiente 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 59: 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
Coefficiente 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 60: 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 61: 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 62: 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 63: 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				
------------------------	-----	--	--	--	--

## 2. Forestales / Frutales

**Tabla 64: 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 65: 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 66: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Frutales de pepita: Manzano, peral)**

Nombre del cultivo:	Manzano,	Siembra:	01/10	Cosecha	15/04
---------------------	----------	----------	-------	---------	-------

	peral				
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 67: 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 68: 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 69: 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 70: 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				

### 3. Hortalizas

**Tabla 71: 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 72: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Cebolla Sintética)**

Nombre del cultivo:	Cebolla Sintética	Siembra:	15/09	Cosecha	13/03
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coefficiente 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 73: 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
Coefficiente 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 74: 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
Coefficiente 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 75: 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 76: 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 77: 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 78: 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		

#### T. Clasificación climática de Papadakis

**Tabla 79: 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)
<b>Ecuatorial</b>	---	<b>Ec</b>	>7	>18	
<b>Tropical</b>	cálido	<b>Tp</b>	>7	13 a 18	>21
	medio	<b>tP</b>	>7	8 a 13	>21
	fresco	<b>tp</b>	>7	---	<21
<b>Citrus</b>	tropical	<b>Ct</b>	-2.5 a 7	>8	>21
	---	<b>Ci</b>	-2.5 a 7	---	10 a 21
<b>Avena</b>	cálida	<b>Av</b>	-10 a -2,5	>-4	>10
	fresca	<b>av</b>	>-10		5 a 10
<b>Triticum</b>	avena-trigo	<b>Tv</b>	-29 a -10	---	>5
	cálido	<b>Ti</b>	>-29	---	0 a 5
	fresco	<b>ti</b>	>-29	---	<0

**Tabla 80: Tipo de verano en función los distintos periodos 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]	$T_{12}$	$t_{12}$		
$1/n \cdot \Sigma i = 13 - n T_i$						
Gossypium	Cálido	G	>4.5 [m]	>25 [6]	>33.5	---
	Fresco	g	>4.5 [m]	>25 [6]	<33.5	>20
Coffee	---	c	=12 [m]	>21 [6]	<33.5	<20
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 81: 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 82: 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 (ET<sub>o</sub>) (Papadakis, 1966)**

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

**Nota: HU (siempre húmedo):** todos los meses son húmedos, **Hu (húmedo):** uno o más meses son intermedios, **Me(húmedo):** L<sub>n</sub> mayor que el 20% de la evapotranspiración potencial (ETP) anual y/o índice anual de humedad mayor de 0.88, **Me (seco):** L<sub>n</sub> 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 83: Clasificación agroclimática por su régimen hídrico (Papadakis, 1966)**

RÉGIMEN HÍDRICO		CARACTERÍSTICAS	
<b>Húmedo</b> I <sub>h</sub> > 1 L <sub>n</sub> > 0.20 ETP	Permanente	<b>HU</b>	Todos los meses húmedos
	No permanente	<b>Hu</b>	No todos húmedos
<b>Mediterráneo</b> Latitud > 20° Precipitación: invernal > estival	Húmedo	<b>ME</b>	L <sub>n</sub> > 0.20 ETP y/o I <sub>h</sub> > 0.88
	Seco	<b>Me</b>	L <sub>n</sub> < 0.20 ETP, 0.22 < I <sub>h</sub> < 0.88
	Semiárido	<b>me</b>	Más seco que el anterior
<b>Monzónico</b>	Húmedo	<b>MO</b>	L <sub>n</sub> > 0.20 ETP y/o I <sub>h</sub> > 0.88
	Seco	<b>Mo</b>	L <sub>n</sub> < 0.20 ETP, 0.44 < I <sub>h</sub> < 0.88
	Semiárido	<b>mo</b>	I <sub>h</sub> < 0.44
<b>Estepario</b>		<b>St</b>	Primavera no seca; latitud > 20°
<b>Desértico</b> (los meses con T > 15°C son secos)	Absoluto	<b>da</b>	I <sub>hm</sub> < 0.25 y si t <sub>m</sub> > 15°C I <sub>h</sub> < 0.09
	Mediterráneo	<b>de</b>	Lluvia invernal mayor que estival
	Monzónico	<b>do</b>	Julio y agosto menos secos que abril y mayo
	Isohigro	<b>di</b>	Ninguno de los anteriores
<b>Isohigro semiárido</b>		<b>si</b>	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 84: Clasificación de las unidades climáticas y sus subdivisiones en función del régimen térmico e hídrico (Papadakis, 1966)**

<b>UNIDAD CLIMÁTICA</b>	<b>SUBUNIDAD CLIMÁTICA</b>	<b>REGIMEN TERMICO</b>	<b>REGIMEN HIDRICO</b>
<b>TROPICAL</b>	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
<b>TIERRA FRIA</b>	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

<b>DESERTICO</b>	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
<b>SUBTROPICAL</b>	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)
<b>PAMPEANO</b>	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
<b>MEDITERRANEO</b>	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 continental	CO, Co, co, TE, Te, te	me
<b>MARITIMO</b>	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
<b>CONTINENTAL HUMEDO</b>	Continental cálido	CO	HU, Hu, Mo
	Continental semi-cálido	Co	HU, Hu, MO
	Continental frío	co	HU, Hu, MO
<b>ESTEPARIO</b>	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
<b>POLAR</b>	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

**U. Clasificación climática de Thornthwaite**

**Tabla 85: 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 <sub>1</sub>	Seco subhúmedo	$0 \geq Im > -20$
C <sub>2</sub>	Subhúmedo	$20 \geq Im > 0$
B <sub>1</sub>	Húmedo	$40 \geq Im > 20$
B <sub>2</sub>		$60 \geq Im > 40$
B <sub>3</sub>		$80 \geq Im > 60$
B <sub>4</sub>		$100 \geq Im > 80$
A	Perhúmedo	$Im > 100$

**Tabla 86: 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 <sub>2</sub> (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 <sub>2</sub>	Falta de agua estival grande	$Ia > 33,3$ Falta estival
w <sub>2</sub>	Falta de agua invernal grande	$Ia > 33,3$ Falta invernal
Sólo para los tipos climáticos en función de la humedad C <sub>1</sub> , 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 <sub>2</sub>	Exceso de agua invernal grande	$Ih \geq 20$ Exceso invernal
w <sub>2</sub>	Exceso de agua estival grande	$Ih \geq 20$ Exceso estival

**Tabla 87: 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 <sub>1</sub>	Microtérnico	$427 \geq \text{ETP} > 285$
C <sub>2</sub>		$570 \geq \text{ETP} > 427$
B <sub>1</sub>	Mesotérnico	$712 \geq \text{ETP} > 570$
B <sub>2</sub>		$855 \geq \text{ETP} > 712$
B <sub>3</sub>		$997 \geq \text{ETP} > 855$
B <sub>4</sub>		$1140 \geq \text{ETP} > 997$
A'	Megatérnico	$\text{ETP} > 1140$

**Tabla 88: Clasificación del tipo climático según la concentración estival de la eficacia térmica (ETP<sub>v%</sub>) (Thornthwaite, 1948)**

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