### **ÍNDICE GENERAL:**

###

**1. OBJETIVO DEL ANEJO**

**2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO**

**3. METODOLOGÍA GENERAL**

 **3.1. NECESIDADES NETAS DE AGUA**

 **3.2. NECESIDADES BRUTAS DE AGUA**

 **3.3. VOLÚMENES DE AGUA REQUERIDOS**

**4. APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO**

 **4.1. INTRODUCCIÓN**

 **4.2. ANÁLISIS DE LOS DATOS CLIMÁTICOS**

 **4.3. CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE REFERENCIA**

 **4.4. NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO DE LOS DISTINTOS CULTIVOS**

**5. NECESIDADES NETAS DE AGUA DE LOS CULTIVOS**

**6. GARANTÍA DE LAS NECESIDADES NETAS**

**7. NECESIDADES BRUTAS DE AGUA DE RIEGO**

**8. PROGRAMACIÓN DE RIEGOS**

**9. VALORACIÓN ECONÓMICA**

 **1. OBJETIVO DEL ANEJO**

 El anejo del que trata este documento tiene por objetivo **establecer las necesidades anuales de agua para el riego de la zona, su distribución mensual, la punta de esas necesidades**, que es el que determinará el caudal de cálculo de las instalaciones.

 El paso previo al cálculo de los volúmenes necesarios de agua de riego es la definición de su dedicación cultural, condicionada por factores climatológicos, edáficos y agroeconómicos.

**2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO**

En este apartado se deberán describir los condicionantes básicos existentes, el análisis de los antecedentes y la experiencia acumulada en la determinación de necesidades de agua en zonas regables, se aconseja tener en cuenta los siguientes **condicionantes de partida**:

* Es preciso calcular las necesidades de agua de los distintos cultivos en numerosas hipótesis, tanto por cuanto se refiere a la utilización de datos básicos, climáticos y agronómicos, como a su combinación en distintos porcentajes para obtener bastantes alternativas.
* La indeterminación que suele existir, especialmente en la duración de las cuatro etapas en que, según el consumo de agua, se divide el ciclo vegetativo de los cultivos, así como en la amplitud de los períodos de siembra y recolección, aconseja realizar un análisis de sensibilidad de la influencia que tienen diversos factores en las necesidades de agua.
* La existencia de muchos métodos de cálculo, recomienda el análisis de los resultados que se obtienen mediante diferentes mecanismos.
* La evidente influencia que diversos factores climáticos, intrínsecamente aleatorios, tienen sobre las necesidades de agua de los cultivos, aconseja efectuar un análisis probabilístico de los resultados, a fin de conocer la garantía que proporciona el cultivo o alternativa correspondiente una determinada dotación.
* El cálculo del volumen de agua preciso para la zona regable y su distribución en el tiempo es inmediato una vez que se conocen las necesidades netas unitarias, las brutas correspondientes, y las superficies netas dedicadas al cultivo.

**3. METODOLOGÍA GENERAL**

* 1. NECESIDADES NETAS DE AGUA

 Los condicionantes básicos descritos imponen, evidentemente, la necesidad de mecanizar el cálculo de las necesidades de agua para poder tener en cuenta debidamente la gran cantidad de variables que existen, y analizar un número suficiente de alternativas de forma que realmente se pueda elegir la que sea óptima.

 Se utilizará un modelo matemático, especialmente diseñado para el cálculo de las necesidades netas de agua de los diferentes cultivos, que está estructurado en varios apartados de programas, de forma que para pasar a la etapa siguiente, al apartado siguiente, es preciso que se hayan tomado las decisiones pertinentes a la vista de los resultados obtenidos en las anteriores. Estas etapas son, que posteriormente se verán con mucho más detalle:

1. Análisis de la **información climatológica** disponible.
2. Determinación de la **evapotranspiración potencial del cultivo** de referencia, ETo, (la ETo se define como la "Tasa de evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas verdes de altura de 8 a 15 cm, de crecimiento activo, que cubren totalmente el suelo y que no escasean de agua"), mediante los numerosos métodos existentes y especialmente con los que recomienda F.A.O. en su publicación nº 24 denominada "Necesidades de agua de los cultivos".
3. En relación con este programa, debe destacarse que no solamente permite utilizar diferentes procedimientos de cálculo (Penman; Blaney-Criddle; Radiación; Hargreaves; Jensen-Haise; Thornthwaite; Christiansen, etc.) sino que puede trabajar con cualquier serie, por larga que sea, de datos mensuales en lugar de con valores medios, como es habitual. El programa, además de las salidas numéricas normales, proporciona gráficos que permiten decidir sobre el método o los métodos con los que es conveniente proseguir los cálculos.
4. Determinación de las necesidades netas de agua de cada cultivo.
5. Se comienza por calcular la evapotranspiración potencial de cada cultivo. ETc = Kc ETo.
6. Los valores de Kc dependen no solamente de cada cultivo sino de la fecha de iniciación y duración de los distintos períodos de germinación y desarrollo inicial, crecimiento, maduración, etc., de la planta. El modelo se ajusta a las directrices de F.A.O. a este respecto y calcula los distintos Kc a lo largo del año, teniendo en cuenta la frecuencia esperada de la lluvia o riego, el valor de ETo y las características de fecha y duración de las distintas etapas del ciclo vegetativo de la planta.
7. A partir de estos valores el modelo calcula las **necesidades netas de agua de riego** que tendría cada cultivo de los estudiados, a lo largo de los años de la serie histórica, con un balance mensual entre los usos consuntivos de evapotranspiración, las aportaciones de agua de lluvia, las posibilidades de almacenamiento de agua en el suelo y los pre-riegos. Como es natural, todos estos factores pueden ser variados automáticamente para comprobar la sensibilidad de cada cultivo. Al final de esta etapa se conocen las necesidades de agua netas para cada cultivo y se puede **planificar** (considerando por supuesto otros muchos factores agronómicos, económicos, etc.) las alternativas de cultivo más adecuadas en principio.
8. Determinación de las necesidades netas de agua de las alternativas de cultivos definidas.
9. Una vez que quede definida la alternativa que se quiere estudiar, en función de los cultivos y de la superficie relativa que ocupa, se calculan las **necesidades netas de agua mediante el balance complementario** análogo al que se ha utilizado para los cultivos individuales. Se parte para ello de los valores de la evapotranspiración potencial de cada cultivo y de su superficie relativa ocupada, y se considera la influencia de la lluvia eficaz, los pre-riegos, y las posibilidades de almacenamiento de agua en el suelo, que son variables de un mes a otro. El resultado final de los cálculos es una tabla, para la alternativa analizada, en la que figuran los valores mensuales de necesidades netas para cada uno de los años de la serie histórica y, por supuesto, los valores medios.
	1. NECESIDADES BRUTAS DE AGUA

 Se realiza mediante la aplicación de unos coeficientes correctores que incrementan las necesidades para tener en cuenta la eficacia en la aplicación del agua a nivel de parcela (en función del método de riego y de la capacidad profesional del regante), y de las pérdidas en las conducciones.

* 1. VOLÚMENES DE AGUA REQUERIDOS

 El cálculo de los volúmenes de agua que determinadas necesidades brutas requieren es inmediato cuando se sabe la superficie neta que se va a dedicar al cultivo de cada alternativa, ya que es el producto de ambos factores.

 Este cálculo se realiza por meses, de forma que se conocen los volúmenes de los recursos hidráulicos disponibles que cada mes deben reservarse para la zona regable en cuestión.

 A la vez, el conocimiento del volumen total que es preciso servir en el mes de máximo consumo permite deducir, en función de la hipótesis respecto a capacidad de regulación de las instalaciones de conducción y de la duración de la jornada de riego, el caudal de diseño de los distintos tramos de conducción y específicamente de la toma.

**4. APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO**

* 1. INTRODUCCIÓN

 En Este apartado se realizarán los cálculos matemáticos necesarios para obtener las necesidades netas de agua de las alternativas que se deseen, en las páginas sucesivas se expone la aplicación de cada uno de los módulos de que consta el modelo.

* 1. ANÁLISIS DE LOS DATOS CLIMÁTICOS

 Los datos climáticos necesarios para el cálculo de la evapotranspiración potencial del cultivo de referencia ETo, por los diversos métodos que se mencionarán son:

* Temperatura media mensual (ºC)
* Humedad relativa media mensual (%)
* Humedad relativa mínima mensual (%)
* Humedad relativa máxima mensual (%)
* Número total de horas de sol al mes, en su defecto, nubosidad en octas o en décimas (de superficie de la esfera celeste cubierta por nubosidad). La cantidad de nubes en el cielo suele venir definida meteorológicamente por el número de octavas partes de cielo cubierto en la observación
* Velocidad media mensual del viento (m/s)

 Se debe añadir, para establecer las necesidades de riego, la precipitación mensual (mm).

* 1. CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL DEL CULTIVO DE REFERENCIA

 Este cálculo es la primera parte del módulo correspondiente al cálculo de necesidades netas de agua de los cultivos. El cálculo de la evapotranspiración potencial del cultivo de referencia (ETo) puede realizarse por diversos métodos siguiendo los distintos autores.

1. Blaney-Criddle
2. Método de la Radiación
3. Penman
4. Evaporación de tanque
5. Hargreaves
6. Jensen-Haise
7. Christiansen
8. Thornthwaite

 Estos métodos son los que el modelo puede realizar. El proyectista puede elegir cuales quiere utilizar y de aquellos que decida usar, debe haber introducido, previamente, los valores mensuales de los datos climáticos que el método necesita. Todos los métodos descritos y publicados por F.A.O., sobre riego y drenaje. A la hora de escoger para una zona concreta el método de cálculo más conveniente, el primer condicionamiento lo constituyen los datos climáticos disponibles.

 Para este Anejo Tipo, con la intención de abordar el cálculo de la forma más amplia posible se ha calculado la ETo por cinco de los ocho métodos nombrados.

* + 1. **Método de Blaney-Criddle**

 Método basado en la siguiente ecuación:

**f = p (0,46·Tm + 8,13)**

**ETo = a+bf**

Donde:

ETo= Valor medio diario de la evapotranspiración potencial del cultivo de referencia en el mes analizado (mm/día).

a;b= Constantes que dependen de la velocidad del viento (v), humedad relativa mínima (HR mín) y de la insolación (n/N), siendo "n" el número de horas reales de sol y "N" el número máximo posible de ellas.

Tm = Temperatura media mensual en ºC.

p = Porcentaje medio diaria de horas diurnas anuales en diferentes meses y latitudes.

En consecuencia el input está constituido por los siguientes datos:

- Latitud del lugar en cuestión.

- Tabla de valores de Tm, temperatura media mensual en ºC.

- Tabla de humedades relativas mínimas (HR mín).

- Tabla de número de horas de sol al mes (en el caso de no disponer de datos sobre horas de sol, puede estimarse n/N a partir de la nubosidad en octas o en décimas), a partir de la cual se obtiene la de valores de "n".

- Tabla de valores estimados de la velocidad del viento diurno (v) en m/s.

Además, se utilizan las tablas siguientes:

- Tabla de valores de p.

- Tabla de valores de "N", duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación en diferentes meses y latitudes.

- Valores de los parámetros a y b en función de la HR mín, n/N y V, de acuerdo con el ábaco recogido de la mencionada Publicación nº 24 de la F.A.O.

- Tablas de estimación de los valores de n a partir de la nubosidad en octa y en décimas.

* + 1. **Método de Radiación**

 Utiliza las siguientes relaciones:

**ETo = A+B W Rs**

**Rs = (a+b n/N) Ra**

Donde:

ETo = Valor medio diario de la evapotranspiración potencial del cultivo de referencia en el mes analizado (mm/día).

Rs = Radiación solar expresada en el equivalente de evaporación (mm/día).

a;b = Constantes de la ecuación de la radiación solar, en función de la localización.

n = Número medio de horas de sol al día en el mes considerado.

N = Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación para el mes y latitud consideradas.

Ra = Radiación extraterrestre expresada en equivalente de evaporación (mm/día).

W = Factor de ponderación en función de las temperaturas y altitud.

A,B = Constantes que dependen del producto W\*Rs, de la humedad relativa media HR media y de la velocidad media de los vientos diurnos (v) en m/s.

El input está constituido por los datos siguientes:

- Latitud del lugar en cuestión.

- Tabla de valores de Tm, temperatura media mensual en ºC.

- Tablas de humedades relativas medias (HR media)

- Tabla de número de horas de sol al mes, a partir de la cual se obtiene la de valores de "n" o, en su defecto, tabla de nubosidad en octas o en décimas.

- Tabla de valores medidos, o estimados, de la velocidad del viento diurno V en (m/s).

- Valores asignados para a y b.

Además de estos inputs, variables, se utilizan las tablas siguientes:

- Tablas de valores de Ra, mes a mes en función de la latitud.

- Tabla de valores de "N" en función de la latitud.

- Tabla de valores de W en función de la latitud y temperatura.

- Valores de los parámetros A y B en función de HR media, W\*Rs, y velocidad media de los vientos diurnos, V, de acuerdo con el ábaco, reproducido de la Publicación nº 24.

- Tabla de estimación de n/N a partir de la nubosidad en octas o en décimas.

* + 1. **Método de Penman**

Utiliza las siguientes fórmulas, descritas a continuación:

**ETo = C [W·Rn +(1-W)·(u)· (ea-ed)]**

Donde:

Eto = Valor medio diario de evapotranspiración potencial del cultivo de referencia en el mes analizado (mm/día).

ea = Presión saturante del vapor en mbar, en función de la temperatura media del aire (Tm) medido en ºC.

ed = presión del vapor en mbar, calculada a partir de ea, multiplicando por la humedad relativa media del aire (HR media,%).

f(u)= Función del viento, la cual toma el valor de 0,27 (1 + U2/100) siendo:

 U2= Velocidad del viento en km/día a una altura de 2 metros

 (los factores para corregir la velocidad del viento en alturas superiores o inferiores a 2 metros figuran en la publicación nº 24).

W = Factor de ponderación, en función de la temperatura y de la altitud.

**Rn= Rns - Rne = Raciación neta.**

Donde:

Rns = (1-μ) (a+b) n/N) = Radiación solar neta de ondas cortas (mm/día).

μ = albedo

Rne = f (t) . f (ed) .f (n/N) = Radiación solar neta de ondas largas (mm/día)

f (t)= TK4

f (ed)= 0,34 - 0,044 ed

f (n/N)= 0,1 + 0,9 n/N

C = Factor corrector en función de la humedad relativa máxima (HR max, %), radiación solar Rs, velocidad del viento V (m/s) y la relación entre la velocidad de los vientos diurnos y nocturnos.

En consecuencia, el input está constituido por los datos siguientes:

- Latitud del lugar en cuestión.

- Tabla de valores de temperatura media mensual, Tm, ºC

- Tabla de valores de humedad relativa media, HR media, %

- Tabla de valores de humedad relativa máxima, HR máxima, %.

- Tabla de número de horas de sol al mes, a partir de la cual se obtiene la de valores de n, o en su defecto tabla de nubosidad en octas o en décimas.

- Tabla de valores de la velocidad del viento y corrección con la altura de medición si ésta no se hizo a 2,0 m.

- Valor de las constantes a y b del albedo.

- Estimación de la relación entre velocidades de los vientos diurnos.

Además de estos inputs variables, se utilizan los siguientes inputs constantes:

- Tabla de valores de ea en función de Tm.

- Tablas de valores del factor de ponderación W en función de la temperatura y de la altitud.

- Tabla de valores de N.

- Tabla de valores de Ra.

- Tabla de valores de f (t).

- Tabla del factor corrector C.

- Tabla de estimación de n/N a partir de la nubosidad en octas o en décimas.

* + 1. **Método de Hargreaves**

La evapoptranspiración potencial del cultivo de referencia ETo en este método es:

**ETo = 0,0075 R (32+1,8 Tm)**

Siendo:

R = Radiación solar media, transformada a evaporación en mm/mes.

Tm = Temperatura media mensual, ºC.

 Como generalmente, los valores de R no son conocidos se contemplan dos posibilidades, dadas por Hargreaves, para estimar R a partir de la radiación extraterrestre Ra.

 i) Método de Hargreaves a partir de la radiación extraterrestre y la temperatura.

**ETo = 0,0075 (32+1,8 Tm) 0,075 Ra 100 n/N**

Donde el input incluye, además de la latitud:

Tm = Temperatura media mensual

n = Número medio de horas reales de sol al día, o en su defecto tabla de nubosidad en octas o en décimas.

n/N= Estimación a partir de los datos de nubosidad.

 ii) Método de Hargreaves a partir de la humedad relativa, radiación extraterrestre y temperatura.

En este caso se tiene:

**ETo = 4,0132 10-4 (32+1,8 Tm) Ra N 0,17 (70-L)1/2 0,166(100-HR)1/2**

con las restricciones de que, cuando 0,17( 70-L)1/2 es mayor que 1, se toma 1, y que cuando o,166 (100- HR)1/2 es mayor que 1, también se toma 1. El input incluye los datos siguientes:

Tm = Tabla de valores de temperatura media mensual medido en ºC.

L = Latitud de la estación en grados y décimas de grado.

HR = Tabla de valores de humedad relativa media en porcentaje.

 Además se utilizan las tablas de valores de la radiación extraterrestre Ra y duración máxima diaria media de las horas fuertes de insolación N.

* + 1. **Método de Christiansen**

 En este método se utilizan las siguientes fórmulas:

**ETo = 0,324 Ra CTT CWT CHT CST CE**

**CTT = 0,463+0,425 (Tc/To)+0,112 (Tc/To)2**

**CWT = 0,672+0,406 (W/Wo) - 0,078 (W/Wo)2**

**CHT = 1,035+0,240 (Hm/Ho)2-0,275 (Hm/Ho)3**

**CST = 0,340+0,856 (S/S0)-0,916 (S/So)2**

**CE = 0,970+0,030 (E/EO)**

Donde:

ETo= Evapotranspiración potencial del cultivo de referencia en (mm/día).

Ra = Radiación extraterrestre (mm/día).

CTT= Coeficiente que depende de la temperatura.

Tc = Temperatura media en ºC.

TO = 20 ºC.

CWT= Coeficiente que depende de la velocidad del viento.

W = Velocidad del viento, en km/h, media a 2,0 m. sobre el suelo.

Wo = 6,7 km/hora.

CHT= Coeficiente función de la humedad relativa media.

Hm = Humedad relativa media en decimales.

Ho = 0,60

CST= Coeficiente de insolación.

S = Porcentaje medio de horas de sol (decimales) n/N

So = n/N 0,80

CE = Coeficiente de elevación.

E = Altitud de metros.

Eo = 305 metros.

El input está formado por siguientes datos:

- Tabla de temperaturas, t, ºC.

- Tabla de velocidad del viento, km/hora, a 2,20 m. sobre el suelo.

- Tabla de valores de humedad relativa media.

- Tabla de número de horas de sol al mes y, a partir de ella, tabla de valores de n, o en su defecto de los valores de la nubosidad en octas o en décimas.

- Cota en metros.

Se utilizan además como inputs fijos:

- Tabla de valores de la radiación extraterrestre Ra (mm/día).

- Tabla de valores de N, duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación a diferentes meses y latitudes.

- Tabla de estimación de los valores de n/N a partir de la nubosidad en octas o en décimas.

* + 1. **Método de Jensen-Haise**

 Las fórmulas que utiliza son:

**Eto = (0,025 T+ 0,08) Rs**

**Rs = Ra (a+b·n/N)**

Donde:

ETo= Valor medio diario de evapotranspiración potencial del cultivo de referencia en el mes analizado (mm/día).

T = Temperatura media del aire, en ºC.

Rs = Radiación solar en (mm/día).

a,b= Constantes de la ecuación de la radiación.

n/N= Relación entre el número real de horas de sol n y el número máximo teórico de horas de sol posibles.

En consecuencia, el input lo constituyen los datos siguientes:

- Latitud

- Tabla de temperatura media mensual, Tm ºC

- Tabla de número de horas de sol al mes, y a apartir de ella la de número de horas de sol al día n, o en su defecto tabla de nubosidad en octas o en décimas.

Además, se usan los siguientes datos:

- Tabla de valores de la radiación extraterrestre Ra.

- Tabla de valores de N

- Tabla de estimación n/N a partir de los valores de la nubosidad en octas o en décimas.

 Finalmente si se decide utilizar varios métodos se realizará una tabla separada por meses en filas, e incluyendo el ETo (mm) de cada método, sacando la media mensual de cada mes.

* 1. NECESIDADES NETAS DE AGUA DE RIEGO DE LOS DIFERENTES CULTIVOS

 El cálculo de las necesidades netas de agua de riego para un cultivo determinado se ha realizado, mes a mes, para todo el período de estudio, teniendo en cuenta para efectuar el oportuno balance el valor de evapotranspiración potencial para cada cultivo (ETc), las dosis de pre-riego previstas, el porcentaje de precipitación que aprovechan los cultivos (lluvia eficaz) y la capacidad de almacenamiento del suelo. Cada uno de estos factores se exponen brevemente a continuación.

**Cultivos analizados y calendario de cultivos:**

 En este apartado se considerarán los cultivos de mayor interés para la zona, estableciéndose sus fechas de siembra y recolección, contrastando este punto con información local.

 Lógicamente al fijar diversas fechas de siembra para un determinado cultivo puede comprobarse la sensibilidad de los consumos de agua al anticipo o retraso de aquellas.

**Precipitación eficaz:**

 Otro de los factores importantes en el cálculo de las necesidades netas de agua es sin duda la precipitación eficaz, es decir, el porcentaje de la precipitación mensual que se puede suponer que es aprovechado por los cultivos.

 Se debe utilizar, según F.A.O. aplicación de un ábaco del S.C.S., Soil Conservation Service de los Estados Unidos.

**Pre-riego:**

 El pre-riego es una dotación de agua que se aporta al terreno previo a la siembra. Suelen ser necesarios en climas áridos. Se puede añadir cualquier valor predeterminado a los cultivos que se desee en el mes o meses que el especialista agronómico decida. En realidad el agua de riego que llegue a las plantas debe coincidir con las necesidades netas, otra cosa es la dotación real, en cuya determinación intervienen los coeficientes de eficacia.

**Reserva de agua en el suelo:**

 La función de este factor es tener en cuenta el balance mensual. El suelo puede almacenar cierta cantidad máxima de agua, ya sea por riego o por lluvias, que se puede utilizar para proporcionar el agua que precisan los cultivos por evapotranspiración.

 En este caso el balance se efectúa entre evapotranspiración potencial, lluvia eficaz, eventualmente pre-riegos y la reserva del suelo.

1. **NECESIDADES NETAS DE AGUA DE LOS CULTIVOS**

 El cálculo se realiza, teniendo en cuenta los valores mensuales de la ETo al que se le aplica el coeficiente Kc de cultivo de forma que la evapotranspiración potencial de cada cultivo vendrá dada por:

**ETc = Kc \* ETo**

 Los valores de Kc dependen no solo de cada cultivo sino de la fecha de iniciación y la duración de los distintos estado fenológicos. Por ello, se han adoptado los recomendados por la F.A.O., teniendo en cuenta la frecuencia esperada de lluvias, el valor de ETo y el estado vegetativo de la planta. La necesidad neta de agua viene

dada por:

**N.N = ETc - Precipitación eficaz.**

Consumos unitarios de los cultivos valores de ETc y N.N. mensuales en (mm).

1. **GARANTÍA DE LAS NECESIDADES NETAS**

 La adopción de unas determinadas necesidades netas mensuales necesita previamente de una decisión sobre cuál es la garantía que se desea tener en el servicio; es decir, cual es la probabilidad de que determinada necesidad neta de agua, que se fija como típica, sea superada debido a los factores climáticos.

 Es obvio que en demandas de agua para riegos no se puede planificar con el fin de obtener una garantía absoluta, pero una inversión tal como la que supone la puesta en riego de una zona agrícola debe estar protegida en alguna medida de las eventualidades y aleatoriedades del clima.

 La carencia de datos suficientemente fiables a este respecto hace que, hoy por hoy, el tema se resuelva admitiendo un valor para la garantía en el servicio, es decir, de la probabilidad de que las necesidades netas no sean superadas, y que normalmente se suele fijar en función del tipo de cultivo y de las circunstancias de la zona regable.

1. **NECESIDADES BRUTAS DE AGUA DE RIEGO**

 Una vez conocidas las necesidades netas de riego, hay que valorar la eficacia en la aplicación del riego. Tradicionalmente, se admite una eficacia en la aplicación del riego entre el 80% y el 95%, teniendo en cuenta que la aplicación del riego se efectuará mediante riegos de alta frecuencia.

 Normalmente en este tipo de riego se considera que no toda la superficie se moja,y las necesidades vienen dadas por la expresión:

$$N.B.=ET+\frac{Pa}{100}+0,15[1-\frac{Pa}{100}]$$

Donde:

ET = Evapotranspiración en mm

Ps = % superficie sombreada.

1. **PROGRAMACIÓN DE RIEGOS**

 La programación de riegos (PR) es la técnica más adecuada para mejorar la eficiencia de la aplicación del agua en la parcela y con ella el regante establece cuándo se debe regar y con qué cantidad de agua es preciso realizar dicho riego.

 El PR es un problema complejo, ya que se debe combinar la satisfacción de las necesidades de agua de los cultivos con las restricciones impuestas por la realidad de las explotaciones agrarias.

 Se deben tener en cuenta los siguientes condicionantes:

* Disponibilidad de agua.
* Mano de obra
* Energía
* Sistema e instalación de riego existentes
* Sistema de entrega de agua
* Factores legales
* Especialización del regante

También se deben tener en cuenta factores edáficos:

* Textura
* Capacidad de retención del suelo
* Profundidad
* Otros

Factores climáticos calculados anteriormente como al temperatura, viento, etc.

 Los posibles métodos de PR se clasificarán en 3 grupos:

1. **Programación de riegos mediante el balance hídrico**

 El método más ampliamente difundido para programar el riego es el que establece un balance hídrico en la unidad de cultivo que se pretende programar. El propósito del balance hídrico es predecir el contenido de agua en la zona radicular como resultado de la ecuación de conservación de agua:

**(AWC \* Z) = Entradas – Salidas**

Donde:

- AWC es la variación del contenido de agua disponible por unidad de profundidad del sistema radicular.

- Z es la profundidad efectiva del sistema radicular.

 Si se conocieran con exactitud todos los componentes del balance sería este un método de programación muy preciso. Por desgracia esto no es posible lograrlo si no es con un cierto grado de aproximación, a pesar de lo cual se trata sin duda del método más empleado. Los componentes del balance son:

Entradas: Salidas:

P: Precipitación efectiva ETc: Evapotranspiración cultivo

R: Riego PP: Percolación profunda

AC: Ascenso capilar E: Escorrentía

 En principio, el objetivo de cada riego es hacer que el contenido de agua en el suelo vuelva al nivel en que se encontraba después del riego anterior (AWC \* Z) = 0. La expresión que permite conocer las necesidades netas de riego es:

**R = ETc + PP + E - P – AC**

Siendo:

- ETc: Evapotranspiración

- PP: Percolación profunda

- E: Escorrentía

- P: Precipitación

- AC: Ascenso Capilar

- AWC: Variación del contenido de agua en el suelo

 En los suelos donde exista una restricción de suelo, por existencia de suela de labor o costra caliza, el crecimiento de la profundidad radicular se puede determinar de la misma forma hasta que alcance dicho límite, en donde se estabiliza. De esta forma la profundidad efectiva del sistema radicular en un momento t (Zt), se puede estimar como:

**Zt = Zmax \* kct / kcmax**

Siendo: Zmax la profundidad efectiva máxima del sistema radicular, kct el coeficiente cultural en el momento t, y kcmax el máximo valor del coeficiente cultural a lo largo del ciclo. El nivel de agotamiento permisible puede aumentar o disminuir a lo largo del ciclo, haciendo que la variación de la reserva de agua útil en el suelo que ello supone tenga valor positivo o negativo según sea el caso.

1. **Programación de riegos bajo condiciones adversas**

**2.1) Por falta de agua**

Se realizará considerando los siguientes componentes:

* Riego neto
* Precipitación efectiva
* Variación de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo
* Nivel de restitución de la ETc

 La gestión del riego deficitario puede llevarse a cabo de varias maneras. El regante puede reducir el volumen de riego neto (Nn) dejando cierta capacidad de reserva en la zona radicular. Otra forma es, asumir una alta eficiencia de aplicación del riego (Ea = Nn / Nb), para disminuir la cantidad bruta que se debe aportar. En general, estas estrategias implican que algunas zonas de la parcela queden subirrigadas.

 Cuando se programan déficits más severos la parcela entera queda subirrigada. En este último caso la eficiencia de aplicación no es lo más importante y el regante debe concentrarse en el tiempo y frecuencia de un limitado número de riegos.

 En riegos por superficie, los riegos deficitarios pueden llevarse a cabo humedeciendo surcos alternos, o espaciando más los surcos.

**2.2) Bajo condiciones de precipitación variable**

 A la cantidad neta de agua resultante de la programación se le debe añadir una cantidad adicional, calculada en función del nivel de salinidad del suelo y del agua, para producir el lavado de sales. Las necesidades de lavado se pueden calcular como:

**LR=Dd/Di=Ci/Cd**

Donde:

- Dd: Profundidad de agua que debe pasar por debajo de la zona radicular como agua de drenaje

- Di: Profundidad bruta de agua de riego más lluvia.

- Ci: Concentración de sales de agua de riego.

- Cd: Concentración de sales de agua de drenaje.

 Cuando se aplican las necesidades de lavado debe tenerse en cuenta que el excesivo lavado de sales puede llevar al lixiviado de nutrientes. Cuando se maneja el riego en condiciones salinas debe considerarse la concentración de sales del agua de riego, la tolerancia a las sales del cultivo, la precipitación anual, la profundidad de la capa freática y la facilidad de drenaje.

1. **VALORACIÓN ECONÓMICA**

 Es necesario en cualquier actividad de este tipo realizar un análisis financiero y un estudio de los márgenes brutos existentes, para ello se utilizarán diferentes parámetros que se describen a continuación.

1. **Valor Actual Neto (VAN)**

 Indica la ganancia neta generada, si el VAN > 0, para el interés escogido, resulta viable desde un punto de vista financiero.

 Por otro lado si el VAN < 0 indica que proporciona al inversos un número de unidades monetarias menor que el inversor proporciona al proyecto, por lo tanto inviable. La fórmula a utilizar es:



Donde:

- VAN: Valor Actual Neto (€)

- Vt: Flujo de caja (€)

-Io: Pago de inversión (€)

- k: Tipo de interés (tanto por uno)

1. **Relación Beneficio/Inversión (RBI)**

 El RBI es una medida de la rentabilidad relativa de una inversión. Se calcula dividiendo el VAN generado, por su pago de inversión, en su caso, tal y como se indica en la siguiente ecuación.

**RBI = VAN / K**

1. **Tasa Interna de Retorno (TIR)**

 Se puede decir que, una inversión es viable cuando su TIR (λ) supera al tipo de interés (i) al cual el inversor puede conseguir recursos financieros. Es decir, planteamos la inversión como un préstamo que el inversor realiza al proyecto de inversión, y que este debe devolver en anualidades (flujos de caja) durante los años de vida útil

 Resulta muy útil determinar el tipo de interés que obtiene el inversor por su préstamo de K unidades monetarias. El valor que tome el TIR será aquel que haga que el VAN sea igual a cero, y se determina despejando la ecuación del VAN.



Donde:

- Ft: Flujo de caja (€)

- TIR: Tipo de interés generado por el proyecto (tanto por uno)

- I: Pago de la inversión