

# Programa Desarrollo de Nuevas Áreas Bajo Riego

## Proyecto MESETA INTERMEDIA Perfil de Proyecto Componente Riego PROVINCIA DE CHUBUT



### AUTORES

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

## ÍNDICE GENERAL

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>II.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>A.</b>	<b>Área de estudio .....</b>	<b>3</b>
<b>B.</b>	<b>Periodo libre de heladas .....</b>	<b>4</b>
<b>C.</b>	<b>Clasificación climática.....</b>	<b>4</b>
1.	Papadakis.....	5
2.	Thornthwaite .....	5
<b>D.</b>	<b>Determinación de la Evapotranspiración .....</b>	<b>6</b>
<b>E.</b>	<b>Disponibilidad hídrica de la cuenca .....</b>	<b>8</b>
<b>III.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>9</b>
<b>F.</b>	<b>Datos agro-meteorológicos de la estación Trelew Aeropuerto .....</b>	<b>9</b>
<b>G.</b>	<b>Periodo libre de heladas .....</b>	<b>13</b>
<b>H.</b>	<b>Clasificación climática de Papadakis .....</b>	<b>14</b>
3.	Tipo de invierno .....	14
4.	Tipo de verano.....	14
5.	Tipo de clima.....	15
<b>I.</b>	<b>Clasificación climática de Thornthwaite.....</b>	<b>16</b>
6.	Determinación de ETo.....	16
<b>J.</b>	<b>Determinación de la precipitación efectiva .....</b>	<b>18</b>
<b>K.</b>	<b>Cultivos y parámetros para el cálculo de las necesidades de riego .....</b>	<b>19</b>
<b>L.</b>	<b>Evapotranspiración de los cultivos.....</b>	<b>20</b>
<b>M.</b>	<b>Modelos de cultivos.....</b>	<b>22</b>
7.	1° etapa.....	24
8.	2° etapa.....	25
<b>N.</b>	<b>Necesidad de riego de los cultivos.....</b>	<b>27</b>
<b>O.</b>	<b>Eficiencias de los sistemas de riego.....</b>	<b>30</b>
<b>P.</b>	<b>Requerimiento bruto de riego a nivel de bocatomas en propiedad, en canal secundario y en canal primario (cabecera del sistema) .....</b>	<b>44</b>
<b>Q.</b>	<b>Dotaciones de riego (caudal ficticio continuo) .....</b>	<b>46</b>
<b>R.</b>	<b>Disponibilidad hídrica de la cuenca .....</b>	<b>47</b>
<b>IV.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>51</b>
<b>V.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>53</b>
<b>S.</b>	<b>Listado de cultivos .....</b>	<b>53</b>
9.	Pasturas, cereales y oleaginosas.....	53
10.	Forestales / Frutales.....	57

11.	Hortalizas .....	59
<b>T.</b>	<b>Clasificación climática de Papadakis .....</b>	<b>62</b>
<b>U.</b>	<b>Clasificación climática de Thornthwaite.....</b>	<b>68</b>
<b>V.</b>	¡Error! Marcador no definido.	

## **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 “Meseta intermedia” en la provincia de Chubut para determinar la dotación de riego que se usará para el diseño de la red de riego, ya sean canales o tuberías.

## **II. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **A. Área de estudio**

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

**Tabla 1: Características principales de la estación meteorológica Trelew Aeropuerto del proyecto Meseta intermedia, Chubut**

Estación del SMN	Número de identificación	Coordenadas		Altitud	Periodo de la serie analizada
		Latitud	Longitud		
Trelew Aeropuerto	87828	43 14 S	65 18 W	39 m	1996-2016



**Figura 1: Ubicación de la estación meteorológica Trelew Aeropuerto y del proyecto de riego Meseta intermedia en la provincia de Chubut**

### **B. Periodo libre de heladas**

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

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

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

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

### **C. Clasificación climática**

Se efectuó un análisis de toda la información agroclimática disponible de la estación meteorológica próxima al área de estudio (Trelew Aeropuerto).

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

## 1. Papadakis

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

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

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

- la estación libre de heladas en meses.
- la media de las temperaturas medias máximas de los 2, 4 o 6 meses más cálidos del año ( $1/n \sum_i = 13 - n T_i$ , 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 Trelew Aeropuerto, y solamente tener el dato de temperatura mínima mensual (no media) que representa el día más frío del mes, se considera que la ELH es disponible.

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

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

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

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

## 2. Thornthwaite

Thornthwaite (1948) se basó en una serie de índices calculados a partir de la temperatura media, reflejada a través de la evapotranspiración potencial de referencia, y de las precipitaciones reales

de una localidad. Una vez obtenidos dichos valores, se podrá clasificar el clima de acuerdo las escalas dadas por el autor, para cada parámetro.

Dichos índices son:

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

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

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

El índice de humedad (Im) representa la cantidad de agua sobrante menos el 60% del agua en déficit y determina qué cantidad de agua hay presente en el sistema.

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

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

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

#### 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 (ET<sub>o</sub>) por el método FAO Penman – Monteith, que es la siguiente (Allen et al., 1998):

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

- donde: ET<sub>o</sub>: Evapotranspiración del cultivo de referencia ( $\text{mm día}^{-1}$ )  
 $R_n$ : Radiación neta en la superficie del cultivo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ )  
 $G$ : densidad del flujo de calor del suelo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ )  
 $\gamma$ : Constante psicrométrica ( $\text{s m}^{-1}$ )  
 $T$ : Temperatura diaria media del aire a 2 m de altura ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\mu_2$ : Velocidad del viento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ )  
 $e_s$ : Presión de vapor a saturación (kPa)  
 $e_a$ : Presión de vapor actual (kPa)  
 $e_s - e_a$ : Déficit de presión de saturación (kPa)  
 $\Delta$ : Pendiente de la curva de presión de vapor ( $\text{kPa °C}^{-1}$ )

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

Se llama Evapotranspiración de Referencia (Allen et al., 1998) (ET<sub>o</sub>), 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  $\text{s.m}^{-1}$  y un albedo de 0,23. Esta superficie de referencia es aproximadamente equivalente a una superficie de pasto verde de altura uniforme, en activo crecimiento, que cubre completamente el suelo y con un suministro adecuado de agua.

Los únicos factores que afectan estos valores de 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 precipitación.

Para el presente trabajo fue necesario ordenar la información disponible de las distintas variables meteorológicas de la estación de estudio del Servicio Meteorológico Nacional (SMN): Trelew Aeropuerto. 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 CROPWAT (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 ETo mensual en cada estación meteorológica seguían una distribución normal. Una vez verificada la normalidad de la muestra se realizó el cálculo de las distintas probabilidades de ocurrencia de ETo (90 %, 75 %, 50 % y 25 %) para ello se utilizó el programa Infostat (Di Rienzo et al, 2015). El cálculo fue realizado para cada una de las estaciones consideradas. Se compararon los valores de ETo de las dos estaciones analizadas para las probabilidades de ocurrencia de 50 % y 75% con el objeto de definir su utilización individual o conjunta.

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

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

$$ET_c = ET_o \cdot K_c$$

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

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

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

### **E. Disponibilidad hídrica de la cuenca**

El presente estudio analiza la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Chubut 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 los caudales de la cuenca producto de la reducción de las precipitaciones como consecuencia del impacto climático.

Para el cálculo de la disponibilidad hídrica del río Chubut, a la altura del proyecto (Meseta Intermedia), y a fin de justificar el 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 agro-meteorológicos de la estación Trelew Aeropuerto

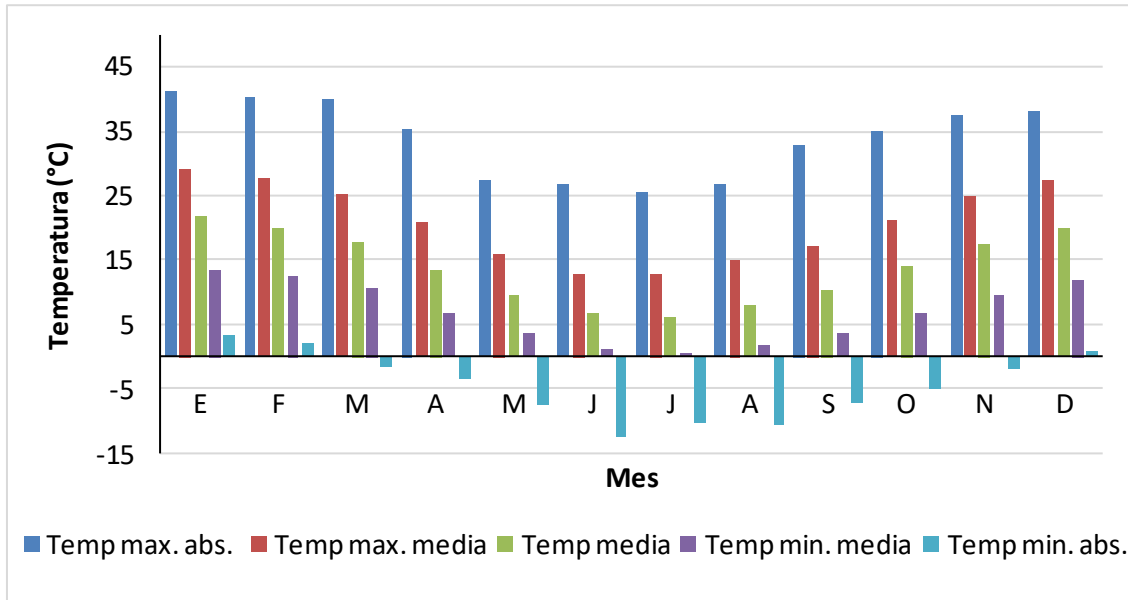
La Tabla 2 presenta los datos estadísticos de dicha estación para la serie de años 1996 – 2016.

**Tabla 2: Datos de los parámetros meteorológicos relevantes de la estación Trelew Aeropuerto\* (SMN, 2016)**

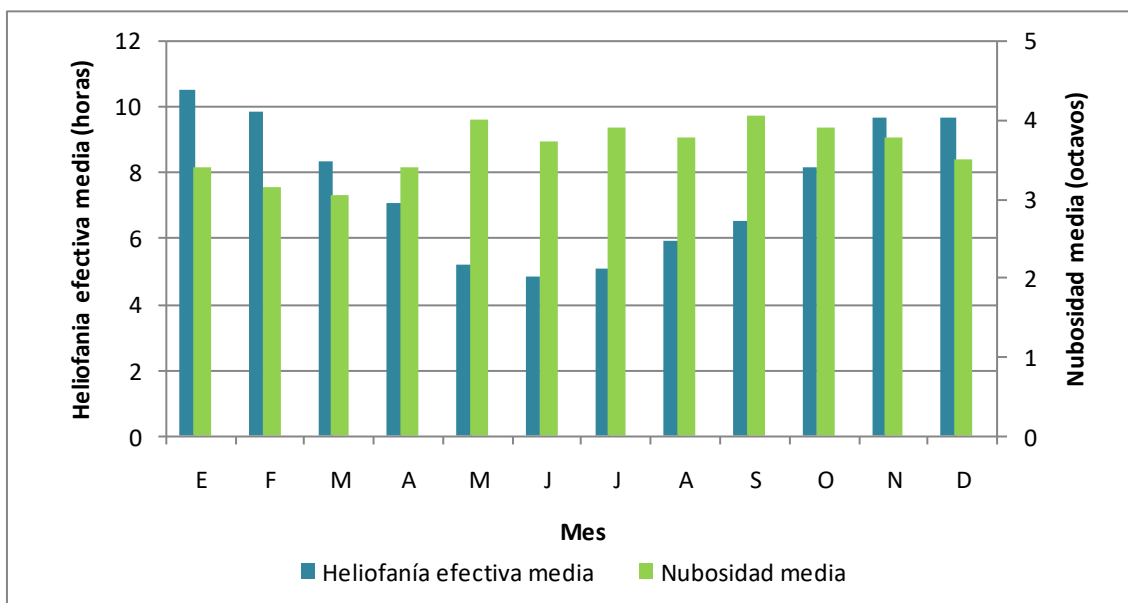
MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N° años (1996 – 2016)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	20
Temperatura máxima absoluta (°C)	41	40	40	35	27	27	26	27	33	35	38	38
Temperatura máxima media (°C)	29	28	25	21	16	13	13	15	17	21	25	27
Temperatura media (°C)	22	20	18	14	10	7	6	8	10	14	17	20
Temperatura mínima media (°C)	14	13	11	7	4	1	1	2	4	7	10	12
Temperatura mínima absoluta (°C)	3	2	-2	-4	-8	-12	-10	-11	-7	-5	-2	1
Velocidad viento promedio km/h (a 10 m)	25	23	20	18	16	16	18	18	18	22	23	24
Humedad relativa media (%)	42	51	52	56	65	67	66	61	58	50	44	42
Heliofanía relativa media (horas)	11	10	8	7	5	5	5	6	7	8	10	10
Nubosidad media (octavos)	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
Precipitación media (mm)	11	27	17	26	22	21	19	14	17	17	15	11

\*Nota: datos suministrados por el SMN, 2016.

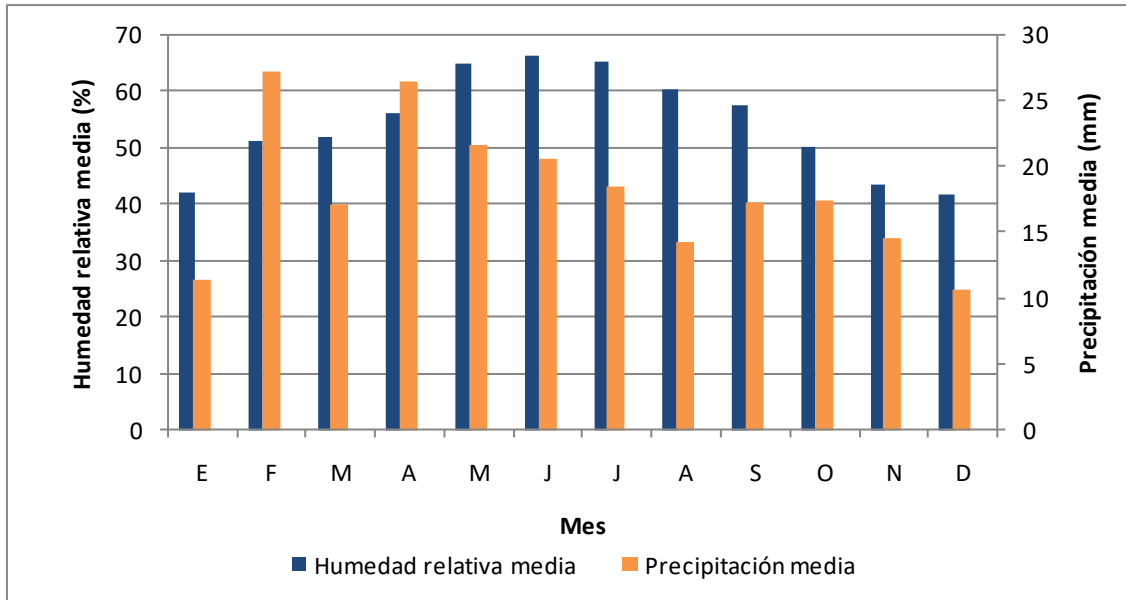
Como puede verse la temperatura máxima absoluta en dicho periodo ha alcanzado un valor de 41,2 °C, la mínima absoluta un valor de -12,3 °C y la temperatura media anual es de 13,8 °C con extremos de 21,6 °C en enero y 6,2 °C en el mes de julio. La velocidad del viento a 10 m de altura de medición varía entre 16,3 (mayo) y 24,6 km/h (enero), siendo el valor medio anual de 20,2 km/h. Si se analiza la humedad relativa la zona presenta un valor medio anual de 54,4 % con valores extremos de 66,6% en junio y de 41,9% en diciembre. En lo que respecta a la heliofanía relativa media el área tiene un valor medio anual de 7,6 horas/día con extremos medios anuales de 10,5 horas/día en enero y de 4,9 horas/día en junio. La precipitación media anual es de 218 mm. Con esta información se elaboraron la Figura 2, Figura 3 y la Figura 4.



**Figura 2: Temperaturas máximas absolutas, máximas medias, medias, mínimas medias y mínimas absolutas de la estación Trelew Aeropuerto**



**Figura 3: Heliofanía relativa media y Nubosidad de la estación Trelew Aeropuerto**



**Figura 4: Humedad relativa media y precipitación media de la estación Trelew Aeropuerto**

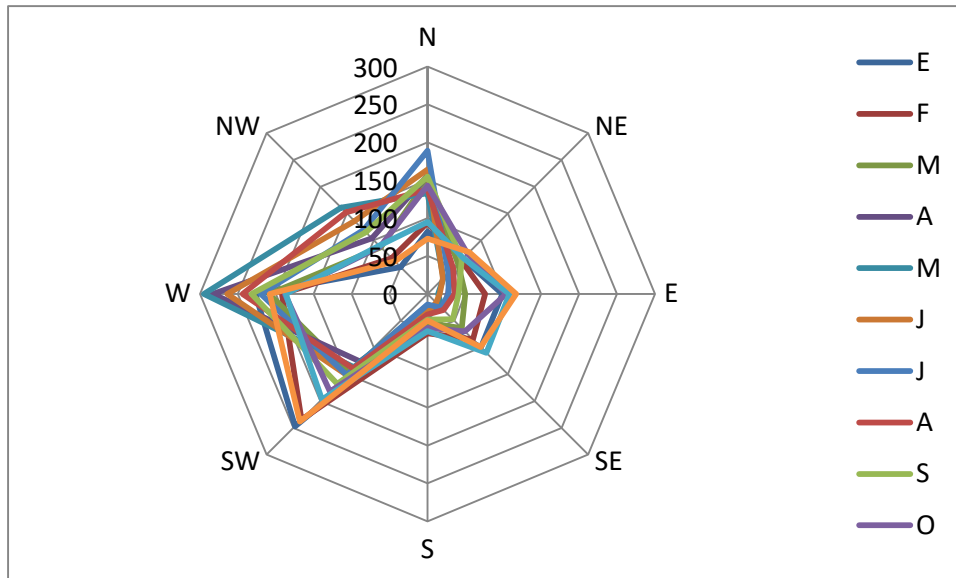
La Tabla 3 sintetiza la información referida a velocidad y dirección de los vientos.

**Tabla 3: Frecuencia de direcciones de vientos sobre la base de 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 Trelew Aeropuerto\* (SMN, 1971)**

Dirección/mes *	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	82	94	150	156	133	164	189	138	155	143	95	73
NE	66	63	57	44	30	29	39	48	64	75	67	78
E	99	76	50	27	14	16	28	36	41	104	108	117
SE	100	85	64	28	28	16	26	30	47	70	110	99
S	31	52	38	24	15	24	14	27	34	45	49	35
SW	247	235	147	126	137	151	151	139	168	182	197	238
W	227	192	209	283	295	264	220	244	232	188	187	208
NW	50	67	87	104	161	136	119	152	115	88	90	61

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

La **Figura 5** permite observar con claridad que la mayor parte del tiempo el viento sopla del cuadrante Oeste (W) y del Sud-Oeste (SW).



**Figura 5: Frecuencia de direcciones de vientos (escala de 1000) de la estación Trelew Aeropuerto\* (SMN, 1971)**

La Tabla 4 y Figura 6 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) de la estación Trelew Aeropuerto\* (SMN, 1971)**

Dirección/mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>N</b>	35	33	33	28	30	30	28	28	31	37	31	33
<b>NE</b>	31	31	26	24	21	24	24	19	28	24	30	31
<b>E</b>	20	20	17	11	15	15	17	13	17	20	19	22
<b>SE</b>	26	26	22	20	16	19	20	20	20	22	26	28
<b>S</b>	26	30	31	28	22	22	20	28	24	30	31	30
<b>SW</b>	35	31	30	30	30	30	26	30	30	35	31	35
<b>W</b>	35	33	30	26	24	24	26	28	20	33	35	39
<b>NW</b>	30	26	22	22	22	22	24	22	26	26	30	30

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

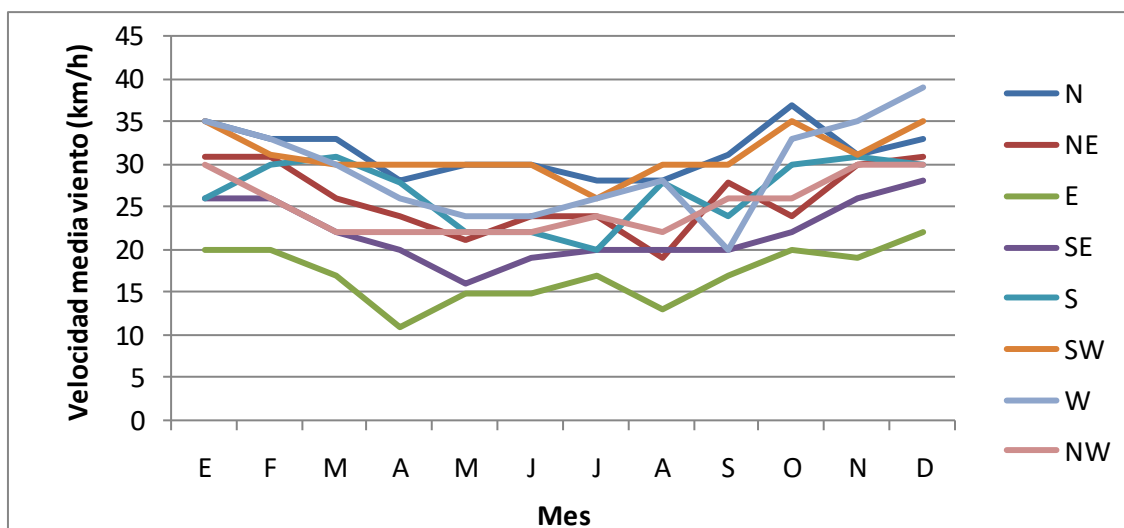


Figura 6: Velocidad media de vientos (km/h), estación Trelew Aeropuerto\* (SMN, 1971)

### G. Periodo libre de heladas

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 Trelew Aeropuerto. Se observa que no se registraron valores de temperatura media mínima por debajo de 0°C en cada mes de la serie analizada. Sin embargo, se deduce un periodo de heladas “muy probable” (0°C < T < 3°C) entre los meses de mayo y setiembre, y un periodo de heladas “muy probable y probable” (3°C < T < 7°C) entre los meses de abril y octubre.

Tabla 5: Temperaturas medias mínimas mensuales y periodos de heladas en la estación Trelew Aeropuerto (1996-2016, SMN), Chubut (Emberger, 1955)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	Di
Temp. media mínima (°C)	13.6	12.5	10.6	6.7	3.5	1.0	0.5	1.9	3.7	6.8	9.5	11.9
T < 0°C												
0°C < T < 3°C												
3°C < T < 7°C												

En la Tabla 6 se observa que la duración del período con riesgo de heladas, considerando intervalos de temperatura media mínima de 0 a 3°C y de 0°C a 7°C, es de 105 y 188 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 260 y 177 días respectivamente

Tabla 6: Regímenes de heladas en la estación Trelew Aeropuerto (1996-2016, SMN), Chubut (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°C < T < 3°C	Muy probable	21-may	03-sep	105	260
0°C < T < 7°C	Muy probable y probable	12-abr	17-oct	188	177

## H. Clasificación climática de Papadakis

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

### 3. Tipo de invierno

En la Tabla 7, se muestran los datos de temperaturas del mes más frío del año (Julio) en la estación Trelew Aeropuerto.

**Tabla 7: Datos meteorológicos de Trelew Aeropuerto (SMN, 1996-2016) del mes más frío del año: temperatura mínima absoluta ( $t'a_1$ ), temperatura media de mínimas ( $t_1$ ) y temperatura media de máximas ( $T_1$ )**

Estación (SMN) / Mes más frío del año	$t'a_1$ (°C)	$t_1$ (°C)	$T_1$ (°C)
Trelew Aeropuerto (Julio)	-10.2	0.5	12.8

Los datos del SMN para la estación Trelew Aeropuerto presentan un solo valor de temperatura mínima absoluta de julio en los 20 años de la serie analizada. 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 la estación Trelew Aeropuerto (-10.2 °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)**, debido a que para el mes de Julio la temperatura media de mínimas absolutas se encuentra entre -10°C y -2.5°C, la temperatura media de mínimas es >-4°C y la temperatura media de máximas es >10°C. Este tipo de invierno es suficientemente suave para plantar avena en otoño y demasiado frío para cultivar cítricos.

### 4. Tipo de verano

A continuación, se muestran los datos de temperatura de los seis meses más cálidos del año, siendo enero el que registró las mayores temperaturas medias en la estación Trelew Aeropuerto.

**Tabla 8: 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 la estación Trelew Aeropuerto para la serie de años 1996-2016 (SMN)**

Estación (SMN)	Meses más cálidos	Temperatura media máxima (°C)	$1/n \sum i$ (°C)	$1/n \sum i$ (°C)	Enero	
					$T_{12}$ (°C)	$t_{12}$ (°C)
Trelew Aeropuerto	Ene	29.3	26	27.4	29.3	13.6
	Feb	27.7				
	Dic	27.3				



	Mar	25.3				
	Nov	24.8				
	Oct	21.3				

Según la clasificación, corresponde al **tipo de verano “Maíz” (M)**, debido a que la estación libre de heladas es > 4.5 meses, la temperatura media de la media de máximas de los 6 meses más cálidos es > 25°C y la temperatura media de máximas del mes más cálido es > 21° (ver anexo). Este tipo de verano se caracteriza por ser suficientemente cálido para cultivar maíz y marginal para arroz.

- **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).

- **Régimen hídrico**

La Tabla 9 muestra los datos meteorológicos necesarios para la clasificación del régimen hídrico.

**Tabla 9: Evapotranspiración de referencia (ETo) media diaria y mensual, precipitación media mensual, temperatura media mensual, índice de precipitación de lavado (Ln), índice de humedad anual (Ih) y clasificación del mes desde el punto de vista hídrico en la estación Trelew Aeropuerto (1996-2016, SMN).**

	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	
ETo diaria (mm.día <sup>-1</sup> )	8	7	5	3	2	2	2	2	3	5	7	8	
ETo mensual (mm.mes <sup>-1</sup> )	249	182	155	100	60	44	49	70	92	149	195	233	1577
25% ETo (mm.mes <sup>-1</sup> )	62	45	39	25	15	11	12	17	23	37	49	58	
50% ETo (mm.mes <sup>-1</sup> )				50	30	22	25						
Precipitación media (mm)	11	27	17	26	22	21	19	14	17	17	15	11	218
Temp. media (°C)	22	20	18	14	10	7	6	8	10	14	17	20	
Ln	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ih	0.14												
Clasificación del mes (A= árido, S=seco)	A	A	A	S	S	S	S	A	A	A	A	A	

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

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 cubre menos del 50% de la ETo anual.

## 5. Tipo de clima

La clasificación agroclimática final del área 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

Con los datos meteorológicos de la estación Trelew Aeropuerto, se confeccionó una tabla con los índices de Thornthwaite.

**Tabla 10: Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), precipitación media mensual, almacenaje acumulado, déficit y exceso de agua en el suelo y evapotranspiración total real (ET<sub>r</sub>) en la estación Trelew Aeropuerto (1996-2016, SMN) según Thornthwaite (1948)**

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
ET <sub>o</sub> diaria (mm.día <sup>-1</sup> )	8	6	5	3	2	1	2	2	3	5	7	8	4
ET <sub>o</sub> mensual (mm.mes <sup>-1</sup> )	249	182	155	100	60	44	49	70	92	149	195	233	1577
Precipitación media mensual (mm)	12	11	12	9	15	5	22	14	8	18	18	9	153
Almacenaje acumulado de agua (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Déficit de agua (mm)	237	171	143	91	45	39	27	56	84	131	177	224	1424
Exceso de agua (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ET <sub>r</sub> (mm.mes <sup>-1</sup> )	12	11	12	9	15	5	22	14	8	18	18	9	153

ET<sub>o</sub>: valores presentados en la sección “Determinación de la ET<sub>o</sub>” del presente trabajo

**Tabla 11: Índice de humedad (I<sub>m</sub>), índice de aridez (I<sub>a</sub>), índice hídrico (I<sub>h</sub>), evapotranspiración potencial (ETP) y concentración estival (ET<sub>v</sub>) en la Estación Trelew Aeropuerto (1996-2016, SMN), según Thornthwaite (1948)**

<b>I<sub>m</sub></b>	90.3
<b>I<sub>a</sub></b>	0
<b>I<sub>h</sub></b>	-54.2
<b>ETP</b>	1577.2
<b>ET<sub>v</sub> (%)</b>	73.7

Luego del análisis se clasifica por las tablas confeccionadas por el autor (ver anexo).

Con los valores obtenidos del análisis se determinó que la zona del proyecto “Meseta intermedia” en la provincia de Chubut, se ajusta a la clasificación según Thornthwaite (1948) como: **Árido con falta de agua invernal grande y “exceso de agua” pequeño o nulo. Mega térmico c'2** (ver anexo).

### 6. Determinación de ET<sub>o</sub>

En la Tabla 12, se observan los datos ET<sub>o</sub> calculados para el período comprendido entre 1996 y 2016.

**Tabla 12: Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>) para el área de influencia de la estación Trelew Aeropuerto (SMN) durante el periodo de 1996-2016**

AÑO/MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1996	7.3	5.9	6.5	3.9	3.0	1.4	1.5	2.5	4.1	5.1	7.7	6.9
1997	8.7	7.1	4.5	3.8	1.6	1.0	1.7	2.4	2.4	4.2	6.4	6.1
1998	8.0	5.5	5.5	2.9	1.2	0.9	2.3	3.0	3.3	6.5	6.6	7.7

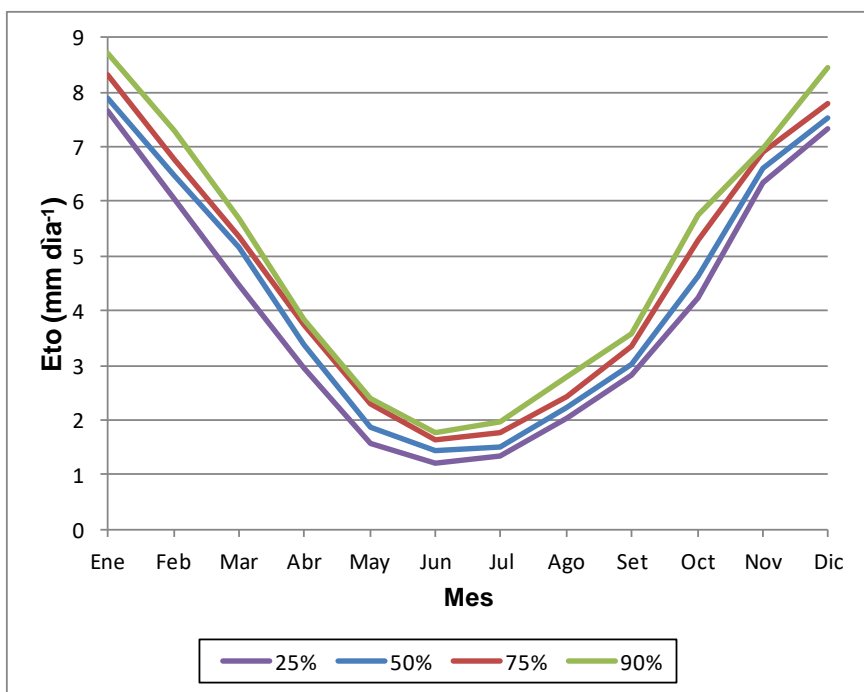
1999	7.6	7.3	3.3	2.6	1.8	1.0	1.7	2.7	3.0	5.1	5.7	7.8
2000	8.7	6.1	4.8	2.9	1.5	1.2	1.4	2.0	2.1	4.6	6.0	8.8
2001	9.1	8.5	5.3	3.8	1.9	1.5	1.3	2.0	2.8	4.2	6.4	7.8
2002	7.3	7.3	5.2	3.9	1.6	1.3	1.3	1.6	2.6	5.5	6.4	7.8
2003	8.4	7.2	5.7	3.0	1.9	1.7	2.0	2.8	3.3	5.5	6.9	7.3
2004	8.3	5.8	5.4	3.3	1.6	1.8	1.5	1.7	3.6	4.5	5.5	7.7
2005	8.3	5.6	5.5	3.7	2.4	1.5	1.4	1.8	3.3	4.4	6.6	5.6
2006	7.8	6.1	5.3	3.6	2.3	1.3	1.8	2.0	3.3	4.7	6.9	8.5
2007	7.9	6.8	4.4	4.0	1.8	1.9	1.7	2.4	2.6	5.8	6.7	8.7
2008	7.9	6.8	5.7	3.4	2.1	1.4	1.5	2.2	3.4	5.9	7.3	7.5
2009	8.0	6.7	5.1	3.5	2.0	1.2	1.4	2.2	3.0	5.3	6.9	7.5
2010	8.8	6.6	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	2.8	3.0	4.3	5.9	7.3
2011	7.9	6.4	5.1	3.5	2.3	1.6	1.9	2.1	3.8	3.7	6.6	7.4
2012	7.8	6.1	4.4	3.0	2.4	1.6	1.9	2.2	3.6	4.3	6.6	7.0
2013	7.7	5.3	3.8	2.8	2.2	1.6	1.4	2.3	2.8	5.1	6.4	7.9
2014	8.3	6.6	5.2	2.3	1.6	1.4	1.3	2.4	3.1	4.2	7.0	7.5
2015	7.7	6.4	4.9	3.2	2.4	2.2	2.2	2.2	2.8	3.9	6.4	7.5
2016	7.2	6.5	5.2	3.1	1.2	1.1	1.0	2.0	2.6	3.9	6.1	7.5

En la Tabla 13 se presentan las variables estadísticas de los valores de ETo mensuales. De acuerdo a la prueba de Shapiro-Wilks modificado, los datos siguen una distribución normal.

**Tabla 13: 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 Trelew Aeropuerto (SMN) durante el periodo de 1996-2016.**

	n	x	D.E.	Var	E.E.	Mín.	Máx.	Med	P25	P50	P75	P <sub>90</sub>	r	P
E	21	8.0	0.5	0.3	0.1	7.2	9.1	7.9	7.7	7.9	8.3	8.7	0.98	0.2853
F	21	6.5	0.8	0.6	0.2	5.3	8.5	6.5	6.1	6.5	6.8	7.3	0.97	0.6912
M	21	5.0	0.7	0.5	0.2	3.3	6.5	5.2	4.5	5.2	5.4	5.7	0.97	0.7927
A	21	3.3	0.5	0.2	0.1	2.3	4.0	3.4	3.0	3.4	3.7	3.9	0.98	0.3072
M	21	1.9	0.5	0.2	0.1	1.2	3.0	1.9	1.6	1.9	2.3	2.4	0.98	0.7199
J	21	1.5	0.3	0.1	0.1	0.9	2.2	1.4	1.2	1.4	1.6	1.8	0.99	0.9101
J	21	1.6	0.3	0.1	0.1	1.0	2.3	1.5	1.4	1.5	1.8	2.0	0.97	0.3480
A	21	2.3	0.4	0.1	0.1	1.6	3.0	2.2	2.0	2.2	2.4	2.8	0.99	0.678
S	21	3.1	0.5	0.2	0.1	2.1	4.1	3.0	2.8	3.0	3.3	3.6	1	0.9683
O	21	4.8	0.7	0.5	0.2	3.7	6.5	4.6	4.2	4.6	5.3	5.8	0.98	0.3284
N	21	6.5	0.5	0.3	0.1	5.5	7.7	6.6	6.4	6.6	6.9	7.0	0.99	0.8816
D	21	7.5	0.7	0.5	0.2	5.6	8.8	7.5	7.3	7.5	7.8	8.5	0.95	0.2110

La Figura 7 muestra los valores medios de ETo de acuerdo a diferentes probabilidades de ocurrencia.



**Figura 7: Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) según probabilidad de ocurrencia en la estación meteorológica Trelew Aeropuerto durante el período entre 1996 hasta 2016. Los valores son medias, n=21**

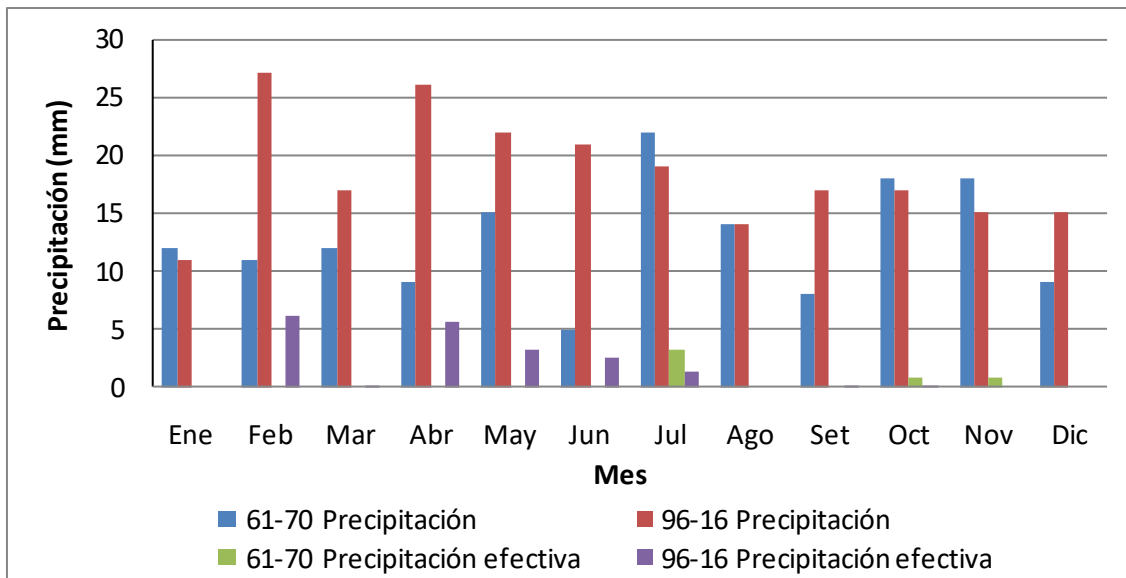
**J. Determinación de la precipitación efectiva**

En la Tabla 14 se presenta los valores de precipitación media mensual y efectiva en 1961/70 y 1996/2016. Se observa que existen diferencias entre ambos periodos, siendo un 44% y 308 % mayor la precipitación acumulada anual y efectiva anual respectivamente del periodo 96-16 respecto al periodo 61-70.

**Tabla 14: Precipitación media mensual y efectiva en diferentes períodos (1961/70 y 1996/2016) de la estación Trelew Aeropuerto (SMN).**

Mes	Periodos			
	1961-70	1996-2016	1961-70	1996-2016
	Precipitación (mm)		Precipitación	
Ene	12	11	0	0
Feb	11	27	0	6.2
Mar	12	17	0	0.2
Abr	9	26	0	5.6
May	15	22	0	3.2
Jun	5	21	0	2.6
Jul	22	19	3.2	1.4
Ago	14	14	0	0
Set	8	17	0	0.2
Oct	18	17	0.8	0.2
Nov	18	15	0.8	0
Dic	9	15	0	0
Total	153	221	4.8	19.6

La Figura 8 ilustra el cuadro anterior.



**Figura 8: Precipitación media mensual y precipitación efectiva en los periodos 1961/70 y 1996/2016 de la estación Trelew Aeropuerto (SMN)**

**K. Cultivos y parámetros para el cálculo de las necesidades de riego**

En la Tabla 15 se muestran los cultivos a implantar en el proyecto Meseta Intermedia y el periodo de crecimiento y desarrollo durante todo el año.

**Tabla 15: Listado de cultivos y 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
Polifíticas base alfalfa	Marzo- abril	Pastoreo/cortes todo el ciclo
Polifíticas de invierno	Marzo- abril	Pastoreo/cortes todo el ciclo
Sorgo (silo)	Diciembre	Abril - Mayo
Verdeos de invierno (silo)	Abril	Octubre/ cortes todo el ciclo
<b>Extensivos</b>		
Maíz (grano)	Noviembre	Marzo - Abril
<b>Frutales</b>		
Cerezo	Octubre	Abril
Nogal	Octubre	Abril
Vid para vinificar	Setiembre/Octubre	Abril
<b>Hortalizas</b>		
Cebolla	Setiembre	Marzo/abril

Hortalizas de hoja (invierno)	Abril	Octubre
Hortalizas de hoja (verano)	Octubre	Abril
Tomate (fresco)	Noviembre	Marzo

A fin de calcular el consumo de agua de una hectárea en cada uno de los cultivos, se definió para cada etapa o fase de desarrollo del cultivo los siguientes parámetros (Tabla 15):

- 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 16: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Alfalfa 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		

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

#### L. 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 de los cultivos (ETc) media diaria y mensual.

**Tabla 17: Evapotranspiración del cultivo (ETc) media diaria y mensual (total) para una probabilidad de ocurrencia de ETo del 75% en alfalfa (heno), pasturas polifíticas base alfalfa y pasturas polifíticas de invierno en el proyecto de Meseta Intermedia, Chubut**

Alfalfa (heno)	Pasturas polifíticas base alfalfa	Pasturas polifíticas de invierno
----------------	-----------------------------------	----------------------------------



Mes	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>
Mar	4.3	132	5.0	154	5.4	166
Abr	1.5	45	3.2	96	3.5	105
May	0.0	0	0.2	6	2.4	74
Jun	0.0	0	0.1	4	1.7	52
Jul	0.0	0	0.2	5	1.8	57
Ago	1.3	41	2.1	65	2.5	76
Sep	3.3	100	3.1	93	3.4	102
Oct	5.3	165	5.2	160	5.3	164
Nov	6.9	207	6.8	203	0.7	21
Dic	7.9	244	7.7	239	0.8	24
Ene	8.4	259	8.2	254	0.8	26
Feb	6.8	190	6.7	187	6.8	191

**Tabla 18: Evapotranspiración del cultivo (ETc) media diaria y mensual (total) para una probabilidad de ocurrencia de ETo del 75% en verdeos de invierno (silo), maíz (grano) y sorgo (silo) en el proyecto de Meseta Intermedia, Chubut**

Mes	Verdeo de invierno (silo)		Maíz (grano)		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>
Abr	1.9	56	-----	-----	-----	-----
May	1.8	56	-----	-----	-----	-----
Jun	2.1	62	-----	-----	-----	-----
Jul	2.2	69	-----	-----	-----	-----
Ago	3.0	92	-----	-----	-----	-----
Sep	3.7	110	-----	-----	-----	-----
Oct	2.8	87	-----	-----	-----	-----
Nov	-----	-----	2.2	67		
Dic	-----	-----	7.1	219	3.0	94
Ene	-----	-----	10.6	329	9.4	290
Feb	-----	-----	7.3	205	8.8	246
Mar	-----	-----	2.92	29 *	6.7	135 **

\*ETc de 10 días en marzo

\*\*ETc de 20 días en marzo

**Tabla 19: Evapotranspiración del cultivo (ETc) media diaria y mensual (total) para una probabilidad de ocurrencia de ETo del 75% en cebolla y tomate (fresco) en el proyecto de Meseta Intermedia, Chubut**

Mes	Cebolla		Tomate (fresco)	
	ETc mm día <sup>-1</sup>	Etc mm mes <sup>-1</sup>	ETc mm día <sup>-1</sup>	Etc mm mes <sup>-1</sup>
Sep	2.2	34*	-----	-----
Oct	4.4	137	-----	-----
Nov	7.5	226	4.1	123

Dic	8.6	266	6.4	199
Ene	9.1	282	9.8	305
Feb	-----	-----	8.3	232
Mar	-----	-----	5.3	164

\*ETc de 16 días en setiembre

**Tabla 20: Evapotranspiración del cultivo (ETc) media diaria y mensual (total) para una probabilidad de ocurrencia de ETo del 75% en hortalizas de hoja de invierno y de verano en el proyecto de Meseta Intermedia, Chubut**

Mes	Hortalizas de hoja (invierno)		Hortalizas de hoja (verano)	
	ETc mm día <sup>-1</sup>	Etc mm mes <sup>-1</sup>	ETc mm día <sup>-1</sup>	Etc mm mes <sup>-1</sup>
Abr	2.5	39 *	-----	-----
May	1.9	58	-----	-----
Jun	1.8	54	-----	-----
Jul	1.9	59	-----	-----
Ago	2.2	4	-----	-----
Sep	-----	-----	-----	-----
Oct	-----	-----	3.9	66 **
Nov	-----	-----	6.0	179
Dic	-----	-----	8.1	252
Ene	-----	-----	8.5	102 ***

\*ETc de 16 días en abril,

\*\*ETc de 17 días en octubre

\*\* \*ETc de 12 días en enero

**Tabla 21: Evapotranspiración del cultivo (ETc) media diaria y mensual (total) para una probabilidad de ocurrencia de ETo del 75% en cerezo, nogal y vid en el proyecto de Meseta Intermedia, Chubut**

Mes	Cerezo		Nogal		Vid	
	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>
Oct	2.5	78	3.4	107	1.6	51
Nov	5.0	149	8.2	247	3.6	107
Dic	7.8	240	9.4	291	5.9	182
Ene	8.7	271	10.0	309	6.5	201
Feb	7.2	201	8.2	230	5.3	149
Mar	5.4	167	5.8	180	4.1	128
Abr	3.6	29*	3.3	26**	2.4	31***

\*ETc en 8 días de abril

\*\*ETc en 8 días de abril

\*\*\*ETc en 13 días de abril

### M. Modelos de cultivos

El modelo de cultivos (proporción de cada cultivo respecto al total) permite determinar las dotaciones de riego y su variabilidad. A continuación se presentan los diferentes modelos de cultivos considerados en dos etapas (Tabla 22):

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

**Tabla 22: Etapas de desarrollo del proyecto Meseta intermedia, Chubut**

	<b>1° ETAPA (1<sup>ro</sup> al 4<sup>to</sup> año)</b>	<b>2 ETAPA (5<sup>to</sup> al 20<sup>mo</sup> año)</b>
<b>Cultivos</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Maíz (grano)	7000	4900
Polifíticas base alfalfa	8750	6125
Alfalfa (heno)	525	2450
Polifíticas de invierno	9800	6860
Sorgo (silo)	5950	4165
Verdeos de invierno (silo)	7000	4900
Cebolla	2275	2275
Tomate (fresco)	-----	175
Hortalizas de hoja	700	700
Nogal	-----	1750
Cerezo	-----	2100
Vid ( venta de uva)	-----	3500

Los cultivos de maíz grano (estivales) y verdes de invierno (invernales) rotarán entre sí en ambas de etapas del proyecto. Dichos cultivos ocuparán la misma superficie en las dos etapas, siendo de 7000 ha (1° al 4° año) y de 4900 ha (5° al 20° año).

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

1. Alfalfa para heno

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

2. Polifíticas a base de alfalfa

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

3. Polifíticas de invierno

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

#### 4. Cebolla

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

### 7. 1° etapa

La

Tabla 23 muestra la distribución de la superficie de los cultivos de la 1° etapa de acuerdo a las estaciones en las cuales se desarrollan. En los primeros cuatro años del proyecto, la superficie cultivada en otoño-invierno será de 26775 ha y en primavera-verano de 35000 ha. La mayor superficie en primavera-verano se debe a que se implantarán entre los meses de setiembre y diciembre 2275 ha de cebolla, y 5950 ha de sorgo (silo) respectivamente.

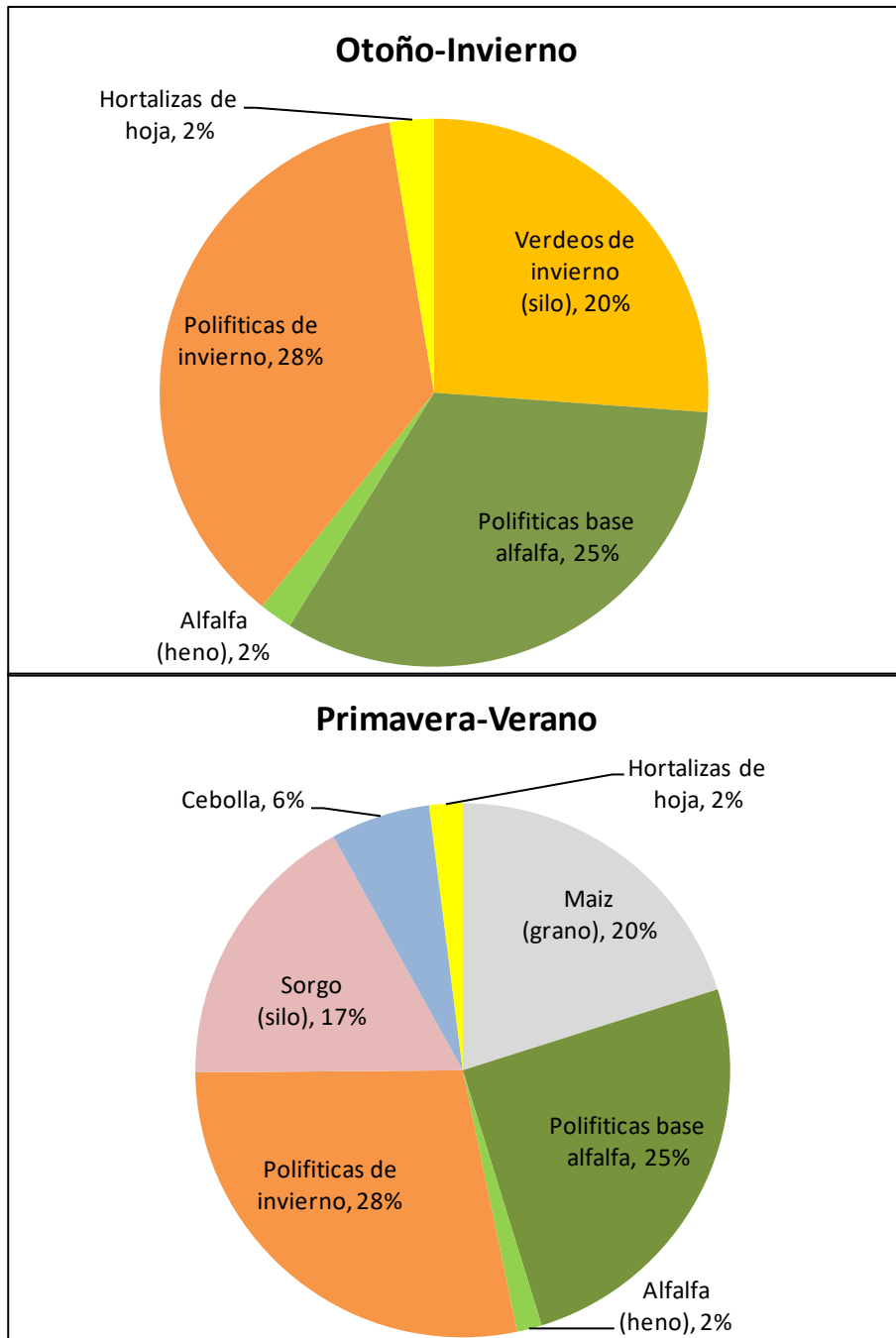
**Tabla 23: Superficie (en ha y en % respecto a la superficie cultivada anual) durante otoño-invierno y primavera-verano en la 1° etapa del proyecto Meseta intermedia, Chubut**

Cultivos	Otoño-Invierno		Primavera-Verano	
	ha	%	ha	%
Maíz (grano)*	-----	-----	7000	20%
Verdeos de invierno (silo)*	7000	20%	-----	-----
Polifíticas base alfalfa	8750	25%	8750	25%
Alfalfa (heno)	525	2%	525	2%
Polifíticas de invierno	9800	28%	9800	28%
Sorgo (silo)	-----	-----	5950	17%
Cebolla	-----	-----	2275	6%
Hortalizas de hoja (invierno y verano)	700	2%	700	2%
Tomate (fresco)	-----	-----	-----	-----
Nogal	-----	-----	-----	-----
Cerezo	-----	-----	-----	-----
Vid (venta de uva)	-----	-----	-----	-----
<b>Total</b>	<b>26775</b>	<b>77%</b>	<b>35000</b>	<b>100%</b>
<b>Superficie cultivada anual (ha)</b>	<b>35000</b>			

<b>Superficie total proyecto (ha)</b>	<b>35000</b>
---------------------------------------	--------------

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

Los valores obtenidos de la tabla anterior son graficados en la Figura 9.



**Figura 9: 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 Meseta intermedia, Chubut**

### 8. 2° etapa

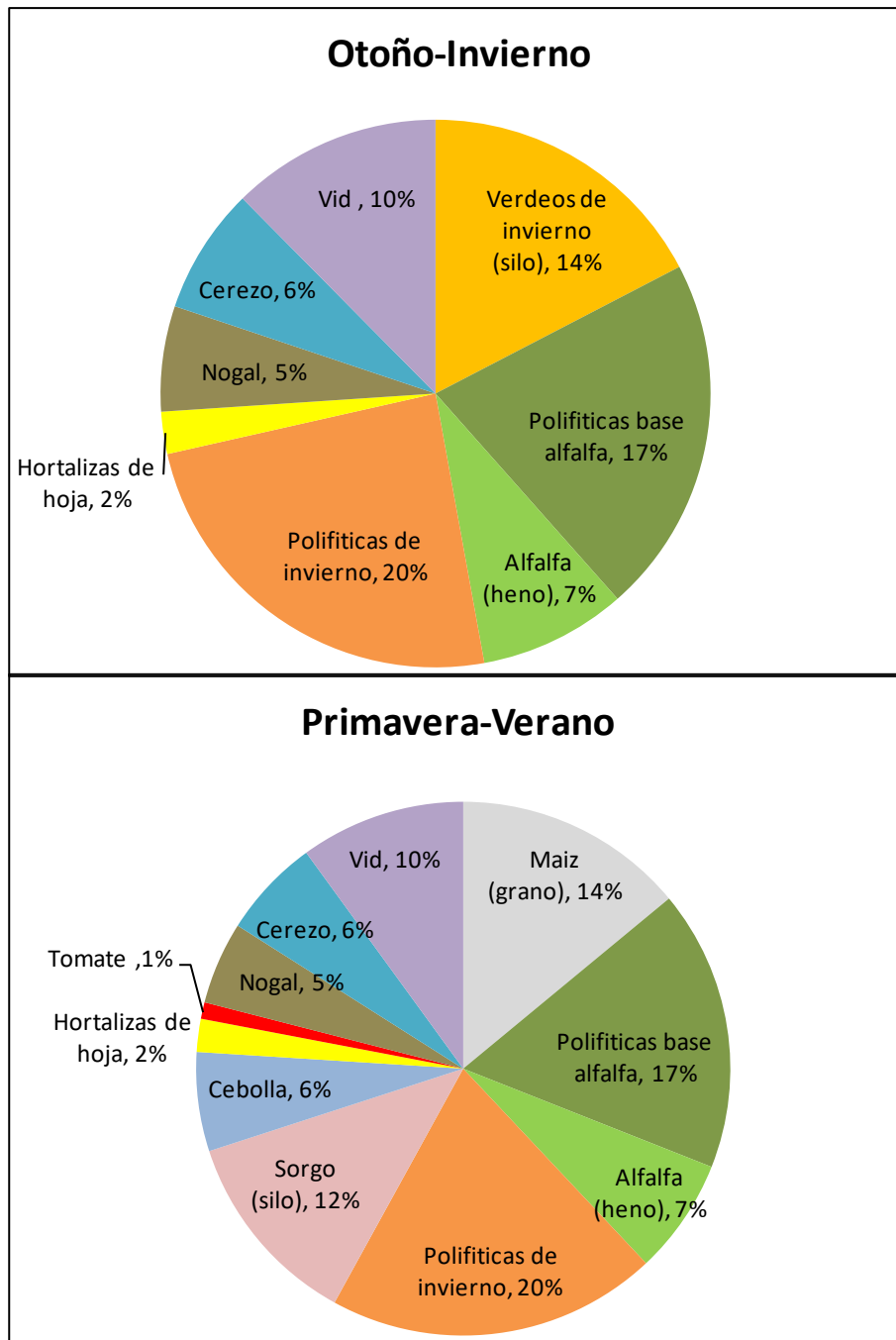
A partir del 5° año, el escenario productivo cambia debido a la incorporación de cultivos como cerezo, nogal, vid y tomate en fresco.

**Tabla 24: Superficie (en ha y en % respecto a la superficie cultivada anual) durante otoño-invierno y primavera-verano en la 2° etapa del Meseta intermedia, Chubut**

	<b>Otoño-Invierno</b>		<b>Primavera-Verano</b>	
	<b>Superficie</b>			
<b>Cultivos</b>	<b>ha</b>	<b>%</b>	<b>ha</b>	<b>%</b>
Maíz (grano)			4900	14%
Verdeos de invierno (silo)	4900	14%		
Polifíticas base alfalfa	6125	17%	6125	17%
Alfalfa (heno)	2450	7%	2450	7%
Polifíticas de invierno	6860	20%	6860	20%
Sorgo (silo)			4165	12%
Cebolla			2275	6%
Hortalizas de hoja (invierno y verano)	700	2%	700	2%
Tomate (fresco)			175	1%
Nogal	1750	5%	1750	5%
Cerezo	2100	6%	2100	6%
Vid (venta de uva)	3500	10%	3500	10%
<b>Total</b>	<b>28385</b>	<b>81%</b>	<b>35000</b>	<b>100%</b>
<b>Superficie cultivada anual (ha)</b>	<b>35000</b>			
<b>Superficie total proyecto (ha)</b>	<b>35000</b>			

Los valores de superficie cultivada en porcentaje de la tabla anterior son graficados a continuación.





**Figura 10: 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 Meseta intermedia, Chubut**

#### N. Necesidad 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 la estación Trelew Aeropuerto para una probabilidad del 75% y los valores promedios de precipitación mensual de la misma estación. A continuación, se muestran las necesidades netas de cada cultivo y los requerimientos netos del sistema en ambos escenarios productivos.

**Tabla 25: 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 Meseta intermedia**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total (mm)
<b>Necesidades netas (mm/mes)</b>													
1. Maíz (grano)	328	203	29	0	0	0	0	0	0	0	67	221	848
2. Verdeos de Invierno (silo)	0	0	0	51	53	59	68	92	110	87	0	0	520
3. Polifíticas base alfalfa	253	182	153	90	6	4	5	65	93	161	203	239	1455
4. Alfalfa (heno)	258	185	99	40	0	0	0	42	100	166	207	244	1341
5. Polifíticas de Invierno	26	186	165	100	71	50	56	76	102	164	21	24	1039
6. Sorgo (silo)	290	241	135	0	0	0	0	0	0	0	0	96	762
7. Cebolla	269	0	0	0	0	0	0	0	35	139	226	266	934
8. Hortalizas de hoja (invierno)	0	0	0	36	55	51	58	4	0	0	0	0	204
9. Hortalizas de hoja (verano)	102	0	0	0	0	0	0	0	0	67	179	253	600
<b>Requerimientos Netos del Sistema</b>													
en mm/día	7	6	4	2	1	1	1	2	3	4	3	5	
en mm/mes	209	182	115	62	33	28	32	57	78	116	91	153	
en L/s/ha	0.78	0.75	0.43	0.24	0.12	0.11	0.12	0.21	0.30	0.43	0.35	0.57	
<b>Área Irrigada (% del área total)</b>	100	92	92	77	77	77	77	77	81	83	83	100	

**Tabla 26: 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 Meseta intermedia**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total (mm)
<b>Necesidades netas (mm/mes)</b>													

1. Maíz (grano)	328	203	29	0	0	0	0	0	0	0	67	221	848
2. Verdeos de Invierno (silo)	0	0	0	51	53	59	68	92	110	87	0	0	520
3. Polifíticas base alfalfa	253	182	153	90	6	4	5	65	93	161	203	239	1455
4. Alfalfa (heno)	258	185	99	40	0	0	0	42	100	166	207	244	1341
5. Polifíticas de Invierno	26	186	165	100	71	50	56	76	102	164	21	24	1039
6. Sorgo (silo)	290	241	135	0	0	0	0	0	0	0	0	96	762
7. Cebolla	269	0	0	0	0	0	0	0	35	139	226	266	934
8. Hortalizas de hoja (invierno)	0	0	0	36	55	51	58	4	0	0	0	0	204
9. Hortalizas de hoja (verano)	102	0	0	0	0	0	0	0	0	67	179	253	600
10. Tomate (fresco)	304	227	158	0	0	0	0	0	0	0	123	200	1012
11. Nogal	308	225	178	25	0	0	0	0	0	109	247	291	1382
12. Cerezo	270	196	166	27	0	0	0	0	0	79	149	241	1127
13. Vid	200	144	127	30	0	0	0	0	0	51	107	182	841
<b>Requerimientos Netos del Sistema</b>													
en mm/día	7	6	4	2	1	1	1	1	2	4	4	6	
en mm/mes	221	177	118	52	23	20	22	42	61	110	114	177	
en L/s/ha	0.82	0.73	0.44	0.20	0.09	0.08	0.08	0.16	0.23	0.41	0.44	0.66	
<b>Área Irrigada (% del área total)</b>	100	92	92	81	60	60	60	60	64	87	88	100	

Esta información resulta de gran utilidad para planificar y programar los riegos requeridos según los cultivos. Por ejemplo, en el caso de alfalfa para heno (cultivo ya implantado), asumiendo una lámina de agua total almacenable de 140 mm en la profundidad efectiva de raíces en el suelo, si la fracción fácilmente disponible de agua (p) fuese del 60% para una determinada etapa del cultivo, la lámina fácilmente disponible será de 84 mm ( $140 \text{ mm} * 0,6$ ). Por lo tanto, si se considera el mes de noviembre, la ETC diaria de la alfalfa para heno es de  $6,9 \text{ mm.día}^{-1}$  y el intervalo de riego será de 12,1 días ( $84 \text{ mm}/6,9 \text{ mm.día}^{-1}$ ) o sea igual a 12 días. También para la planificación diaria del tiempo de riego, asumiendo que se riega por aspersión (pivote) la lámina bruta a aplicar para el mes de noviembre con una eficiencia de aplicación del 75 % será  $9,2 \text{ mm.día}^{-1}$  ( $6,9 \text{ mm.día}^{-1} / 0,75$ ). Las tablas anteriores también indica el requerimiento acumulado (lámina neta acumulada de riego) de cada cultivo, así la alfalfa para heno requiere 1341 mm/año.

## **O. 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 11 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 %).

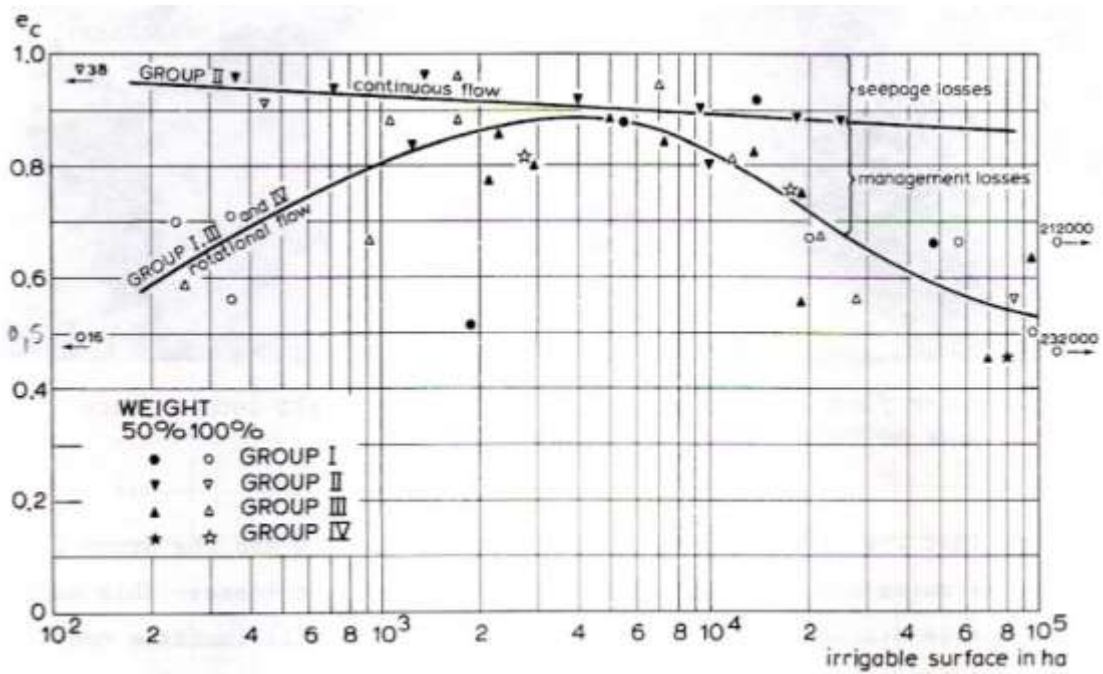


Figura 11: Valores de eficiencia de conducción ( $e_c$ ) en función del tamaño del área a regar

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 12 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).

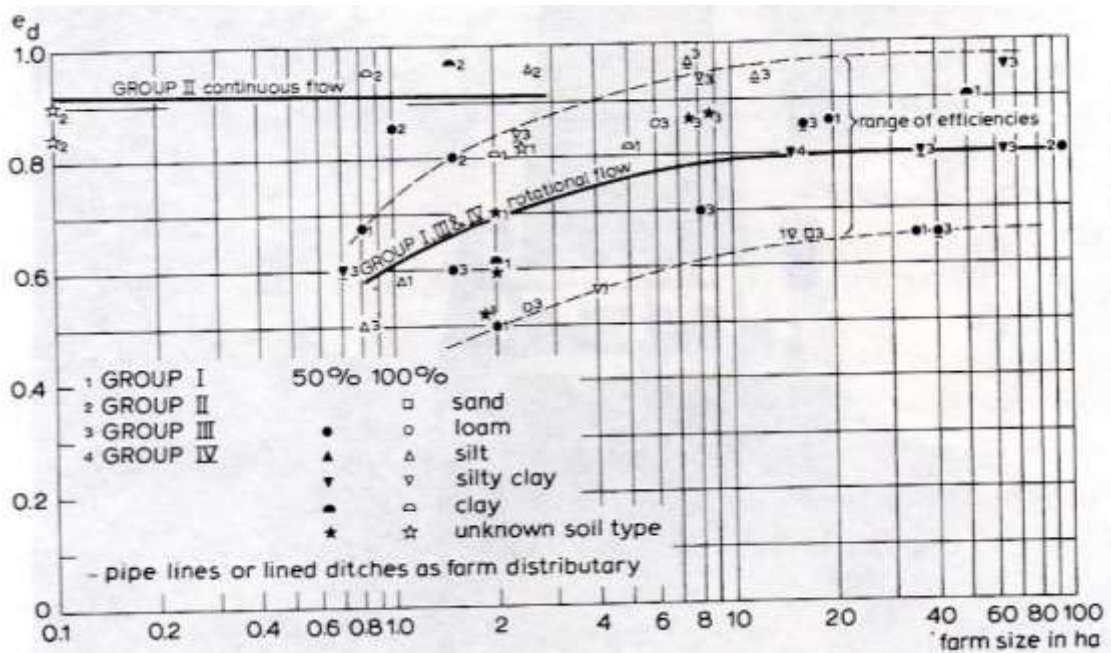


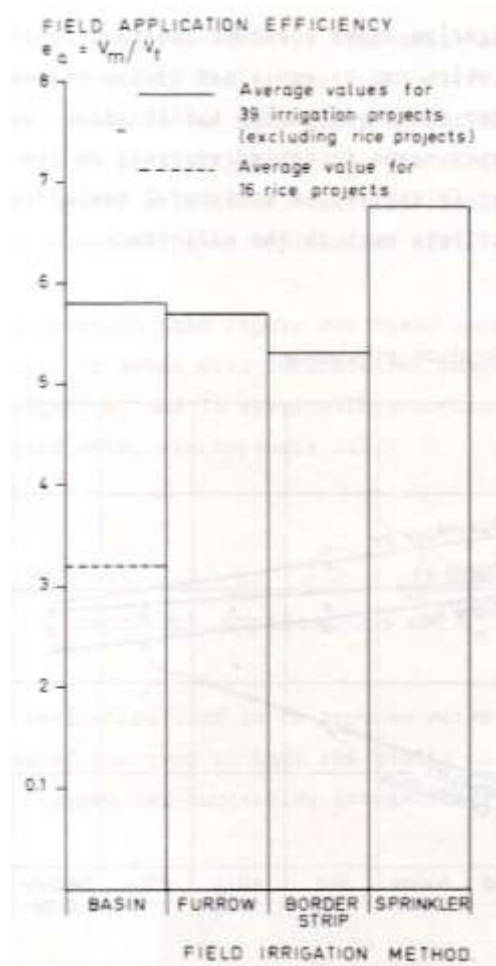
Figura 12: Eficiencia de distribución ( $e_d$ ) en función del tamaño de la propiedad y del tipo de suelo

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

**Tabla 27: 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

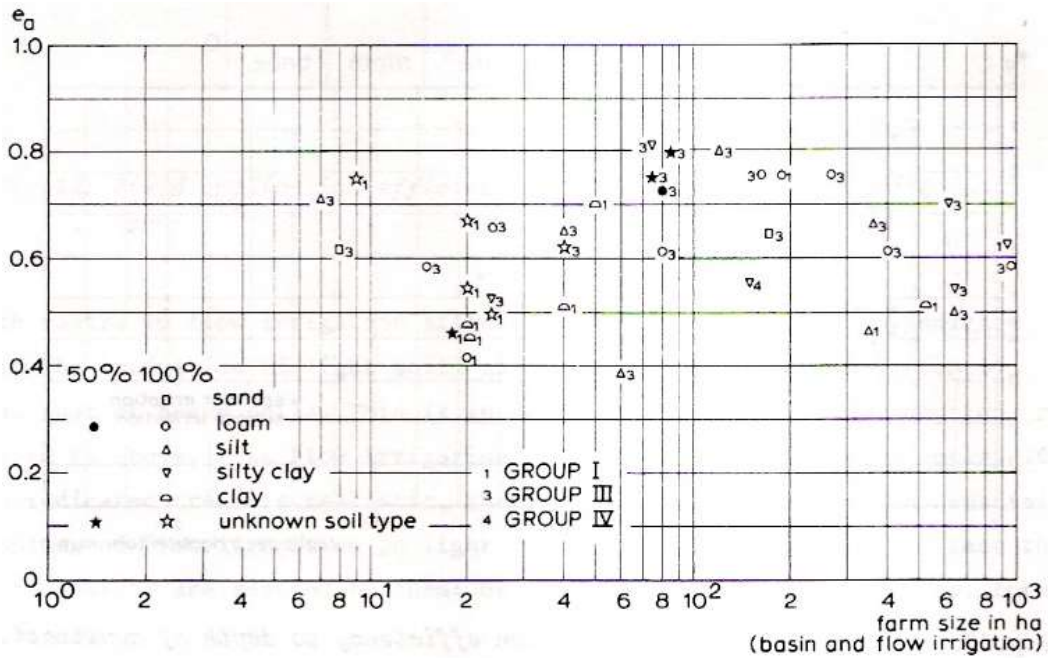
Los valores medios para los métodos citados en la tabla precedente pueden verse graficados en la Figura 13:



**Figura 13: Eficiencia de aplicación (e<sub>a</sub>) versus métodos de riego**

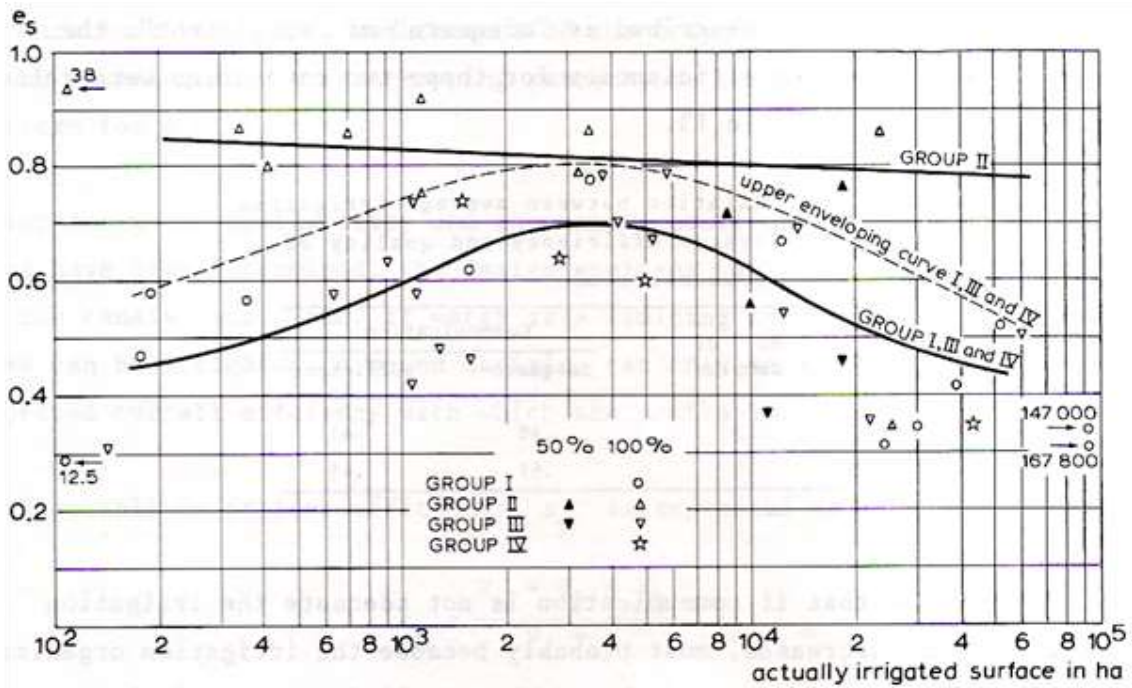
La falta de correlación entre el tamaño de la parcela y la eficiencia con que el agua de riego es aplicada al campo puede verse en el gráfico de la Figura 14. El tipo de suelo de la finca tampoco parece tener influencia sobre la eficiencia de aplicación.





**Figura 14: Relaciones entre eficiencia de aplicación ( $e_a$ ), tamaño de la parcela y tipo de suelo predominante**

Por último, la Figura 15 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 15: 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 tenida 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):

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

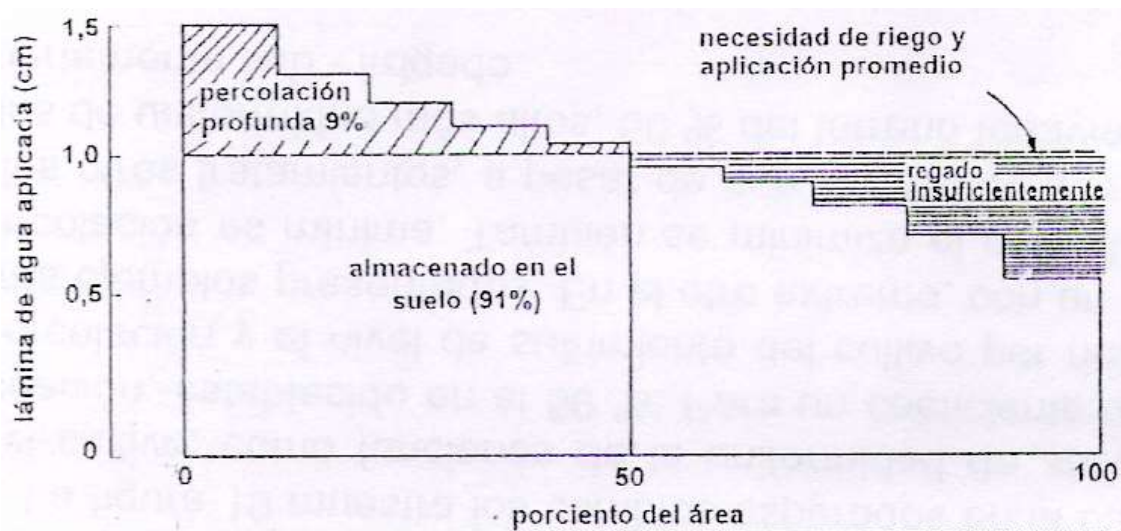
Donde: CU = coeficiente de uniformidad;  $x_i$  = lámina recolectada en pluviómetro (mm);  $x$  = lámina media de agua recolectada (mm) y  $n$  = número de pluviómetros.

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.

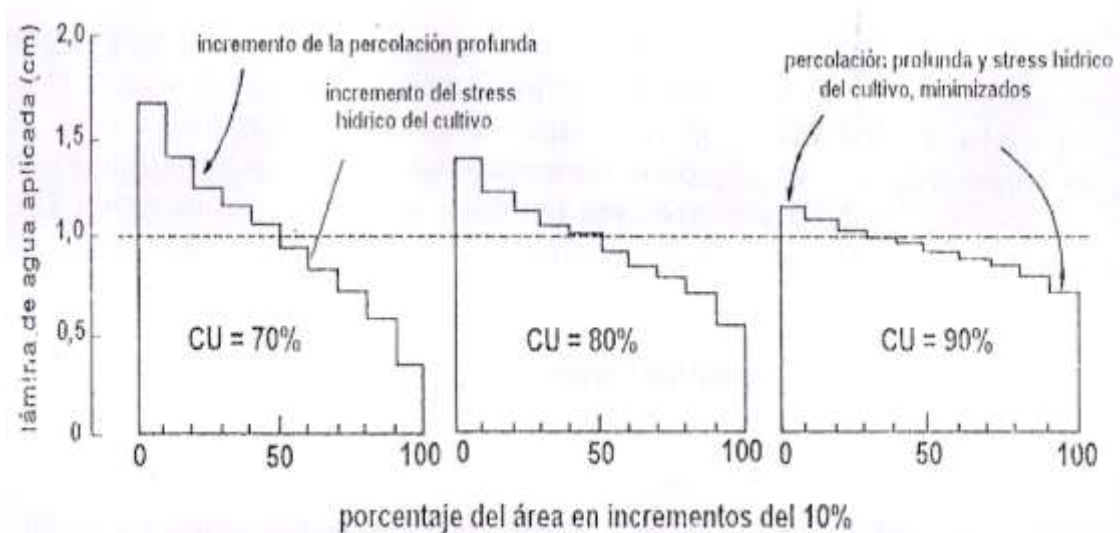
Para hablar de la eficiencia del riego por aspersión se parte de que las necesidades de riego netas son iguales a la necesidad de riego del cultivo desde el último riego, menos la precipitación efectiva. Aquí interviene el concepto de adecuación (cuantificar qué parte de la parcela recibe como mínimo 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 16 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 16: 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 17 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 17: 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 28: 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 29 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 29: Eficiencia combinada (Ec) para diferentes métodos de riego**

Sistema	CU%	Adecuación (%)	Ecurrimiento (%)	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 30).

**Tabla 30: Enumeración de los usos consuntivos y no consuntivos según Burt et al. (1997)**

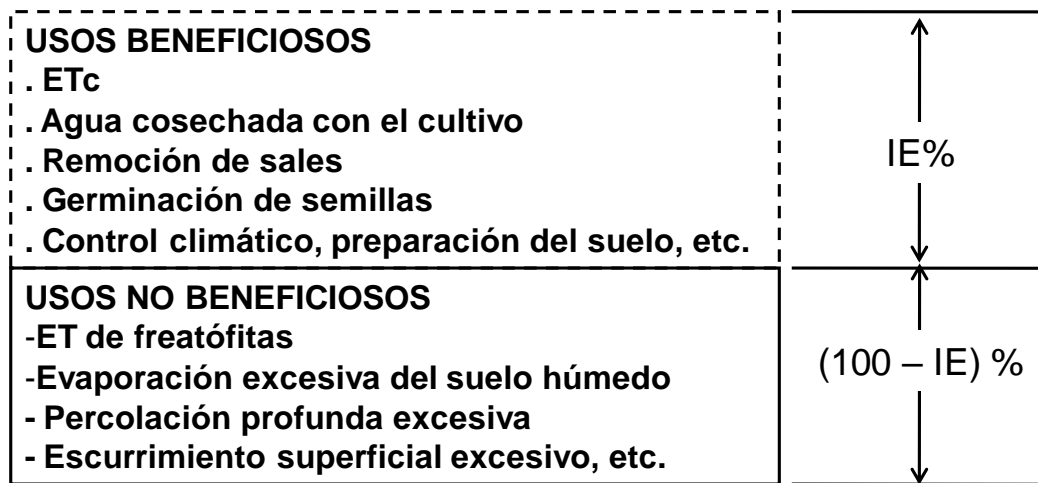
<b>USOS CONSUNTIVOS</b> - Etc - ET de freatófitas - Evaporación de agua asperjada - Evaporación de los reservorios - Evaporación del suelo húmedo - Agua cosechada con el cultivo, etc.	<b>USOS NO CONSUNTIVOS</b> - Remoción de sales - Percolación profunda excesiva - Escurrimiento superficial excesivo -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

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

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

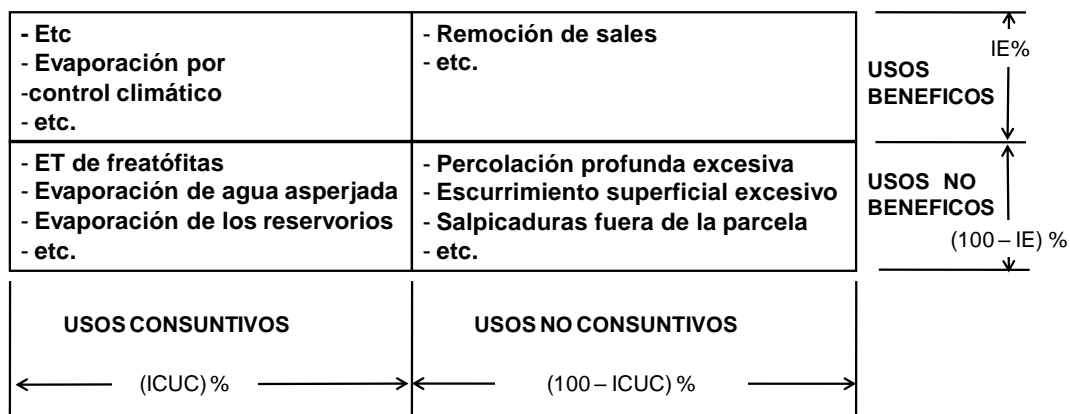
- “usos no benéficos” como el exceso de percolación profunda, la evapotranspiración de malezas o freatófitas -a menos que tengan por función el control de la erosión- el mejoramiento de la estructura del suelo (sean hábitat de insectos o de fauna beneficiosa) (Tabla 31)

**Tabla 31: 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 32).

**Tabla 32: Usos consuntivo y no consuntivo diferenciados según destino benéfico y no benéfico**



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

- “eficiencia de riego” (IE, %): está referida a una parcela regada, a la propiedad, a todo el proyecto de regadío o a la cuenca, considera un intervalo de tiempo (entre dos fechas determinadas o para el período completo de riego) y no asume usos benéficos futuros.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Se puede afirmar que:

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

y que:

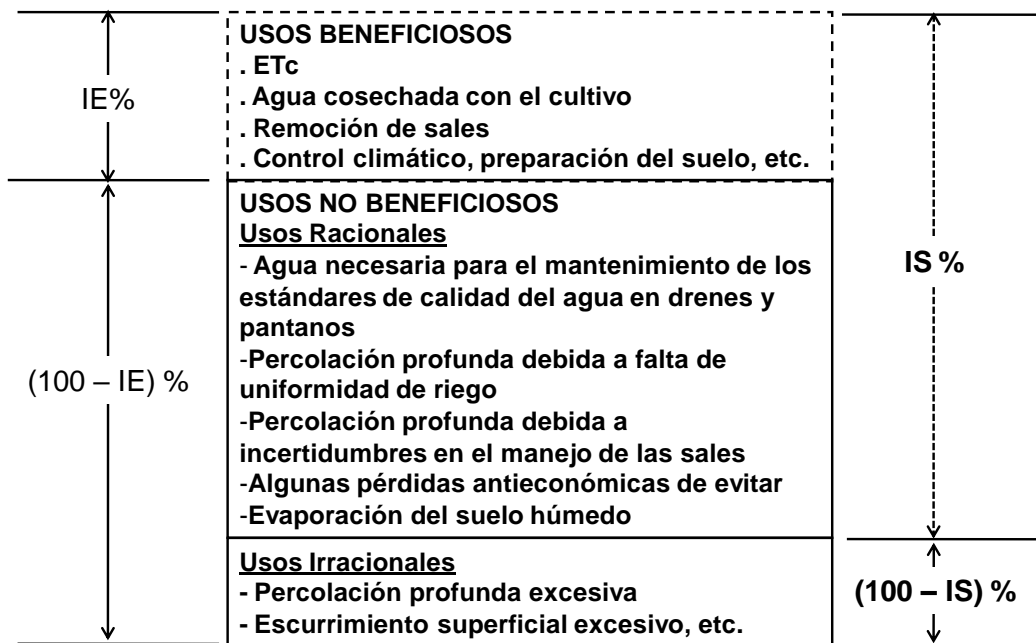
$$\text{Lámina bruta a aplicar} \approx \text{lámina objetivo a reponer} * (100 / PAE_{lq})$$

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

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

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

**Tabla 33: 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 Río Mayo presentan valores de pérdidas en conducción del 44 % (11 % por evaporación y 33 % por infiltración).

La Tabla 34 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 34: 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
	80	80	RES	65	42
			RCD	85	54

Red de tierra (en suelos de textura intermedia) con buena operación y mantenimiento			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 34, 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%.

**P. 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 la alfalfa para heno cuyos requerimientos netos son de  $1341 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$  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  $1788 \text{ mm}$  ( $1341 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1} / 0,75$ ) que representa  $17880 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ . Si se asume que el sistema de riego posee una eficiencia de

distribución y conducción del 95% para cada una de ellas, la lámina de riego a recibir en bocatoma de canal 2° será de 1882 mm.año<sup>-1</sup> y en bocatoma de canal 1° (cabecera del sistema de riego) será de 1981 mm.año<sup>-1</sup>. Por último, en la tabla también se incluye el método de riego y su eficiencia de aplicación, por lo que el requerimiento bruto del cultivo cambiará de acuerdo al método de riego elegido (surcos, aspersión, goteo).

**Tabla 35: Requerimiento neto de riego por cultivo, lámina en bocatoma de finca, lámina en bocatoma de canal secundario, lámina en bocatoma de canal primario (cabecera del sistema), método de riego (aspersión o goteo) y eficiencias de aplicación, distribución y conducción en el proyecto Meseta intermedia, Chubut**

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		Eficiencia	Eficiencia	
		aplicación		distribución	Conducción	
		90%	75%	95%	95%	
		Goteo	Aspersión			
Alfalfa (heno)	1341	N/A	1788	1882	1981	Aspersión
Pasturas polifíticas base alfalfa	1455	N/A	1940	2042	2150	Aspersión
Pasturas polifíticas de invierno	1039	N/A	1385	1458	1535	Aspersión
Maíz (grano)	848	N/A	1131	1190	1253	Aspersión
Verdeos de invierno (silo)	520	N/A	693	730	768	Aspersión
Sorgo (silo)	762	N/A	1016	1069	1125	Aspersión
Cerezo	1127	1253	N/A	1318	1388	Goteo
Vid	841	935	N/A	984	1036	Goteo
Nogal	1382	1536	N/A	1616	1701	Goteo
Cebolla	934	N/A	1245	1311	1380	Aspersión
Tomate (fresco)	1012	1125	N/A	1184	1246	Goteo
Hortalizas de hoja (verano)	600	667	N/A	702	739	Goteo
Hortalizas de hoja (invierno)	204	226	N/A	238	251	Goteo

N/A: No aplica.

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

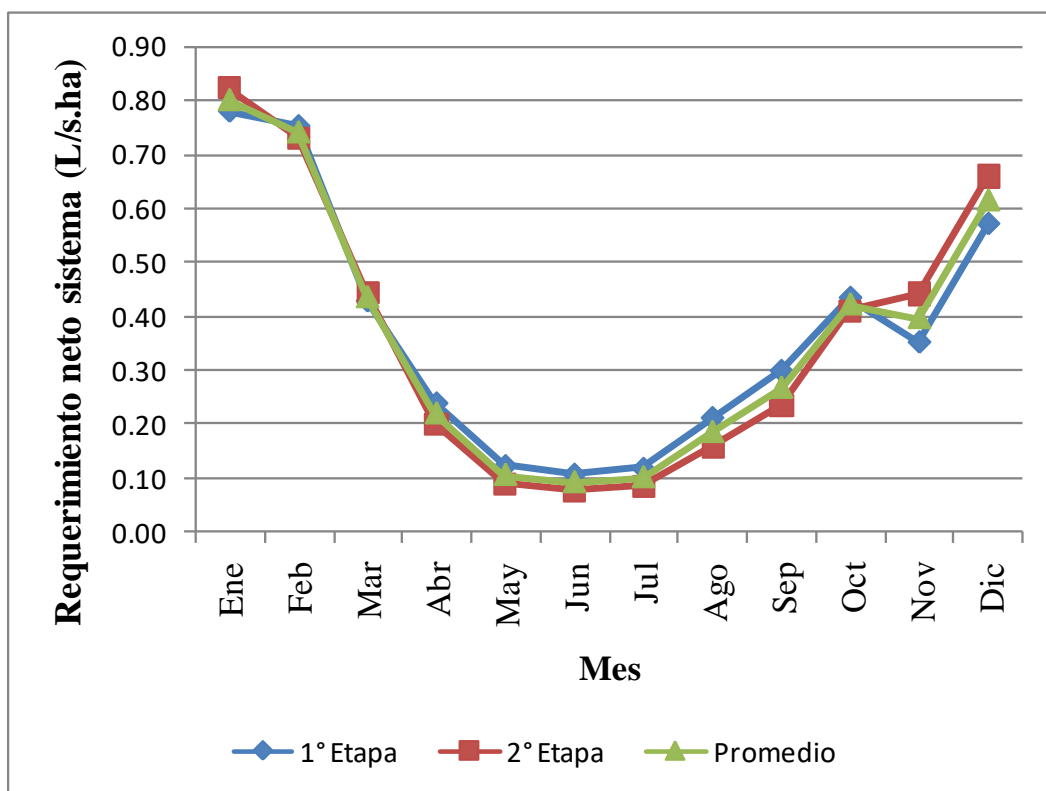
Se presenta a continuación la tabla (Tabla 36) que contiene los requerimientos netos del sistema y las dotaciones de riego para distintas eficiencias del sistema de riego. Se calculó el promedio de los requerimientos netos del sistema de las dos etapas y se afectó dicho promedio por tres niveles de eficiencia del sistema según la infraestructura con la que tenga el proyecto (impermeabilización de canales primarios, secundarios y terciarios, y/o tuberías) y de acuerdo a los métodos de riego que podría implementarse en el interior de las propiedades.

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

**Tabla 36: Requerimientos netos del sistema y dotaciones de riego para distintas eficiencias del sistema de riego para una probabilidad de ocurrencia de ETo del 75% en el proyecto Meseta intermedia, Chubut**

	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°	0.78	0.75	0.43	0.24	0.12	0.11	0.12	0.21	0.30	0.43	0.35	0.57
2°	0.82	0.73	0.44	0.20	0.09	0.08	0.08	0.16	0.23	0.41	0.44	0.66
Promedio	0.80	0.74	0.44	0.22	0.11	0.09	0.10	0.18	0.27	0.42	0.40	0.62
<b>Eficiencia</b>	<b>Dotaciones de riego del sistema para distintas eficiencias (L/s.ha)</b>											
<b>50%</b>	1.60	1.48	0.87	0.44	0.21	0.18	0.20	0.37	0.53	0.84	0.79	1.23
<b>65%</b>	1.23	1.14	0.67	0.34	0.16	0.14	0.16	0.28	0.41	0.65	0.61	0.95
<b>71%</b>	1.13	1.04	0.61	0.31	0.15	0.13	0.14	0.26	0.38	0.59	0.56	0.87
<b>83%</b>	0.97	0.89	0.52	0.26	0.13	0.11	0.12	0.22	0.32	0.51	0.48	0.74

En la Figura 18 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 18: Requerimientos netos del sistema para una probabilidad del 75% de ETo en el proyecto Meseta intermedia, Chubut**

Considerando una eficiencia del sistema del 71% la dotación seleccionada para el diseño de la red de canales y/o tuberías es de 1.13 L/s.ha. Dicho valor será confirmado de acuerdo a la infraestructura que tendrá el proyecto.

### R. Disponibilidad hídrica de la cuenca

El proyecto Meseta Intermedia, tiene como fuente de agua al río Chubut. El sistema de riego actualmente se abastece desde dos tomas independientes, con una capacidad de derivación conjunta del orden de los 30 m<sup>3</sup>/s. El proyecto contempla la ampliación de 35000 hectáreas de riego que se abastecerán del río Chubut, aguas abajo del dique Ameghino.

El derrame medio anual del río Chubut en la estación de aforo Ameghino perteneciente a la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina (SSRH), es de 1401 hm<sup>3</sup>, con un máximo de 2258 hm<sup>3</sup> y un mínimo de 992 hm<sup>3</sup>. Dicha estación se ubica aguas abajo del embalse y aguas arriba de la zona de proyecto.

Se presenta a continuación la información de caudales en la estación Ameghino de la SSRH.

**Tabla 37: Caudales (m³/s) en la estación Ameghino de la SSRH (1992/93 al 2012/13)**

CÓDIGO: 2281		SISTEMA: Río Chubut		LATITUD: 043° 41' 58,00"														
RÍO: CHUBUT		CUENCA: Río Chubut		LONGITUD: 066° 28' 27,00"														
LUGAR: AMEGHINO				ÁREA(km²): 29400														
PROVINCIA: Chubut				ALTITUD(mnm): 75														
AÑO	CAUDALES MEDIOS MENSUALES(m³/seg)												DERRAME ANUAL [mm]	CAUDAL ESPECÍFICO [l/s/km²]	ESCURR. SOBRE LA CUENCA [mm]	CAUDALES(m³/s)		
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR				MÁXIMO DIARIO	MÍNIMO DIARIO	MEDIO ANUAL
1992-93										50.5	50.5	55.8						
1993-94	56.2	55.4	47.6	49.7	55.0	46.4	47.7	50.4	58.5	64.2	62.2	50.3	1,739	1.88	53.2	80.8	35.7	50.2
1994-95	62.9	61.0	47.7	52.5	45.3	41.1	39.0	35.9	38.7	37.5	50.2	47.0	1,405	1.55	48.8	83.8	29.4	45.5
1995-96	45.9	29.7	26.8	26.0	31.5	59.5	62.5	67.2	69.1	48.0	40.3	42.5	1,375	1.48	46.7	71.5	32.1	43.4
1996-97	55.6	51.5	37.8	56.3	32.3	30.9	33.9	34.5	36.3	33.8	50.9	32.3	1,200	1.38	43.5	70.0	25.9	40.8
1997-98	28.9	21.0	22.0	21.1	24.9	31.6	37.9	49.2	42.5	43.1	47.0	43.1	1,065	1.15	36.2	69.1	18.9	38.8
1998-99	40.4	21.8	31.0	36.6	35.4	36.7	36.8	33.5	33.9	34.3	36.5	33.8	1,088	1.17	37.0	32.6	6.13	34.1
1999-00	31.1	51.5	31.5	39.8	27.5	20.9	33.8	38.2	40.6	42.4	40.6	57.4	1,080	1.16	38.7	50.1	14.5	54.1
2000-01	32.3	36.5	27.1	30.0	31.0	29.4	31.8	37.2	45.6	45.1	53.0	55.5	1,160	1.21	38.5	79.5	20.5	38.8
2001-02	48.1	28.2	51.1	59.5	62.8	64.8	64.5	74.8	78.5	77.8	64.2	68.3	2,258	2.44	78.8	105	18.5	71.8
2002-03	51.1	41.7	56.5	66.9	48.4	42.7	56.9	65.9	65.9	73.5	80.7	80.2	1,921	2.07	65.3	92.1	17.2	60.9
2003-04	62.8	57.0	43.7	41.0	45.5	43.8	57.0	61.1	61.2	61.6	55.9	46.1	1,665	1.79	56.6	65.9	32.7	52.7
2004-05	43.5	41.1	38.8	62.0	64.5	67.7	77.0	79.5	81.8	80.7	66.5	47.1	1,971	2.15	67.9	85.5	31.2	62.5
2005-06	41.8		34.3	43.6	44.3	42.0	44.5	53.9	49.5	77.5	80.5	75.5						
2006-07	71.5	64.6		62.4	74.0	76.1	78.8	77.8	83.6	86.4	88.6	70.5			101		47.7	
2007-08	85.6	40.1	32.9	37.8	24.8	36.8	31.6	45.0	45.4	46.0	42.3	40.0	1,232	1.33	43.9	73.0	17.8	38.9
2008-09	35.2	29.4	26.7	30.0	30.9	31.9	40.2	45.4	48.0	50.1	45.3	45.8	1,212	1.31	41.2	55.0	21.1	38.4
2009-10	39.5	37.6	36.0	34.8	37.9	42.1	43.8	45.0	48.2	50.3	55.1	55.3	1,364	1.47	46.4	39.8	26.1	45.2
2010-11	56.6	57.7	58.1	41.4	27.5	35.5	27.0	37.7	34.8	56.7	37.4	54.5	1,329	1.43	45.2	61.5	33.4	42.1
2011-12	55.7	31.2	25.8	22.6	28.2	28.3	27.4	38.0	41.1	46.8	56.8	50.2	992	1.07	33.7	64.5	22.9	31.4
2012-13	27.4	25.1	22.8	25.8	24.2	28.7	31.6	43.6	45.2	45.6	44.1	40.9	1,049	1.13	35.7	46.9	22.1	39.3
FROM	46.2	39.8	36.0	40.9	41.5	42.0	46.7	50.7	52.7	54.0	53.5	50.4	1,401	1.51	47.6	71.7	23.7	44.4
MAX	71.5	64.6	58.3	66.9	62.8	64.8	64.5	79.3	83.6	86.4	88.8	88.3	2,258	2.44	78.8	105	47.7	71.8
MIN	27.4	21.0	22.0	21.1	23.2	26.8	27.4	35.5	35.9	34.3	30.9	30.2	992	1.07	33.7	46.9	22.1	39.3
DURACION DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES - PERIODO 1992-93/2012-13 ** 21 AÑOS CON REGISTRO **																		
	Número	5	10	20	30	40	50	60	70	75	80	90	95	Mínimo				
CAUDALES (m³/s):	94.8	80.2	73.1	61.0	56.1	53.1	48.0	42.5	39.5	36.5	34.3	31.9	28.7	25.8	21.0			
% DEL MÓDULO:	214	181	186	137	127	120	104	95.8	88.0	82.2	77.2	71.8	64.6	58.2	47.5			

Un análisis estadístico de los derrames en Ameghino de los ciclos 1992/93 al 2012/13, de abril a marzo (18 años), presenta los siguientes resultados, donde: N° indica el número de años, D.E. desvío estándar y CV, coeficiente de variación.

**Tabla 38: Número de años de la serie (N°), derrame medio (media), desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV), valor mínimo (Min) y máximo (Max) y mediana de los derrames (Hm3) en la estación Ameghino, río Chubut**

Sitio	N°	Media	D.E.	CV	Min	Max	Mediana
Ameghino	18	1401	365	26	992	2258	1304

La tabla siguiente presenta los datos de percentiles de los derrames del período 1992/93 al 2012/2013.

**Tabla 39: Percentiles (P, %) de los derrames (Hm³) de la estación Ameghino en el río Chubut**

Sitio	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95
Ameghino	1040	1060	1106	1305	1608	1936	2014

Se presenta a continuación un análisis de la disponibilidad del recurso hídrico del área para satisfacer 35000 hectáreas nuevas a regar a partir del dique Ameghino.

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

- 1) Derrame del río para diferentes percentiles en la estación Ameghino.
- 2) Superficie nueva a regar: 35000 Hectáreas

- 3) Volumen de regulación: 1350 Hm<sup>3</sup>
- 4) Se ha considerado una posible disminución del caudal del río del 5% 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 10%.
- 6) Se estima que actualmente en la provincia se riegan 21421 hectáreas y con esta fuente de agua se riegan 15624 hectáreas, documento del PROSAP.
- 7) Se ha considerado una necesidad neta de riego para los cultivos del área de 11482 m<sup>3</sup>/ha año (1148 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 sobrestimado el consumo de agua humano a razón de 450 L/día por persona para una población de 200000 habitantes que se abastecen del río Chubut.
- 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 (35000 hectáreas) pero con una eficiencia de riego del 71%. Ello determina una extracción de 16171 m<sup>3</sup>/ha año.

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

**Tabla 40: Análisis de la disponibilidad hídrica a partir de la estación Ameghino 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	1040	1350	1.30	0.05	0.10	15624
10	1060	1350	1.27	0.05	0.10	15624
25	1106	1350	1.22	0.05	0.10	15624
50	1305	1350	1.03	0.05	0.10	15624
75	1608	1350	0.84	0.05	0.10	15624
90	1936	1350	0.70	0.05	0.10	15624

**Tabla 41: Continuación**

<b>Demanda agrícola bruta comprometida (Hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo Agrícola</b>	<b>Población de la cuenca (hab)</b>	<b>Consumo unitario equivalente L/día</b>	<b>Consumo poblacional comprometido (Hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Fracción de consumo población sobre el derrame</b>	<b>Fracción del uso industrial sobre el derrame</b>
427	0.41	200000	450	32.9	0.032	0.032
427	0.40	200000	450	32.9	0.031	0.031
427	0.39	200000	450	32.9	0.030	0.030
427	0.33	200000	450	32.9	0.025	0.025
427	0.27	200000	450	32.9	0.020	0.020
427	0.22	200000	450	32.9	0.017	0.017

**Tabla 42: 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>
0.62	391	566	0.69
0.61	408	566	0.72
0.6	447	566	0.79
0.53	616	566	1.09
0.48	874	566	1.54
0.4	1153	566	2.04

Analizando la relación derrame disponible-demanda bruta del proyecto, se observa que para los percentiles 5, 10 y 25 %, el volumen de agua disponible resulta insuficiente para regar las 35000 hectáreas proyectadas. No obstante ello se analizan a continuación diferentes alternativas que contribuirían a alcanzar la superficie proyectada.

- a) Una adecuada operación del embalse Florentino Ameghino permitiría disponer de 158 Hm<sup>3</sup> (para un percentil del 10%), volumen necesario para cubrir la demanda bruta del proyecto. Este volumen sólo representa el 12 % de la capacidad del embalse.
- b) Un aumento de la eficiencia de riego de las áreas ya cultivadas del 42 al 66 % podría ser analizado como un objetivo de la provincia para asegurar el uso racional de los recursos naturales, en este caso el agua. Ello implicaría -en el tiempo- por un lado, mejorar la conducción, distribución y operación de la red de riego externa a la propiedad y por otro, promover la tecnificación del riego parcelario. En este escenario, para el percentil del 10% se logra abastecer la superficie del proyecto.
- c) La combinación de las alternativas (a) y (b) contribuirían significativamente a reducir esa diferencia de 158 Hm<sup>3</sup>.
- d) Por último, en años de escasas hídrica, también podría recurrirse a implementar estrategias de ahorro de agua aplicando las tecnologías de riego deficitario en los cultivos



que lo permitan (nogal, cerezo, vid). También se podría –en esos años extremos– disminuir la superficie de los cultivos anuales a regar.

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 entre 3 y 4 –“Medio” a “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.

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. 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). Subsecretaría 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

### S. Listado de cultivos

#### 9. Pasturas, cereales y oleaginosas

Tabla 43: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Alfalfa para heno)

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

Tabla 44: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Cebada forrajera)

Nombre del cultivo:	Cebada	Siembra:	01/05	Cosecha	6/11
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coeficiente de cultivo (kc)	0,30		1.15	0.25	
Duración (días)	23	40	79	48	190
Profundidad de raíces (m)	0.30	''''	1.00		
Nivel de Agotamiento (p)	0.55	''''	0.55	0.90	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.20	0.60	0.50	0.40	1.00
Altura del cultivo (m)	1.00				

Tabla 45: 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
Coeficiente 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 46: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Maíz forrajero)

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

Tabla 47: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Polifíticas base alfalfa)

Nombre del cultivo:	pasturas polifíticas	Siembra:	1°/04	Cosecha	31/03
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
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 48: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Polifíticas de invierno)

Nombre del cultivo:	Polifíticas invierno	Siembra:	01/04	Cosecha	31/03
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total

Coeficiente de cultivo (kc)	0.90		0.95		0.95
Duración (días)	10	20	167	168	365
Profundidad de raíces (m)	0.90		0.90		
Nivel de Agotamiento (p)	0.50		0.50	0.50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	1	1	1	1	
Altura del cultivo (m)			0.40		

Tabla 49: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Verdeos de invierno)

Nombre del cultivo:	Verdeos invierno	Siembra:	01/04	Cosecha	31/10
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coeficiente de cultivo (kc)	0.50		1.15	0.25	
Duración (días)	30	40	95	49	214
Profundidad de raíces (m)	0.30		1.10		
Nivel de Agotamiento (p)	0.50		0.50	0.50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.80	0.80	0.80	0.80	
Altura del cultivo (m)			0.70		

Tabla 50: 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
Coeficiente 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 51: 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
Coeficiente 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 52: 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
Coeficiente 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 53: 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
Coeficiente 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				
------------------------	-----	--	--	--	--

### 10. Forestales / Frutales

Tabla 54: 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
Coeficiente 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 55: 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
Coeficiente 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 56: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Frutales de pepita: Manzano, peral)

Nombre del cultivo:	Manzano, peral	Siembra:	01/10	Cosecha	15/04
Variables/Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Coeficiente 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 57: 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
Coeficiente 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 58: 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
Coeficiente 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 59: 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



Coeficiente 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 60: 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
Coeficiente 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				

## 11. Hortalizas

Tabla 61: 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
Coeficiente 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 62: 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
Coeficiente de cultivo (kc)	0,60		1.05	0.65	
Duración (días)	18	30	84	7	139
Profundidad de raíces (m)	0.25	****	0.50		
Nivel de Agotamiento (p)	0.30	****	0.40	0.50	
Factor de respuesta a la producción (Ky)	0.50	0.60	1.10	0.80	1.05
Altura del cultivo (m)	0.40				

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

Tabla 63: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Cebolla Valencianita)

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

Tabla 64: Parámetros requeridos para el cálculo de las necesidades de riego (Lechuga de invierno)

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

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

Tabla 65: 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 66: 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 67: 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

Coeficiente 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 68: 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
Coeficiente de cultivo (kc)	0.60		1.15	0.70	
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 69: 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 70: Tipo de verano en función los distintos períodos de regímenes de heladas (estación libre de heladas en meses (ExLH), la media de la media de máximas de los n meses más cálidos ( $1/n \sum i$ ), la media de máximas del mes más cálido ( $T_{12}$ ) y la media de mínimas del mes más cálido ( $t_{12}$ ) (Papadakis, 1966)**

TIPO DE VERANO		ExLH [x]	$1/n \cdot \sum i = 13 - nT_i$		$T_{12}$	$t_{12}$
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 71: 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 72: 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 73: 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	<b>Permanente</b>	<b>HU</b>	Todos los meses húmedos
	<b>No permanente</b>	<b>Hu</b>	No todos húmedos
<b>Mediterráneo</b> Latitud > 20° Precipitación: invernal > estival	<b>Húmedo</b>	<b>ME</b>	L <sub>n</sub> > 0.20 ETP y/o I <sub>h</sub> > 0.88
	<b>Seco</b>	<b>Me</b>	L <sub>n</sub> < 0.20 ETP, 0.22 < I <sub>h</sub> < 0.88
	<b>Semiárido</b>	<b>me</b>	Más seco que el anterior
<b>Monzónico</b>	<b>Húmedo</b>	<b>MO</b>	L <sub>n</sub> > 0.20 ETP y/o I <sub>h</sub> > 0.88
	<b>Seco</b>	<b>Mo</b>	L <sub>n</sub> < 0.20 ETP, 0.44 < I <sub>h</sub> < 0.88
	<b>Semiárido</b>	<b>mo</b>	I <sub>h</sub> < 0.44
<b>Estepario</b>		<b>St</b>	Primavera no seca; latitud > 20°
	<b>Absoluto</b>	<b>da</b>	I <sub>hm</sub> < 0.25 y si t <sub>m</sub> > 15°C I <sub>h</sub> < 0.09
<b>Desértico</b> (los meses con T > 15°C son secos)	<b>Mediterráneo</b>	<b>de</b>	Lluvia invernal mayor que estival
	<b>Monzónico</b>	<b>do</b>	Julio y agosto menos secos que abril y mayo
	<b>Isohigro</b>	<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 ET<sub>o</sub>. **Isohigro semiárido (si):** semejante al anterior, pero la precipitación de la primavera cubre menos del 50% de la ET<sub>o</sub>. **Desértico:** la precipitación anual cubre menos del 22% de la ET<sub>o</sub>. 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 precipitación cubre más del 9% de la ETo; y **da** (desierto absoluto), todos los meses son áridos, la precipitación cubre menos del 9% de la ETo

**Tabla 74: Clasificación de las unidades climáticas y sus subdivisiones en función del régimen térmico e hídrico (Papadakis, 1966)**

UNIDAD CLIMÁTICA	SUBUNIDAD CLIMÁTICA	REGIMEN TERMICO	REGIMEN HIDRICO
<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 75: 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 76: 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 77: 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 78: 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'	$\text{ETP}_{v\%} \geq 88,0$