



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



“REQUERIMIENTO DE AGUA POR LOS CULTIVOS PARA USO EN LA SIERRA”



ESTE MANUAL HA SIDO PREPARADO POR:

Ing. JESÚS ANTONIO JAIME PIÑAS

Acobamba - Huancavelica



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



RESUMEN

En este Manual se presentan métodos para estimación de evapotranspiración potencial, ETP, a partir de datos climáticos y de evaporación en tanques tipo A. La evapotranspiración potencial de cosechas bajo condiciones favorables de crecimiento se estima de ETP y de los coeficientes de cosecha, KC. Se sugieren eficiencias de riego deseables, se definen requerimientos de lavado y se describen condiciones de suelo y otros factores que influyen la cantidad de agua a ser aplicada. Se presenta un procedimiento que usa principalmente datos climáticos medios mensuales para programación del riego.

Se desarrolla un concepto de precipitación confiable y se utiliza para relacionar la humedad adecuada y la producción de cosechas, o en el desarrollo de funciones de producción vs. Humedad disponible. Se presentan periodos críticos para deficiencias de humedad para un gran número de cosechas. Se propone utilizar una clasificación de déficit de humedad y de clima para evaluar la precipitación como un recurso potencial para la agricultura de secano.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



DEFINICIÓN DE TERMINOS

Evapotranspiración Potencial.- ETP, es la cantidad de agua evaporada y transpirada por una cobertura de pequeñas plantas verdes (generalmente pasto) en estado activo de crecimiento con suministro continuo y adecuado de humedad. Se considera dependiente del clima y puede ser estimada de parámetros climáticos, dentro de los cuales los más importantes son la radiación incidente disponible, temperatura ambiente y humedad relativa. La radiación incidente está relacionado con la radiación extraterrestre que llega a una capa más externa de la atmósfera y es modificada por los factores que influyen su transmisión a través de la atmósfera tales como la nubosidad .

Estos parámetros climáticos no son independientes uno del otro sino están interrelacionados en una forma compleja. Se propone como un estándar para evapotranspiración Potencial, La evapotranspiración medida por Pruitt (16) en Davis. California, usando un lisímetro de 20 pies de diámetro (aproximadamente 6 metros) sembrado con pasto.

El Comité Técnico para Requerimientos de Riego, de la Sociedad Americana de Ingenieros civiles (ASCE) ha utilizado alfalfa como un estándar para evapotranspiración potencial. En este manual se utiliza el pasto como un estándar para la evapotranspiración potencial , que es cerca del 80 al 87% del de alfalfa.

Evapotranspiración Real, ETA: Es el uso potencial de agua por los cultivos agrícolas incluyendo evaporación directa de la humedad del suelo y de las plantas húmedas. Depende del clima ,el cultivo asume un suministro adecuado de humedad. En la estimación de la evapotranspiración potencial se considera los factores



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”

climáticos los factores de cultivo se utilizan para calcular ETA de ETP y son influenciados por la etapa de crecimiento, porcentaje de cobertura, altura de la planta y total superficie foliar. La evapotranspiración puede ser limitada por la humedad disponible dentro de la zona radicular, por las enfermedades de los cultivos y por algunas características propias del cultivo. La ETA es el uso potencial del agua bajo condiciones favorables y es equivalente a ET (cultivo) como lo utiliza la FAO en su reporte N° 24 sobre irrigación y Drenaje (6)

Precipitación Confiable o Dependiente, PD: Es la precipitación que tienen una cierta probabilidad de ocurrencia basada en los análisis de records de precipitación de un largo periodo de años. Para el desarrollo de riego y para la mayoría de las condiciones se ha determinado una probabilidad de 75% o la lluvia que puede esperarse que ocurra 3 por cada 4 años. Para algunos cultivos sensibles a la sequía, o de alto valor económico, o condiciones especiales puede ser más apropiado un mayor nivel de probabilidad.

Índice de disponibilidad de Humedad, MAI: - es la medida relativa de la adaptación de la precipitación en suministrar los requerimientos de humedad. Se obtiene dividiendo la precipitación dependiente con la evapotranspiración potencial ($MAI = PD/ETP$). Indica la proporción del suministro de agua aprovechable para el cultivo, de la precipitación dependiente.

Déficit de Humedad, ETDF: Es la diferencia entre la evapotranspiración potencial y la precipitación dependiente. Un exceso de humedad es indicado por un déficit negativo ($ETDF = ETP - PD$).

ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL, ETP

Se ha desarrollado muchos métodos útiles para la estimación de la evapotranspiración potencial, ETP. Christiansen y colaboradores (2,4) desarrollaron fórmulas para estimar evaporación de tanque tipo A, EV y ETP a partir de radiación extraterrestre, RA, y diferentes datos climáticos. El comité de requerimientos de riego de la ASCE (1) da métodos para estimar evapotranspiración basados en evapotranspiración de alfalfa, ET (alfalfa)

La organización para la alimentación y agricultura (FAO) de las Naciones Unidas (6) resume varios métodos para estimación de ETP basados en ET (pasto).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



Afortunadamente, los elementos o medidas climáticas están altamente interrelacionados para una determinada localidad gran parte de la variación en ETP puede ser prevista razonablemente de dos a más medidas o valores calculado de factores climáticos comunes. Sin embargo, ninguna simple medida predice un alto grado de varianza única. Así, el efecto de una variable depende de cuanta variación ha sido compensada por otra variable. Por ejemplo si el efecto de la radiación es adecuadamente evaluado y ponderado en los cálculos, luego el efecto de la humedad relativa no es significativa. La mayoría de la variación en porcentaje de horas – sol y de radiación solar incidente puede ser predicha de medidas de la humedad relativa. En la publicación de la FAO se dan correcciones de humedad tanto para el método de la radiación , como para la ecuación de penman. Esto viene a ser innecesario cuando la combinación de los efectos de la radiación y temperatura permiten predecir la cantidad máxima posible de variación en ETP.

La temperatura y la radiación juntas pueden ser utilizadas para predecir efectivamente la mayoría de la variación en ETP, 94% para los valores de 5 días medidos para ET (pasto) en Davis, California por un periodo de 8 años y 98% de la variación para los valores mensuales medianos ($R^2 = 0.94$ y 0.98 respectivamente). Los productos de la temperatura medida en grados Fahrenheit, TMF, por la radiación solar incidente en equivalente a mm de evaporación, RSM, fueron calculados para cada periodo de 5 días para los 8 años (584 periodos). Se calcularon razones para la evapotranspiración medida en los lisímetros EPT (pastos) dividida por $TMP \times RSM$. Los análisis de regresión de estas razones no indican un grado significativo de correlación de humedad relativa, movimiento del viento u otros factores. Análisis gráfico y de computador utilizando datos de lisímetros de otras localidades y países no indican mejoramiento en cuanto al uso de correcciones utilizando otros factores diferentes a temperatura y radiación.

La radiación solar incidente RS en $\text{cal/cm}^2/\text{día}$ se puede obtener de datos y mapas dados por Lof. Doffie and Smith (14). Se presentan datos e isoclinas (misma radiación) estimados cubriendo prácticamente todo el mundo.

Para la estimación de ETP, RS se convierte al equivalente en milímetros de evaporación por mes, RSM, por corrección del número de días en el mes, DM, y el calor latente de agua de vaporización L. La ecuación puede ser escrita:

$$RSM = 10 DM \times RS/L \quad (1)$$

Para la mayoría de los cálculos manuales el valor para L a 20 grados centígrados se puede utilizar, resultando en la ecuación:

$$RSM = (DM \times RS) / 58.5 \quad (1 a)$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



El vapor promedio de calor latente de vaporación, L , para un mes es calculado de la temperatura ambiente mensual en grados centígrados, TMC , o temperatura medio ambiente media mensual en grados Fahrenheit, TMF , por medio de la ecuación.

$$L = 595.9 - 0.55 \times TMC \quad (2)$$

$$L = 595.9 - 0.305 \times (TMF - 32) \quad (2 a)$$

La ecuación (1) puede ser usada para cualquier periodo de tiempo, sustituyendo cualquier número deseado de días en lugar de DM .

La evapotranspiración potencial, ETP , en milímetros por mes puede aproximarse utilizando la ecuación.

$$ETP = 0.004 \times TMF \times RS \quad (3)$$

La ecuación 3 no está corregida para el número de días en el mes o para las diferencias en calor latente de vaporización, L . Una estimación más exacta es dada por una ecuación que utiliza RSM , la cual corrige para el número de días y para los valores reales de L . La ecuación puede ser escrita.

$$ETP = 0.0075 \times RSM \times TMF \quad (4)$$

El valor real de radiación puede ser medido directamente. Sin embargo muchos radiómetros están pobremente calibrados y en muchos áreas los mapas de radiación se basan en un número insuficiente de datos. Los valores de radiación obtenidos, son en muchos casos mas bajos que los reales. Para la mayoría de las áreas bajo riego, o áreas que requieran riego, RSM puede ser estimado con un buen grado de exactitud de la radiación extraterrestre equivalente en mm. mensuales de evaporación, RMM , y el porcentaje de posibles horas – sol, S

La ecuación puede ser escrita:

$$RSM = 0.0075 \times RMM \times S^{1/2} \quad (5)$$

La tabla 1 de valores medios diarios de duración máxima de brillo solar. La ecuación 5 se derivó de datos de 8 años de Davis, California, y luego fue evaluado con el uso de valores medios de largos periodos de muchas localidades incluyendo aquellas utilizadas por Lof, Duffie, y Smith (14). Parece conveniente alguna reducción en la constante para aquellas áreas caracterizadas por la presencia de nubosidades, niebla o esta con mezcla de humo (smog). Esta reducción es casos extremos puede ser hasta 0.065.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



Hay una relación general entre porcentaje de posible brillo solar, S_1 , y la humedad relativa media de 24 horas, HM, para cada región climática o área. La ecuación puede ser escrita en la forma:

$$S = K(100 - HM)^{1/2} \quad (6)$$

Con un máximo valor de $S = 100$. valores comunes de K varían de 9.5 a 12.5.

Un promedio o valor típico puede calcularse o determinarse gráficamente de los datos locales. Hay una considerable dispersión en esta relación pero los errores están usualmente dentro de límites razonables de exactitud.

La radiación extraterrestre, RMD equivalente en mm de evaporación por día, se muestran en la tabla N° 2. $RMM = RMD \times DM$. En el apéndice II – Ecuaciones de computador se dan las ecuaciones para el cálculo de RMM, RSM y ETP por medio del computador.

Hargreaves (8) propone el uso de una ecuación para ETP, basado en el factor mensual de latitud MF temperatura media mensual del aire y un coeficiente para la humedad relativa media mensual CH. La ecuación puede ser escrita:

$$ETP = MF \times TMF \times CH \quad (7)$$

Detalles de los cálculos de ETP por la ecuación (7) se presentan en el apéndice II.

Donde se disponga de datos sobre radiación o brillo solar y estos se consideren confiables. La ecuación (4) se recomienda como superior a la ecuación (7).

La evaporación en tanque tipo A, EV, ha sido ampliamente utilizada como un índice para obtener ETP, EV y ETP responden en diferentes grados a los diferentes elementos del tiempo. ETP puede estimarse asociando EV a un conocimiento de las condiciones de exposición del tanque, y las condiciones climáticas. Los coeficientes pueden desarrollarse para el efecto del viento en kilómetros por día, W. porcentaje medio de humedad relativa en 24 horas HM, y para el efecto de la corriente de aire (Viento), F, en metros o distancia, D, en metros a partir de algún límite dado, con cambio de condiciones. Una exposición estándar para evaporación de tanque tal como se utiliza en este manual se define como un tanque tipo AU.S. (tipo A) rodeado por un cultivo verde y pequeño para una distancia o faja, F, de exposición a corrientes de aire (viento) de 1,000 metros a más bajo condiciones de viento moderado (175 – 420km/día ó 2-5 metros/seg. y una humedad relativa media (40-70 %). Para estas condiciones el coeficiente medio del tanque KP, es cerca de 0.80 ETP es dada por la situación.

$$ETP = KP \times EV \quad (8)$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



Para un tanque localizado en una faja larga de tierra seca o área no cultivada, el valor estandar de KP para vientos moderados y humedad media, es cerca de 0.55. Si la localización está en los linderos de tierras bajo riego y barbecho, con la tierra bajo riego hacia el lado del viento, KP es cerca de 0.75. La distancia hacia el viento desde el área bajo riego, D, se utiliza para corregir los valores de KP. Las correcciones para los valores estándar de coeficientes estandarizados KPS, pueden estimarse a partir del viento en km/día, humedad relativa en %, HM. pueden estimarse a partir del viento de Km/día, humedad relativa en %, HM. De las corrientes de aire, F, o de la distancia, D. por la ecuación:

$$KP = KPS \times CW \times CHM \times CF \text{ ó } CD \quad (9)$$

En la cual:

$$\begin{aligned} CW &= 1.15 - 0.0005 W && (9 a) \\ CHM &= 0.80 + 0.0033 HM && (9 b) \\ CF &= 0.76 + 0.1 \times F^{1/6} && (9 c) \\ CD &= 0.76 - 0.1 \times D^{1/6} && (9 d) \end{aligned}$$

Los valores de W se basan en un instrumento colocado a una altura de 2.0 metros sobre el tanque. El anemómetro puede ser colocado a diferentes alturas sobre el suelo. La velocidad del viento aumenta aproximadamente $^{1/4}$ de la potencia (raíz cuarta) de la altura sobre el nivel de base efectivo.

El comité de requerimientos de riego de la ASCE (1) da coeficientes para una gran variedad de cultivos. Los datos más completados disponibles son para ocho cultivos comunes. Los coeficientes se basan en la evapotranspiración de alfalfa ETP (alfalfa). Los coeficientes dados por el comité fueron multiplicados por el factor 1.20 con el fin de obtener coeficientes de cultivos aplicables a la ETP (pastos). Los coeficientes de cultivos presentados por el comité de la ASCE (1) multiplicados por el 1.20 se dan en la tabla 3. Estos coeficientes cubren un completo rango de etapas de crecimiento y son típicos de frecuencias y prácticas normales de riego. La tabla 4 reproducida en base a Hargreaves (8) resume adicionales coeficientes de cultivo, KC, generalizados, basados sobre datos experimentales disponibles de varios estados y países.

El informe N° 24 sobre riego y drenaje de la FAO (6) presenta una de las discusiones más completas sobre coeficientes de cultivos. La tabla 5 da los valores estacionales de ET (cultivos) de la FAO para la mayoría de los cultivos extensivos, hortalizas y frutales. El valor estacional también se muestra como un % de ET(pasto) para una estación de crecimiento de 12 meses. Varios cultivos y hortalizas pueden ser cultivados 2 veces al año, con lo cual se aproxima más el uso total anual de ET(pasto). La figura 1 muestra gráficamente los coeficientes de cultivos para una variedad de cultivos.

Durante la etapa inicial entre la siembra y el nacimiento de la planta el coeficiente de cultivo, KC, depende sobre todo de la frecuencia de humedecimiento del suelo y de otros factores de menos importancia. La figura 2 reproducida del informe de la FAO da valores promedios de



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



KC durante esta etapa inicial como una función de ETP y de la frecuencia de riego o lluvia. Los coeficientes de cultivos para el intermedio entre la anterior etapa y la cosecha se da en la tabla 6.

Aunque los coeficientes de cultivo son mejor definidos por medio de curvas mostrando los valores desde la siembra hasta la cosecha, ellos pueden aproximarse por líneas rectas la figura 3 presenta un ejemplo. El uso de Líneas rectas para la presentación de valores de KC permite efectuar el balance hídrico por medio del computador y facilita la programación del riego.

EFICIENCIA DE RIEGO

Comúnmente el agua no puede aplicarse uniformemente sobre el área bajo riego. En riego por surco la infiltración es usualmente mayor al comienzo o cabecera del surco. La uniformidad de aplicación en riego por aspersión depende de las condiciones de viento, del tipo de aspersor, y del espaciamiento de los aspersores y laterales. En el diseño de algunos sistemas se calcula la aplicación para suministrar adecuadas cantidades a aquellas áreas que recibe una mínima cantidad de agua. Las eficiencias de riego han sido diversamente definidas. Las eficiencias totales incluyen conducción y almacenamiento en este informe se considera la eficiencia de aplicación o la eficiencia unitaria de riego. El comité de la ASCE (1) define eficiencia unitaria de riego como la razón entre el volumen de agua de riego requerido para un uso benéfico y el volumen de agua entregada al Área. Israelsen y Hansen (12) definen la eficiencia de aplicación como la razón entre el agua almacenada en la zona radicular durante el riego y el agua entregada a la chacra.

Algunos problemas operacionales se relacionan con el diseño y construcción de los sistemas de riego. Los sistemas de canales y de aspersión deberán diseñarse para tiempo completo de operación y deberán tener suficiente capacidad para suministrar adecuadas aplicaciones durante los periodos pico. El diseño de los sistemas de riego deberá basarse en una eficiencia de 60 a 80% para sistemas de riego por superficie y en 80 % para sistemas de riego por aspersión o por goteo. Raras veces se logran altas eficiencias de riego con sistemas diseñados sobre bases de bajas eficiencias debido a que ellos suministran más agua que la necesaria. La falta de adecuadas capacidades para suministrar las demandas máximas resultan en bajas de producción particularmente si las deficiencias de agua ocurren durante periodos críticos del ciclo vegetativo.

REQUERIMIENTO DE LAVADO

La evapotranspiración remueve agua pura de la solución del suelo, efectuándose por consiguiente una concentración de sales en el suelo. Debido a que todas las aguas de riego contienen algunas sales, se requiere algún lavado para prevenir un aumento de la concentración de sales en la solución del suelo en la zona radicular, a niveles que inhiban el crecimiento de la planta. Para que se efectúe el lavado, el perfil del suelo debe ser bien drenado ya sea natural o artificialmente. El lavado es frecuentemente efectuado por la lluvia si



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELCA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



la lluvia elimina periódicamente los excesos de sales del perfil del suelo, al calcular los requerimientos del suelo no se necesitan computar agua extra para el lavado del suelo.

Bajo condiciones específicas de riego, las sales pueden precipitarse en el suelo o pueden ser disueltas de minerales precipitados, Tres sales naturales comunes (enlistadas en orden de solubilidad). CaCO_3 , MgCO_3 , y CaSO_4 , precipitarán antes de que la solución del suelo alcance una concentración que sea peligrosa para la mayoría de las plantas. Cuando una cantidad de esas sales es sustraída en la solución del suelo, el remanente es la salinidad efectiva, ES. Las sales solubles remanentes son aquellas que pueden crear una concentración de salinidad en el suelo, peligrosa para las plantas.

Los requerimientos de lavado son normalmente estimados de la conductividad eléctrica, EC del agua de riego esto erróneamente asume que la sal presente en el agua permanece en la solución del suelo. El requerimiento del lavado, LR en porcentaje de agua aplicada basada sobre esta suposición es dada por la ecuación.

$$\text{LR} = 100 \times \text{EC}_{1\text{W}} / \text{EC}_{58} \quad (11)$$

Donde $\text{EC}_{1\text{W}}$ es la conductividad eléctrica en mmhos por centímetro del agua de riego, y EC_{58} es la máxima conductividad permisible en la solución del suelo en el fondo de la zona radicular o del agua de drenaje.

Los cultivos varían en tolerancia a las sales. La máxima salinidad promedio permisible en la solución del suelo en el fondo de la zona radicular medida como conductividad eléctrica, EC es alrededor de 36 mmhos x centímetro para pasto bermuda, trigo alto, pasto y cebada, 32 milimhos /cm para algodón y remolacha azucarera: y de 4 a 16 milimhos para la mayoría de los otros cultivos. Un milimho es aproximadamente equivalente a 640 ppm a 10 miliequivalentes x litro en la solución del suelo. La EC de la solución del suelo es cerca de tres veces el equivalente de la conductividad eléctrica del extracto de saturación, ECe Richards et al (17) suministran métodos para la determinación de la sanidad del suelo y del agua.

Los análisis químicos para la calidad del agua consiste en la determinación de cationes y aniones (iones + y negativos) los cuales se combinan para formar sales naturales. Los principales cationes de interés son: calcio, Ca^{++} ; Magnesio, Mg^{++} ; Sodio, Na^+ ; y potasio, K^+ . Los principales aniones son bicarbonato, HCO_3^- ; Sulfato, SO_4^- ; Cloro, Cl^- ; y Nitrato NO_3^- . otros iones están usualmente presentes pero en cantidades negligibles. El potasio y el nitrato son nutrientes de importancia para las plantas, pero usualmente están presentes en mucho menos cantidad que los otros iones y frecuentemente no son incluidos en los análisis. Cuando expresamos en miliequivalentes por litros, me/l, la suma de los cationes en la solución del suelo o muestra de agua deberá ser aproximadamente a la suma de los aniones.

De los cationes, el sodio se considera como el más nocivo para la estructura del suelo y por tanto el mas indeseable. Para la mayoría de los cultivos el ión sodio no deberá exceder de



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”

cuarenta me. Por litro en la zona radicular. Sobre estas bases el requerimiento de lavado de sodio, SLR como porcentaje de agua requerida puede ser expresado por la ecuación.

$$SRL = 100 \times Na^+ / 40 \quad (12)$$

Un límite superior aproximado para la salinidad efectiva está en alrededor de 80 me/l. Basado en ES, la ecuación de requerimiento de lavado puede ser escrito como:

$$ESLR = 100 \times ES / 80 \quad (13)$$

Utilizando valores de análisis de aguas, puede calcularse, SLR y ESLR y así debe utilizarse el mayor de los dos valores Christiansen en Utah state University ha desarrollado un programa de computador para hacer estos y otros cálculos de calidad de agua. Christiansen (3) propuso el uso de la siguiente tabla para evaluar la calidad de agua de riego:

Clasificación de la evaluación	EC mmhos	Na ⁺ %	SAR	Na ₂ CO ₃ Meg/1	Cl ⁻ Meg/1	ES Meg/1	Boro ppm
1	0.5	40	3	0.5	3	4	0.5
2	1.0	60	6	1.0	6	8	1.0
3	2.0	70	9	2.0	10	16	2.0
4	3.0	80	12	3.0	15	24	3.0
5	4.0	90	15	4.0	20	32	4.0
6	Mayores que los límites para 5						

Una clasificación de 1 es excelente para uso agrícola. El agua clasificada en 6 aún con respecto a un solo factor generalmente no se considera aprovechable para riego, sin embargo la tolerancia varía con los cultivos y da efectividad de las condiciones de drenaje.

Usualmente, se enfatiza en el mantenimiento de un balance favorable de sales o en eliminar tanta sal en el agua de drenaje como la que entra en el agua de riego. Sin embargo la salinización de suelo. Sin embargo cada situación necesita ser analizada; se debe evaluar la salinidad total y la salinidad efectiva del agua de riego y el límite superior del sodio el carbonato de calcio, el carbonato de magnesio y el sulfato de calcio precipitan según la concentración de la solución del suelo sea incrementada. Buena agricultura podría incluir prácticas que suministren temporalmente una elevación del contenido de sales dentro de límites razonables previendo que existe la perspectiva de un lavado periódico o la traída de mejor calidad de agua en el futuro.

La elevación del contenido de sal en el suelo es más frecuentemente el resultado de un drenaje pobre, que el resultado por la misma aplicación del agua de riego. Una eficiencia normal de riego es tal que un balance favorable de sale puede ser usualmente mantenida si el drenaje subsuperficial está bien desarrollado.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”

El comité de requerimientos de riego de la ASCE (1) da coeficientes para una gran variedad de cultivos. Los datos más completados disponibles son para ocho cultivos comunes. Los coeficientes se basan en la evapotranspiración de alfalfa ETP (alfalfa). Los coeficientes dados por el comité fueron multiplicados por el factor 1.20 con el fin de obtener coeficientes de cultivos aplicables a la ETP (pastos). Los coeficientes de cultivos presentados por el comité de la ASCE (1) multiplicados por el 1.20 se dan en la tabla 3. Estos coeficientes cubren un completo rango de etapas de crecimiento y son típicos de frecuencias y prácticas normales de riego. La tabla 4 reproducida en base a Hargreaves (8) resume adicionales coeficientes de cultivo, KC, generalizados, basados sobre datos experimentales disponibles de varios estados y países.

El informe N° 24 sobre riego y drenaje de la FAO (6) presenta una de las discusiones más completas sobre coeficientes de cultivos. La tabla 5 da los valores estacionales de ET (cultivos) de la FAO para la mayoría de los cultivos extensivos, hortalizas y frutales. El valor estacional también se muestra como un % de ET(pasto) para una estación de crecimiento de 12 meses. Varios cultivos y hortalizas pueden ser cultivados 2 veces al año, con lo cual se aproxima más el uso total anual de ET(pasto). La figura 1 muestra gráficamente los coeficientes de cultivos para una variedad de cultivos.

Durante la etapa inicial entre la siembra y el nacimiento de la planta el coeficiente de cultivo, KC, depende sobre todo de la frecuencia de humedecimiento del suelo y de otros factores de menos importancia. La figura 2 reproducida del informe de la FAO da valores promedios de KC durante esta etapa inicial como una función de ETP y de la frecuencia de riego o lluvia. Los coeficientes de cultivos para el intermedio entre la anterior etapa y la cosecha se da en la tabla 6.

Aunque los coeficientes de cultivo son mejor definidos por medio de curvas mostrando los valores desde la siembra hasta la cosecha, ellos pueden aproximarse por líneas rectas la figura 3 presenta un ejemplo. El uso de Líneas rectas para la presentación de valores de KC permite efectuar el balance hídrico por medio del computador y facilita la programación del riego.

EFICIENCIA DE RIEGO

Comúnmente el agua no puede aplicarse uniformemente sobre el área bajo riego. En riego por surco la infiltración es usualmente mayor al comienzo o cabecera del surco. La uniformidad de aplicación en riego por aspersión depende de las condiciones de viento, del tipo de aspersor, y del espaciamiento de los aspersores y laterales. En el diseño de algunos sistemas se calcula la aplicación para suministrar adecuadas cantidades a aquellas áreas que recibe una mínima cantidad de agua. Las eficiencias de riego han sido diversamente definidas. Las eficiencias totales incluyen conducción y almacenamiento en este informe se considera la eficiencia de aplicación o la eficiencia unitaria de riego. El comité de la ASCE (1) define eficiencia unitaria de riego como la razón entre el volumen de agua de riego requerido para un uso benéfico y el volumen de agua entregada al Área. Israelsen y Hansen (12) definen la



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”

eficiencia de aplicación como la razón entre el agua almacenada en la zona radicular durante el riego y el agua entregada a la chacra.

Algunos problemas operacionales se relacionan con el diseño y construcción de los sistemas de riego. Los sistemas de canales y de aspersión deberán diseñarse para tiempo completo de operación y deberán tener suficiente capacidad para suministrar adecuadas aplicaciones durante los periodos pico. El diseño de los sistemas de riego deberá basarse en una eficiencia de 60 a 80% para sistemas de riego por superficie y en 80 % para sistemas de riego por aspersión o por goteo. Raras veces se logran altas eficiencias de riego con sistemas diseñados sobre bases de bajas eficiencias debido a que ellos suministran más agua que la necesaria. La falta de adecuadas capacidades para suministrar las demandas máximas resultan en bajas de producción particularmente si las deficiencias de agua ocurren durante periodos críticos del ciclo vegetativo.

REQUERIMIENTO DE LAVADO

La evapotranspiración remueve agua pura de la solución del suelo, efectuándose por consiguiente una concentración de sales en el suelo. Debido a que todas las aguas de riego contienen algunas sales, se requiere algún lavado para prevenir un aumento de la concentración de sales en la solución del suelo en la zona radicular, a niveles que inhiban el crecimiento de la planta. Para que se efectúe el lavado, el perfil del suelo debe ser bien drenado ya sea natural o artificialmente. El lavado es frecuentemente efectuado por la lluvia si la lluvia elimina periódicamente los excesos de sales del perfil del suelo, al calcular los requerimientos del suelo no se necesitan computar agua extra para el lavado del suelo.

Bajo condiciones específicas de riego, las sales pueden precipitarse en el suelo o pueden ser disueltas de minerales precipitados, Tres sales naturales comunes (enlistadas en orden de solubilidad). CaCO_3 , MgCO_3 , y CaSO_4 , precipitarán antes de que la solución del suelo alcance una concentración que sea peligrosa para la mayoría de las plantas. Cuando una cantidad de esas sales es sustraída en la solución del suelo, el remanente es la salinidad efectiva, ES. Las sales solubles remanentes son aquellas que pueden crear una concentración de salinidad en el suelo, peligrosa para las plantas.

Los requerimientos de lavado son normalmente estimados de la conductividad eléctrica, EC del agua de riego esto erróneamente asume que la sal presente en el agua permanece en la solución del suelo. El requerimiento del lavado, LR en porcentaje de agua aplicada basada sobre esta suposición es dada por la ecuación.

$$LR = 100 \times EC_{1w} / EC_{58} \quad (11)$$

Donde EC_{1w} es la conductividad eléctrica en mmhos por centímetro del agua de riego, y EC_{58} es la máxima conductividad permisible en la solución del suelo en el fondo de la zona radicular o del agua de drenaje.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”

Los cultivos varían en tolerancia a las sales. La máxima salinidad promedio permisible en la solución del suelo en el fondo de la zona radicular medida como conductividad eléctrica, EC es alrededor de 36 mmhos x centímetro para pasto bermuda, trigo alto, pasto y cebada, 32 milimhos /cm para algodón y remolacha azucarera: y de 4 a 16 milimhos para la mayoría de los otros cultivos. Un milimho es aproximadamente equivalente a 640 ppm a 10 miliequivalentes x litro en la solución del suelo. La EC de la solución del suelo es cerca de tres veces el equivalente de la conductividad eléctrica del extracto de saturación, ECe Richards et al (17) suministran métodos para la determinación de la sanidad del suelo y del agua.

Los análisis químicos para la calidad del agua consiste en la determinación de cationes y aniones (iones + y negativos) los cuales se combinan para formar sales naturales. Los principales cationes de interés son: calcio, Ca⁺⁺ ; Magnesio, Mg⁺⁺ ; Sodio, Na⁺ ; y potasio, K⁺. Los principales aniones son bicarbonato, HCO₃⁻; Sulfato, SO₄⁻; Cloro, Cl⁻; y Nitrato NO₃⁻. otros iones están usualmente presentes pero en cantidades negligibles. El potasio y el nitrato son nutrientes de importancia para las plantas, pero usualmente están presentes en mucho menos cantidad que los otros iones y frecuentemente no son incluidos en los análisis. Cuando expresamos en miliequivalentes por litros, me/l, la suma de los cationes en la solución del suelo o muestra de agua deberá ser aproximadamente a la suma de los aniones.

De los cationes, el sodio se considera como el más nocivo para la estructura del suelo y por tanto el mas indeseable. Para la mayoría de los cultivos el ión sodio no deberá exceder de cuarenta me. Por litro en la zona radicular. Sobre estas bases el requerimiento de lavado de sodio, SRL como porcentaje de agua requerida puede ser expresado por la ecuación.

$$SRL = 100 \times Na^+ / 40 \quad (12)$$

Un límite superior aproximado para la salinidad efectiva está en alrededor de 80 me/l. Basado en ES, la ecuación de requerimiento de lavado puede ser escrito como:

$$ESLR = 100 \times ES / 80 \quad (13)$$

Utilizando valores de análisis de aguas, puede calcularse, SLR y ESLR y así debe utilizarse el mayor de los dos valores Christiansen en Utah state University ha desarrollado un programa de computador para hacer estos y otros cálculos de calidad de agua. Christiansen (3) propuso el uso de la siguiente tabla para evaluar la calidad de agua de riego:

Clasificación de la evaluación	EC mmhos	Na ⁺ %	SAR	Na ₂ CO ₃ Meg/1	Cl ⁻ Meg/1	ES Meg/1	Boro ppm
1	0.5	40	3	0.5	3	4	0.5
2	1.0	60	6	1.0	6	8	1.0
3	2.0	70	9	2.0	10	16	2.0
4	3.0	80	12	3.0	15	24	3.0
5	4.0	90	15	4.0	20	32	4.0
6	Mayores que los límites para 5						



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”

Una clasificación de 1 es excelente para uso agrícola. El agua clasificada en 6 aún con respecto a un solo factor generalmente no se considera aprovechable para riego, sin embargo la tolerancia varía con los cultivos y la efectividad de las condiciones de drenaje.

Usualmente, se enfatiza en el mantenimiento de un balance favorable de sales o en eliminar tanta sal en el agua de drenaje como la que entra en el agua de riego. Sin embargo la salinización de suelo. Sin embargo cada situación necesita ser analizada; se debe evaluar la salinidad total y la salinidad efectiva del agua de riego y el límite superior del sodio el carbonato de calcio, el carbonato de magnesio y el sulfato de calcio precipitan según la concentración de la solución del suelo sea incrementada. Buena agricultura podría incluir prácticas que suministren temporalmente una elevación del contenido de sales dentro de límites razonables previendo que existe la perspectiva de un lavado periódico o la traída de mejor calidad de agua en el futuro.

La elevación del contenido de sal en el suelo es más frecuentemente el resultado de un drenaje pobre, que el resultado por la misma aplicación del agua de riego. Una eficiencia normal de riego es tal que un balance favorable de sales puede ser usualmente mantenida si el drenaje subsuperficial está bien desarrollado.

El comité de requerimientos de riego de la ASCE (1) da coeficientes para una gran variedad de cultivos. Los datos más completados disponibles son para ocho cultivos comunes. Los coeficientes se basan en la evapotranspiración de alfalfa ETP (alfalfa). Los coeficientes dados por el comité fueron multiplicados por el factor 1.20 con el fin de obtener coeficientes de cultivos aplicables a la ETP (pastos). Los coeficientes de cultivos presentados por el comité de la ASCE (1) multiplicados por el 1.20 se dan en la tabla 3. Estos coeficientes cubren un completo rango de etapas de crecimiento y son típicos de frecuencias y prácticas normales de riego. La tabla 4 reproducida en base a Hargreaves (8) resume adicionales coeficientes de cultivo, KC, generalizados, basados sobre datos experimentales disponibles de varios estados y países.

El informe N° 24 sobre riego y drenaje de la FAO (6) presenta una de las discusiones más completas sobre coeficientes de cultivos. La tabla 5 da los valores estacionales de ET (cultivos) de la FAO para la mayoría de los cultivos extensivos, hortalizas y frutales. El valor estacional también se muestra como un % de ET(pasto) para una estación de crecimiento de 12 meses. Varios cultivos y hortalizas pueden ser cultivados 2 veces al año, con lo cual se aproxima más el uso total anual de ET(pasto). La figura 1 muestra gráficamente los coeficientes de cultivos para una variedad de cultivos.

Durante la etapa inicial entre la siembra y el nacimiento de la planta el coeficiente de cultivo, KC, depende sobre todo de la frecuencia de humedecimiento del suelo y de otros factores de menos importancia. La figura 2 reproducida del informe de la FAO da valores promedios de KC durante esta etapa inicial como una función de ETP y de la frecuencia de riego o lluvia. Los coeficientes de cultivos para el intermedio entre la anterior etapa y la cosecha se da en la tabla 6.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”

Aunque los coeficientes de cultivo son mejor definidos por medio de curvas mostrando los valores desde la siembra hasta la cosecha, ellos pueden aproximarse por líneas rectas la figura 3 presenta un ejemplo. El uso de Líneas rectas para la presentación de valores de KC permite efectuar el balance hídrico por medio del computador y facilita la programación del riego.

EFICIENCIA DE RIEGO

Comúnmente el agua no puede aplicarse uniformemente sobre el área bajo riego. En riego por surco la infiltración es usualmente mayor al comienzo o cabecera del surco. La uniformidad de aplicación en riego por aspersión depende de las condiciones de viento, del tipo de aspersor, y del espaciamiento de los aspersores y laterales. En el diseño de algunos sistemas se calcula la aplicación para suministrar adecuadas cantidades a aquellas áreas que recibe una mínima cantidad de agua. Las eficiencias de riego han sido diversamente definidas. Las eficiencias totales incluyen conducción y almacenamiento en este informe se considera la eficiencia de aplicación o la eficiencia unitaria de riego. El comité de la ASCE (1) define eficiencia unitaria de riego como la razón entre el volumen de agua de riego requerido para un uso benéfico y el volumen de agua entregada al Area. Israelsen y Hansen (12) definen la eficiencia de aplicación como la razón entre el agua almacenada en la zona radicular durante el riego y el agua entregada a la chacra.

Algunos problemas operacionales se relacionan con el diseño y construcción de los sistemas de riego. Los sistemas de canales y de aspersión deberán diseñarse para tiempo completo de operación y deberán tener suficiente capacidad para suministrar adecuadas aplicaciones durante los periodos pico. El diseño de los sistemas de riego deberá basarse en una eficiencia de 60 a 80% para sistemas de riego por superficie y en 80 % para sistemas de riego por aspersión o por goteo. Raras veces se logran altas eficiencias de riego con sistemas diseñados sobre bases de bajas eficiencias debido a que ellos suministran más agua que la necesaria. La falta de adecuadas capacidades para suministrar las demandas máximas resultan en bajas de producción particularmente si las deficiencias de agua ocurren durante periodos críticos del ciclo vegetativo.

REQUERIMIENTO DE LAVADO

La evapotranspiración remueve agua pura de la solución del suelo, efectuándose por consiguiente una concentración de sales en el suelo. Debido a que todas las aguas de riego contienen algunas sales, se requiere algún lavado para prevenir un aumento de la concentración de sales en la solución del suelo en la zona radicular, a niveles que inhiban el crecimiento de la planta. Para que se efectúe el lavado, el perfil del suelo debe ser bien drenado ya sea natural o artificialmente. El lavado es frecuentemente efectuado por la lluvia si la lluvia elimina periódicamente los excesos de sales del perfil del suelo, al calcular los requerimientos del suelo no se necesitan computar agua extra para el lavado del suelo.

Bajo condiciones específicas de riego, las sales pueden precipitarse en el suelo o pueden ser disueltas de minerales precipitados, Tres sales naturales comunes (enlistadas en orden de



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



solubilidad). CaCO_3 , MgCO_3 y CaSO_4 , precipitarán antes de que la solución del suelo alcance una concentración que sea peligrosa para la mayoría de las plantas. Cuando una cantidad de esas sales es sustraída en la solución del suelo, el remanente es la salinidad efectiva, ES. Las sales solubles remanentes son aquellas que pueden crear una concentración de salinidad en el suelo, peligrosa para las plantas.

Los requerimientos de lavado son normalmente estimados de la conductividad eléctrica, EC del agua de riego esto erróneamente asume que la sal presente en el agua permanece en la solución del suelo. El requerimiento del lavado, LR en porcentaje de agua aplicada basada sobre esta suposición es dada por la ecuación.

$$\text{LR} = 100 \times \text{EC}_{1\text{W}} / \text{EC}_{58} \quad (11)$$

Donde $\text{EC}_{1\text{W}}$ es la conductividad eléctrica en mmhos por centímetro del agua de riego, y EC_{58} es la máxima conductividad permisible en la solución del suelo en el fondo de la zona radicular o del agua de drenaje.

Los cultivos varían en tolerancia a las sales. La máxima salinidad promedio permisible en la solución del suelo en el fondo de la zona radicular medida como conductividad eléctrica, EC es alrededor de 36 mmhos x centímetro para pasto bermuda, trigo alto, pasto y cebada, 32 milimhos /cm para algodón y remolacha azucarera: y de 4 a 16 milimhos para la mayoría de los otros cultivos. Un milimho es aproximadamente equivalente a 640 ppm a 10 miliequivalentes x litro en la solución del suelo. La EC de la solución del suelo es cerca de tres veces el equivalente de la conductividad eléctrica del extracto de saturación, ECe Richards et al (17) suministran métodos para la determinación de la sanidad del suelo y del agua.

Los análisis químicos para la calidad del agua consiste en la determinación de cationes y aniones (iones + y negativos) los cuales se combinan para formar sales naturales. Los principales cationes de interés son: calcio, Ca^{++} ; Magnesio, Mg^{++} ; Sodio, Na^+ ; y potasio, K^+ . Los principales aniones son bicarbonato, HCO_3^- ; Sulfato, SO_4^- ; Cloro, Cl^- ; y Nitrato NO_3^- . otros iones están usualmente presentes pero en cantidades negligibles. El potasio y el nitrato son nutrientes de importancia para las plantas, pero usualmente están presentes en mucho menos cantidad que los otros iones y frecuentemente no son incluidos en los análisis. Cuando expresamos en miliequivalentes por litros, me/l, la suma de los cationes en la solución del suelo o muestra de agua deberá ser aproximadamente a la suma de los aniones.

De los cationes, el sodio se considera como el más nocivo para la estructura del suelo y por tanto el mas indeseable. Para la mayoría de los cultivos el ión sodio no deberá exceder de cuarenta me. Por litro en la zona radicular. Sobre estas bases el requerimiento de lavado de sodio, SRL como porcentaje de agua requerida puede ser expresado por la ecuación.

$$\text{SRL} = 100 \times \text{Na}^+ / 40 \quad (12)$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”

Un límite superior aproximado para la salinidad efectiva está en alrededor de 80 me/1. Basado en ES, la ecuación de requerimiento de lavado puede ser escrito como:

$$ESLR = 100 \times ES/80 \quad (13)$$

Utilizando valores de análisis de aguas, puede calcularse, SLR y ESLR y así debe utilizarse el mayor de los dos valores Christiansen en Utah State University ha desarrollado un programa de computador para hacer estos y otros cálculos de calidad de agua. Christiansen (3) propuso el uso de la siguiente tabla para evaluar la calidad de agua de riego:

Clasificación de la evaluación	EC mmhos	Na ⁺ %	SAR	Na ₂ CO ₃ Meg/1	Cl ⁻ Meg/1	ES Meg/1	Boro ppm
1	0.5	40	3	0.5	3	4	0.5
2	1.0	60	6	1.0	6	8	1.0
3	2.0	70	9	2.0	10	16	2.0
4	3.0	80	12	3.0	15	24	3.0
5	4.0	90	15	4.0	20	32	4.0
6	Mayores que los límites para 5						

Una clasificación de 1 es excelente para uso agrícola. El agua clasificada en 6 aún con respecto a un solo factor generalmente no se considera aprovechable para riego, sin embargo la tolerancia varía con los cultivos y da efectividad de las condiciones de drenaje.

Usualmente, se enfatiza en el mantenimiento de un balance favorable de sales o en eliminar tanta sal en el agua de drenaje como la que entra en el agua de riego. Sin embargo la salinización de suelo. Sin embargo cada situación necesita ser analizada; se debe evaluar la salinidad total y la salinidad efectiva del agua de riego y el límite superior del sodio el carbonato de calcio, el carbonato de magnesio y el sulfato de calcio precipitan según la concentración de la solución del suelo sea incrementada. Buena agricultura podría incluir prácticas que suministren temporalmente una elevación del contenido de sales dentro de límites razonables previendo que existe la perspectiva de un lavado periódico o la traída de mejor calidad de agua en el futuro.

La elevación del contenido de sal en el suelo es más frecuentemente el resultado de un drenaje pobre, que el resultado por la misma aplicación del agua de riego. Una eficiencia normal de riego es tal que un balance favorable de sales puede ser usualmente mantenida si el drenaje subsuperficial está bien desarrollado.

CONDICIONES DEL SUELO.

La humedad aprovechable para los cultivos depende de la cantidad y frecuencia de la lluvia o riego, de la capacidad de retención de humedad del suelo, del potencial osmótico y de la profundidad radicular del cultivo. Idealmente la lluvia o riego debería ocurrir en cantidades y frecuencias tales que la humedad del suelo en la zona radicular del cultivo sea siempre



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”

adecuada. Algunos suelos son casi uniformes en textura y otras características hasta profundidades de dos metros o más. Otros suelos son altamente estratificados con barreras para el movimiento del agua y el desarrollo radicular lo cual restringe la profundidad radicular a profundidades de 30 cm o menos aun para cultivos normalmente de sistema radicular profundo como la alfalfa.

En algunos casos, la profundidad radicular de los cultivos depende de las características químicas del suelo así como las de las características físicas. Por ejemplo, en un estudio de tres oxisoles (suelo con altas concentraciones óxidas, pero no estratificación visible a través del perfil normal del suelo), el maíz y cultivos similares tuvieron profundidades radicales limitadas a 30 cm, resultado en capacidades de humedad aprovechable de solo 36 a 60 mm. Wolf, (21). Bajo estas condiciones, el maíz se marchitó después de 6 días sin lluvia, aunque la media mensual de lluvia sea adecuada, bajos valores de lluvia dependiente y frecuencias de periodos secos de 10 días o más pueden resultar en deficiencias de humedad del suelo.

En términos de capacidad de almacenamiento de humedad aprovechable en la zona radicular, los suelos pueden variar desde cerca de 25 mm. (una pulgada) de humedad aprovechable a más de 200 milímetros (8 pulgadas) dependiendo de la profundidad radicular del cultivo y de las características del suelo.

Para suelos y cultivos donde la humedad aprovechable del suelo almacenada es adecuada para suministrar los requerimientos por dos semanas o más. Los cortos periodos de sequía son de menor importancia. Bajo estas condiciones el índice de humedad aprovechable , MAI. (ver definiciones de términos) puede tener una buena correlación con la producción del cultivo.

PROGRAMACIÓN DE RIEGO

La capacidad de retención de humedad de los suelos varía con la textura, estructura composición química. Para fines de riego, la capacidad de retención de humedad se considera como la diferencia entre la capacidad de campo y punto de marchitamiento. Varias publicaciones dan valores promedio del punto de capacidad de campo y el punto de marchitamiento para diferentes texturas. La reserva del suelo, SR, como se usa en este manual es la profundidad aproximada de humedad aprovechable en mm. Retenida en el suelo por metro de profundidad. Valores aproximados de la reserva del suelo son aproximadamente los siguientes:

TEXTURA DE LOS SUELOS	ALMACENAMIENTO DEL SUELO SR.
Pesados (suelos arcillosos)	165 a 210 mm/m
Medios (suelos francos)	125 a 165 mm/m
Livianos (suelos Arenosos)	85 a 125 mm/m.

Multiplicando la profundidad radicular por el almacenamiento del suelos da la cantidad total del agua aprovechable para las plantas. La mayoría de los cultivos dan su máxima producción si se riegan cuando se ha agotado aproximadamente el 50% del agua almacenada en el suelo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”

Algunos cultivos, principalmente las hortalizas tienen el sistema radicular superficial o no bien desarrollado. Estos incluyendo papa, lechuga, cebolla, fresas y otros. Tales cultivos frecuentemente producen mejor si son regados cuando se agota solo el 30% del agua almacenada. La tabla 7 de Griffin y Hargreaves (7) da profundidades radicales efectivas y porcentaje de agotamiento (depleciones), SR, sugeridos. Estos valores son generalizaciones y deberán modificarse con valores más exactos siempre que sea posible.

El almacenamiento efectivo del suelo ESR, en mm de humedad puede estimarse de la profundidad radicular efectivo, del almacenamiento de humedad del suelo y de la depleción (agotamiento), SR, permisible Dividiendo ESR por el uso de agua del cultivo mm por día se obtiene un estimativo del intervalo entre riegos.

El procedimiento para estimar el periodo de intervalo entre riego se presenta en el siguiente ejemplo donde se asume las siguientes condiciones:

Periodo	primeros 5 días de Julio
Cultivos y estado	Maíz en cobertura total del suelo
Profundidad radicular	1.30 metros
SR, depleción	50%

Textura del suelo pesada (Arcilla con SR de 165 mm/m).

El almacenamiento efectivo del suelo, ESR, es $165 \times 1.30 \times 50\%$ ó 107 mm. si de las ecuaciones 4 ó 7 la evapotranspiración potencial ETP, es 7 mm por día y el coeficiente del cultivo se estima en 1.15 de la tabla 4 la resultante ETA es 8mm por día. Si la precipitación dependiente probable para Julio es suficientemente baja para que pueda ser despreciada, luego 107 mm dividido por 8mm por día resulta en un estimado por 13 días entre riegos, si se presenta lluvia significativa durante el periodo, el intervalo deberá prolongarse o la cantidad del siguiente riego deberá disminuirse.

Durante el periodo de germinación y durante la etapa inicial de crecimiento, para algunas cosechas, se obtiene mejores resultados si la superficie del suelo se conserva casi continuamente húmeda. En los métodos de riego y frecuencias de riego generalmente se hacen algunas modificaciones con el objeto de suministrar esas condiciones favorables.

Variaciones locales climáticas causan variaciones de la ET real. El intervalo de riego puede modificarse si la temperatura real y/o radiación son mayores o menores que el promedio utilizado. Tiempo con vientos calientes y secos pueden tener un efecto significativo en el uso del agua particularmente donde los campos son pequeños y están rodeados por tierras no irrigadas.

En los climas de tipo mediterráneo la precipitación durante los meses de diciembre, enero y febrero es frecuentemente adecuada para completar el almacenamiento del suelo y suministrar el requerimiento del lavado.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”

Griffin y Hargreaves (7) proponen el programa de riego a través del uso de curvas que muestran gráficamente los factores de evapotranspiración potencial mensual. Usando tales datos, la rata de evapotranspiración diaria ETP pueden estimarse como el promedio para cualquier periodo de tiempo.

La programación de riego puede ser rápidamente elaborada utilizando el computador datos mensuales pueden obtenerse mas fácilmente que datos climáticos diarios. Por medio del computador puede adaptarse una metodología para obtener datos diarios aproximados de datos mensuales. Los valores mensuales de ETP son calculados, estos se sumen como representativos de la tasa de uso en el decimoquinto día del mes se asume además que cada mes puede dividirse en seis periodos teniendo aproximadamente iguales ratas de uso para cada día del periodos. La ratas de uso para esos seis periodos de aproximadamente 5 días cada uno se calculan de la rata de uso mensual media, MMR y una corrección para la diferencia entre la rata media de uso para el mes y la rata media de uso para el mes anterior, RPM o para ala última mitad del mes, la diferencia entre la tasa de uso para el siguiente mes, RNM y la del siguiente mes, MMR el procedimiento puede escribirse.

Taza del primer periodo	= $MMR - 5/12 (MMR-RPM)$
Taza del segundo periodo	= $MMR - 3/12 (MMR-RPM)$
Taza del tercer periodo	= $MMR - 1/12 (MMR-RPM)$
Taza del cuarto periodo	= $MMR + 1/12 (RNM-MMR)$
Taza del quinto periodo	= $MMR + 3/12 (RNM-MMR)$
Taza del sexto periodo	= $MMR + 5/12 (RNM-MMR)$

Este Procedimientos da resultados satisfactorios excepto para aquellos meses en los cuales la tasa aumenta hasta un máximo y luego disminuye, hasta un mínimo y luego aumenta. Estos meses son llamados cíclicos y usualmente son enero y julio en el hemisferio norte. Para estos meses cíclicos la taza para todos los periodos se asume como igual al promedio mensual.

Promedios mensuales de datos climáticos de largos periodos son aprovechables de varias de las fuentes mencionadas anteriormente. Estas publicaciones presentan datos del mundo entero y permite el cálculo de la evapotranspiración y necesidades de riego en localidades representativas en la mayoría de los países del mundo. Generalmente el número de estaciones suministra datos adecuados para buenos estudios. Utilizando los programas de computador dados se puede hacer un estudio en corto periodo de tiempo para un área dada. El riego puede programarse en base a medias climatológicas de muchos años y posteriormente modificarse tal programación en base a las variaciones climáticas de condiciones normales.

Se propone que la metodología dada anteriormente sea utilizada para desarrollar manuales de programación de riegos basados en medias de datos de muchos años para cada país o área donde el riego sea de importancia. Los manuales deberán incluir evapotranspiración potencial media diaria para periodos aproximadamente de 5 días para localidad dentro del país para el cual están disponibles los datos climáticos.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



Los datos reales para un periodo de tiempo dado son más representativos que promedios de largos periodos. Sin embargo, en muchas localidades, las diferencias de condiciones promedias y las que se observan en cortos periodos son frecuentemente grandes. La ETP, depende de la radicación y la temperatura. Usualmente el incremento de radicación está asociado con incremento de temperatura, pero en muchos casos la transferencia de masas de aire reduce la temperatura del aire y así tiende a eliminarse el efecto del incremento en radicación.

PRECIPITACIÓN CONFIABLE O DEPENDIENTE

El servicio de investigación económica del U.S.D.A. y el servicio de administración para el medioambiente (19) publicaron probabilidades mensuales de precipitación para los 23 estados del oeste. Para otras áreas o países se han hechos estudios similares. La precipitación confiable o dependiente, PD, (ver definiciones) desde el punto de vista estadístico puede esperarse con un buen grado de exactitud, de la precipitación media, PM. La ecuación puede ser expresada en la forma:

$$PD = A+B \times PM \quad (14)$$

En la cual PD y PM se expresan en mm o en pulgadas. Los valores promedios del análisis de regresión de los 13 Estados del Suroeste de los Estados Unidos son $A = -23\text{mm}$ ó 0.91 pulgadas y $B = 0.84$. Para muchos países de América Latina se pueden usar valores de distribución de lluvias de $A = -10\text{mm}$ ó -0.4 pulgadas y de $B = 0.70$. Por cuanto la lluvia no puede ser negativa, PD tiene valor mínima de cero.

Para áreas donde la lluvia es menor predecible el coeficiente angular (declividad) en la ecuación puede ser mucho más bajo. Para los 10 Estados del Noroeste del Brasil, por ejemplo, el coeficiente angular, B, varió de 0.42 a 0.74 y la constante A, o el intercepto, de -6 a -36 mm para el mejor ajuste que se obtuvo en las ecuaciones de regresión las cuales tuvieron valores de R^2 de 0.62 a 0.90 Hargreaves (9) Los porcentaje previstos más bajos de varianza (valores más bajos de R^2) provinieron de Estados con dos tipos distintos de clima. Para cualquier área o tipo de clima se pueden desarrollar de la precipitación media, útiles relaciones las cuales facilitan la estimación de la precipitación dependiente.

La organización mundial Metereológica (22) da precipitación media para un periodo de 30 años (1931-1960) y varios niveles de probabilidad incluyendo las probabilidades de ocurrencia del 79 y 60%. Los datos disponibles y probabilidades usualmente son adecuados para determinar los valores apropiados de A y B a ser usados en la ecuación 14

La variación encontrada en las relaciones indica que el 75% de la probabilidad de ocurrencia de la lluvia es una indicación mucho más segura de la humedad aprovechable para la producción de cosechas, que la precipitación media. En los 23 Estados del Este y en la mayoría de América Central, Colombia y Ecuador una precipitación media mensual de 100



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”

mm indica que en tres de cada cuatro años se puede anticipar una precipitación de 60 mm. Para los Estados del Noreste del Brasil una lluvia media mensual de 100 mm indica una precipitación dependiente de solo 25 a 50 mm con el fin de relacionar la precipitación con la producción de cosechas, parece deseable evaluar la lluvia a un nivel dado de probabilidad y relacionar ese suplemento probable con el uso potencial de agua.

El concepto de un índice de humedad aprovechable, MAI ($MAI = PD/ETP$, ver definición de términos) fue desarrollado para este propósito. Este concepto también podría ser considerado como un índice de confiabilidad de humedad.

Para cultivos con sistema radicular superficial y para suelos con baja capacidad de retención de humedad, la precipitación dependiente no siempre puede ser una indicación confiable de adecuada precipitación debido a la frecuencia de periodos de 10 a más días de sequía. Para algunos cultivos y bajo algunas condiciones una probabilidad diferente de ocurrencia de precipitación sería deseable. Para plátanos, una deficiencia con una probabilidad de ocurrencia de uno en 4 no sería económicamente deseable. Parece probable que el uso de un mayor MAI para tales cultivos resultaría en un índice satisfactorio. Para la mayoría de los cultivos una deficiencia en un mes cualquiera, con una probabilidad de un año en cuatro, si no es precedida o seguida por un mes con deficiencias no resultaría en grandes pérdidas económicas.

También se relacionan en cierto grado el valor de la tierra y los costos de desarrollo con las deficiencias permisibles. Donde son altos los costos de la tierra y otros costos de producción y el agua es relativamente barata hay menos justificación para tener en cuenta las deficiencias permisibles. Lo contrario también es válido. Sería conveniente que en el aspecto económico se efectuarán trabajos adicionales para varios niveles de deficiencias de humedad para cultivos específicos.

HUMEDAD DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Mirnezami (15) hizo un estudio de la relación entre la humedad aprovechable y producción de trigo de secano en Irán. Los valores de MAI fueron generalmente de 0.20 a 0.53. Se desarrollaron ecuaciones de regresión para los ensayos sin fertilizantes, para producción como una función de MAI, de ETDF y de PD sobre una base anual y una estacional. En cada caso el coeficiente de correlación, R fue 0.93 o más alto. Si MAI puede ser tomado como un índice de adecuabilidad de humedad, esta humedad dentro del rango de 20 a 53% de adecuabilidad.

A valores más bajos de MAI sobre una base anual, MAI de 0.35 o más bajo, no hubo respuesta a la fertilización. Producciones medias de trigo fertilizados fueron ligeramente menores que el no fertilizado. A altos niveles de humedad (MAI de 0.40 ó más) la aplicación de fertilizantes produjo incrementos muy significativos en el rendimiento de trigo.

En general es difícil obtener datos de producción de cultivos relacionados a los diferentes niveles de adecuabilidad de humedad. Algunas veces informes sobre investigaciones de riego se publican pero se omiten datos de las condiciones de la humedad inicial del suelo. Aún no



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELCA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



han sido bien estandarizados los procedimientos para determinar el grado al cual la humedad es adecuada o deficiente. Usualmente solo una parte del rango total de adecuación de humedad es correlacionado con la producción. Datos de producción se presentan en una amplia variedad de unidades.

Hargreaves y Christiansen (10) resumieron de diferentes Fuentes datos de producción y uso de agua. La humedad aprovechable fue calculada o estimada para incluir la humedad almacenada en el suelo al comienzo de la estación de crecimiento más la precipitación de la estación de crecimiento y el agua de riego.

Los datos de producción fueron utilizados de Hawaii, California, UTAH, Israel y otras localidades. Los principales cultivos estudiados fueron caña de azúcar, alfalfa, maíz y plantas forrajeras. Algunos datos para papa, arveja y remolacha azucarera también fueron utilizados, No todos los cultivos son igualmente sensibles a las deficiencias de humedad. El tiempo de duración de las deficiencias de humedad pueden jugar un papel muy importante. La humedad adecuada es de mayor importancia durante la floración, fructificación y desarrollo del fruto, que en otras etapas del ciclo vegetativo.

Steward, Misra, Pruitt y Hagan (18) indican que para maíz y sorgo grano, el tiempo de duración de deficiencias de agua es de gran importancia. Se muestra la producción de grano, para maíz, como la función inversa de déficit de ET durante el periodo de polinización. Sin embargo este efecto se modifica significativamente por déficit previos de “condicionamiento” Se muestran funciones de producción en forma de reducción de producción % de déficit de ET. Se presentan relaciones tanto para un ciclo total como para periodos de mayor crecimiento. En la tabla 8 se dan periodos críticos para deficiencia de agua del suelo para diferentes cultivos.

Para cultivos tales como caña de azúcar, alfalfa y forrajes la recuperación de periodos cortos de deficiencias de humedad es frecuentemente buena. Si la división celular no es seriamente retardada el crecimiento de la célula generalmente se recupera durante un periodo subsiguiente a una humedad adecuada. También para suelos con buenas capacidades de almacenamiento de humedad hay una tendencia hacia una reducción en los efectos adversos de pobre distribución de lluvia o aplicaciones de agua.

Downey (5) muestra una correlación bastante lineal entre producción de plantas no forrajeras y disminución de humedad media en la zona radicular. El rendimiento como un porcentaje de productividad máxima es planteado como una función de ET como un porcentaje de aquella máxima producción dada por 14 cultivos no forrajeros. Mucha de la discrepancia es atribuida a las etapas de crecimiento susceptible al déficit de agua.

Con el objeto de estandarizar los datos y comparar los resultados de diferentes cultivos, Hargreaves y Christiansen (10) utilizaron un procedimiento similar al propuesto por Downey (5), la variable Y fue utilizada para expresar la razón entre producción y la máxima producción bajo la fertilidad y condiciones naturales presentes, y X como la razón entre



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”

humedad aprovechable real durante la estación del cultivo y la cantidad por la cual la producción es máxima.

Los valores reales de Y varían de 0 a 1 y los de X de 0 a 1 o más.

La mayoría de los datos de producción analizados indicaron una relación que puede ser expresada por la ecuación:

$$Y = 0.8X + 1.3 X^2 - 1.1 X^3 \quad (15)$$

Suficiente cantidad de datos se tuvieron para el rango de $X = 0.35$ a $X = 1.00$. El creciente cambio de producción con el cambio en aprovechabilidad de agua se da por la primera derivada. Esta puede escribirse:

$$dY/dX = 0.8 + 2.6X - 3.3 X^2 \quad (16)$$

Para el rango de $X = 0.086$ a $X = 0.701$, dY/dX es 1.00 o más con un valor máximo de 1.31 a $X = 0.394$. Si se asume que la ecuación 15 suministra una buena representación de la relación de adecuabilidad de humedad – producción, luego el incremento máximo en producción por unidad de agua aplicada es lograda aproximadamente al 40% de adecuancia. Por encima de cerca del 70% de adecuancia dY/dX es menor de 1.0 declinando a cero a total adecuancia de humedad. Estas relaciones se muestran gráficamente en la figura 4.

Cambiando Y a una escala que representa valores de la producción y X el costo del agua la curva dY/dX se convierte luego en un modelo económico. Si un aumento del riego no es requerido para el mantenimiento de un favorable balance de sales es lógico considerar hasta que punto se deberá permitir que dY/dX declinen antes que la aplicación adicional de agua llegue a ser antieconómica.

Se cree que la ecuación 15 sea una buena representación general de la función humedad producción de Cache Valley, UTAH, no encajan muy bien en dicha ecuación. Cinco cultivos estudiados indican una relación que puede escribirse:

$$Y = 2x - X^2 \quad (17)$$

Indicando mayores producciones con más baja humedad aprovechable como en el caso de los otros datos. Algunos técnicos han atribuido esto al movimiento lateral del agua en el suelo. Otra posible causa sería una subestimación de la humedad inicial aprovechable almacenada en el suelo y de las profundidades radicales efectivas.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



La ecuación 15 parece ser una buena correlación general desde que no existan deficiencias severas de humedad durante periodos críticos.

Esta debería ser probada usando datos de producción de un más amplio rango de cultivos y condiciones. La evaluación puede facilitarse por el suministro de medidas exactas hechas de la humedad total aprovechable de todas las fuentes durante las diferentes etapas de crecimiento del cultivo.

CLASIFICACION DEL DÉFICIT DE HUMEDAD

Los déficit y volúmenes adecuados de humedad dependen de la cantidad y distribución de humedad y de las condiciones del suelo. Basado en los datos de Irán, Mirnezani (15) existe una considerable duda concerniente a la factibilidad económica de producción de trigo de secano donde la MAI anual es mejor que 0.33. Un mayor índice deberá de ser requerido en áreas de suelos superficiales con baja capacidad para retener las lluvias del invierno como humedad aprovechable del suelo. Se debe desarrollar un índice compuesto basado en suelos y climas. Sin embargo debido a la complejidad de suelos en muchas áreas tal índice combinado puede ser difícil de usar.

Datos disponibles de producción de California y Hawaii indican que son posibles máximas producciones cuando la humedad aprovechable es igual a 1.0 a 1.25 veces ETA (evapotranspiración real de la cosecha) bajo condiciones de adecuado suministro y distribución para satisfacer la demanda de evapotranspiración. En general valores mensuales de MAI de 1.0 o más indican un adecuado suministro de humedad por precipitación. Sin embargo para algunos suelos y para algunos cultivos la distribución de lluvia pueden ser menos que adecuada.

Sería conveniente desarrollar alguna forma de clasificación estándar para la mediación del volumen adecuado o déficit de humedad disponible partiendo de las condiciones climáticas según lo exijan las necesidades. Hargreaves (11) propuso que la MAI, sea adoptada como un índice estándar para la medición de las deficiencias y excesos de agua y que la siguiente clasificación sea utilizada.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



MAI =	0.00 A 0.33	Muy deficiente
MAI =	0.34 a 0.67	Moderadamente deficiente
MAI =	0.68 a 1.00	Algo deficiente
MAI =	1.01 a 1.33	Adecuada
MAI =	1.34 y más	Excesiva

Esta clasificación parece aplicable para las condiciones más favorables de suelo y es propuesta para uso general. Donde la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo es adecuada para menos de una semana la correlación entre MAI y producción de cosecha probablemente será disminuida. Los valores mínimos para producción económica en este caso pueden ser correspondientemente mas altos.

En un estudio de precipitación como relacionado a la producción agrícola en el Noreste del Brasil, Hargreaves (9) usó la siguiente clasificación de clima:

<u>Critério</u>	<u>Clasificación del clima</u>	<u>Clasificación de productividad</u>
Todos los meses con MAI en el rango de 0.00 a 0.33	Muy árido	Inadecuado para agricultura de secano
Uno o dos meses con MAI de 0.34 a más.	Árido	Posibilidad limitada para agricultura de secano
Tres o cuatro meses con MAI de 0.34 a más	Semi árido	Producción posible para cultivos requiriendo una estación de 3 a 4 meses.
Cinco o más meses consecutivos con MAI de 0.34 a más	Húmedo seco	Producción posible para cultivos que requieran un buen nivel adecuado de humedad durante cinco o más meses.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"

En trabajos realizados en el Brasil y México se encontró buena concordancia entre esta clasificación y el potencial agrícola. Sin embargo parece conveniente desarrollar un refinamiento adicional particularmente en la clasificación semiárida.

Los anteriores criterios han sido rápidamente aplicados por computador en el análisis de clima y en la evaluación del potencial agrícola para varios países en América Latina y África. Existen datos disponibles para estimar EETP (ecuación 4) y precipitación dependiente, PD, de la ecuación 4 y modificaciones. Se requieren tres referencias, estas son: Wernstedt (20) para precipitación y temperatura; Lof, Duffie y Smith (14) para radiación solar incidente y organización Mundial Meteorológica (22) para probabilidades de precipitación.

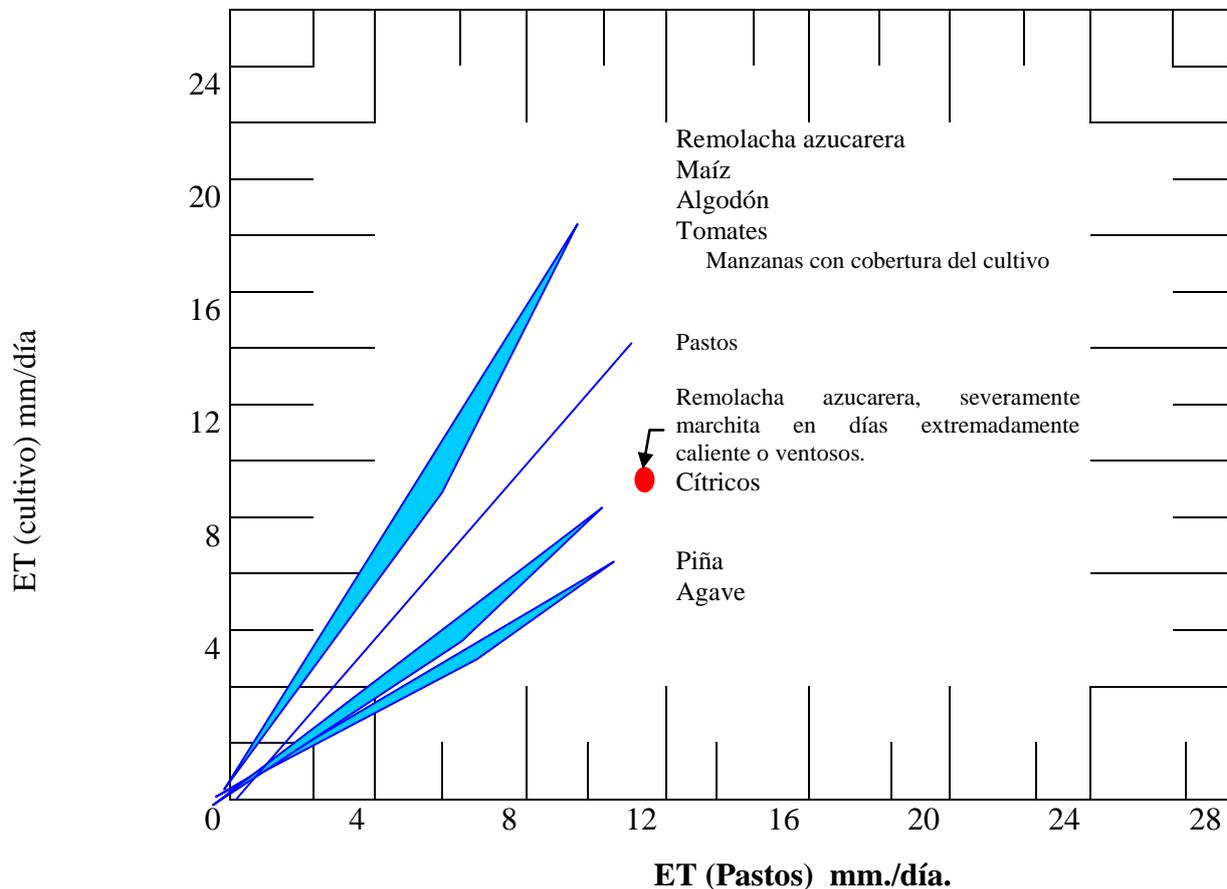


Figura 1.- Magnitudes de ET (cultivo) comparados con ET (pastos).

Fuente: FAO R y D Boletín N° 24



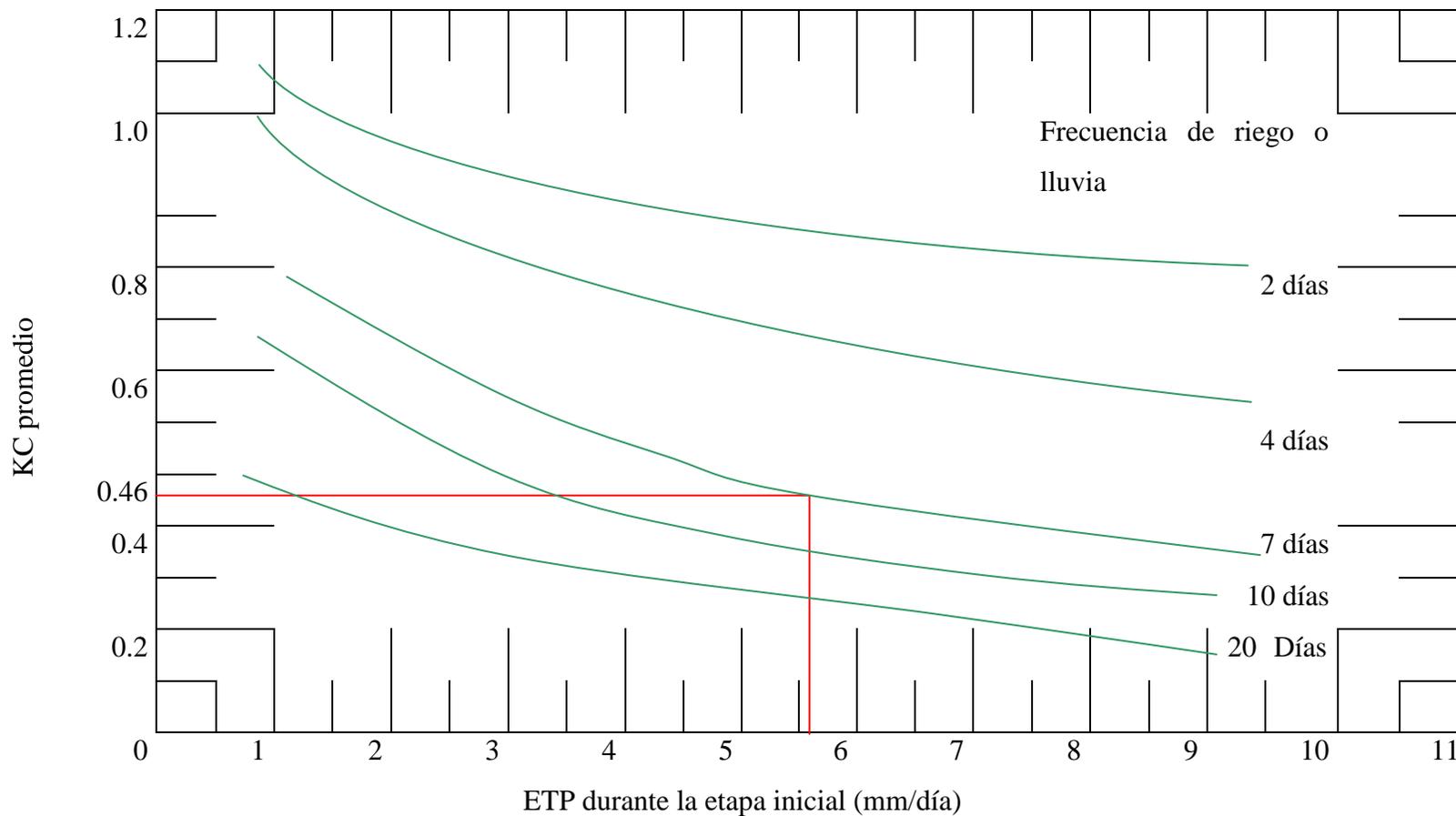
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCATELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"





UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"

Fig. 2.- KC Promedio para la Etapa Inicial como una función del nivel de ETP/frecuencia de riego

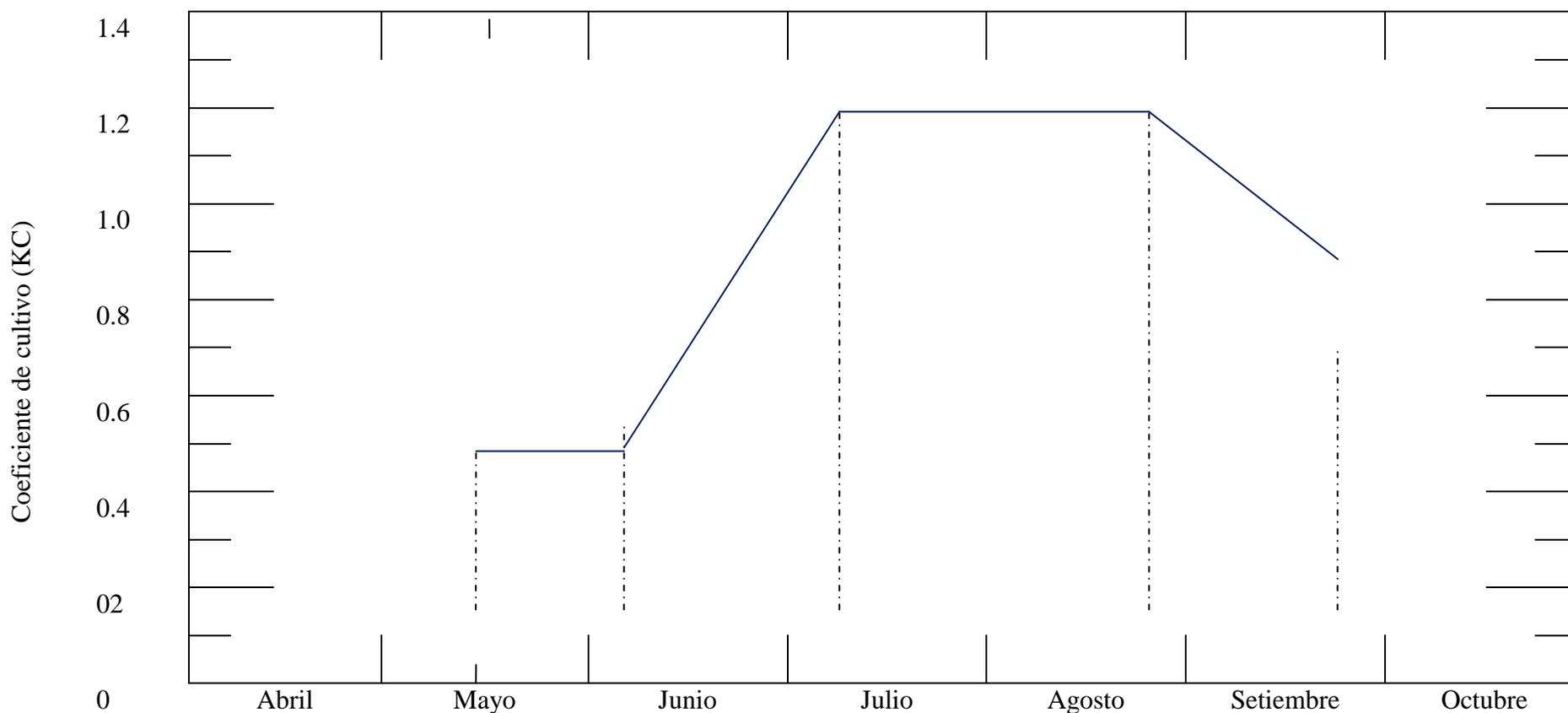


Figura 3.- Ejemplo de una curva de coeficiente de cultivo (para maíz).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCATELCA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Y= Producción Real /Máxima Producción

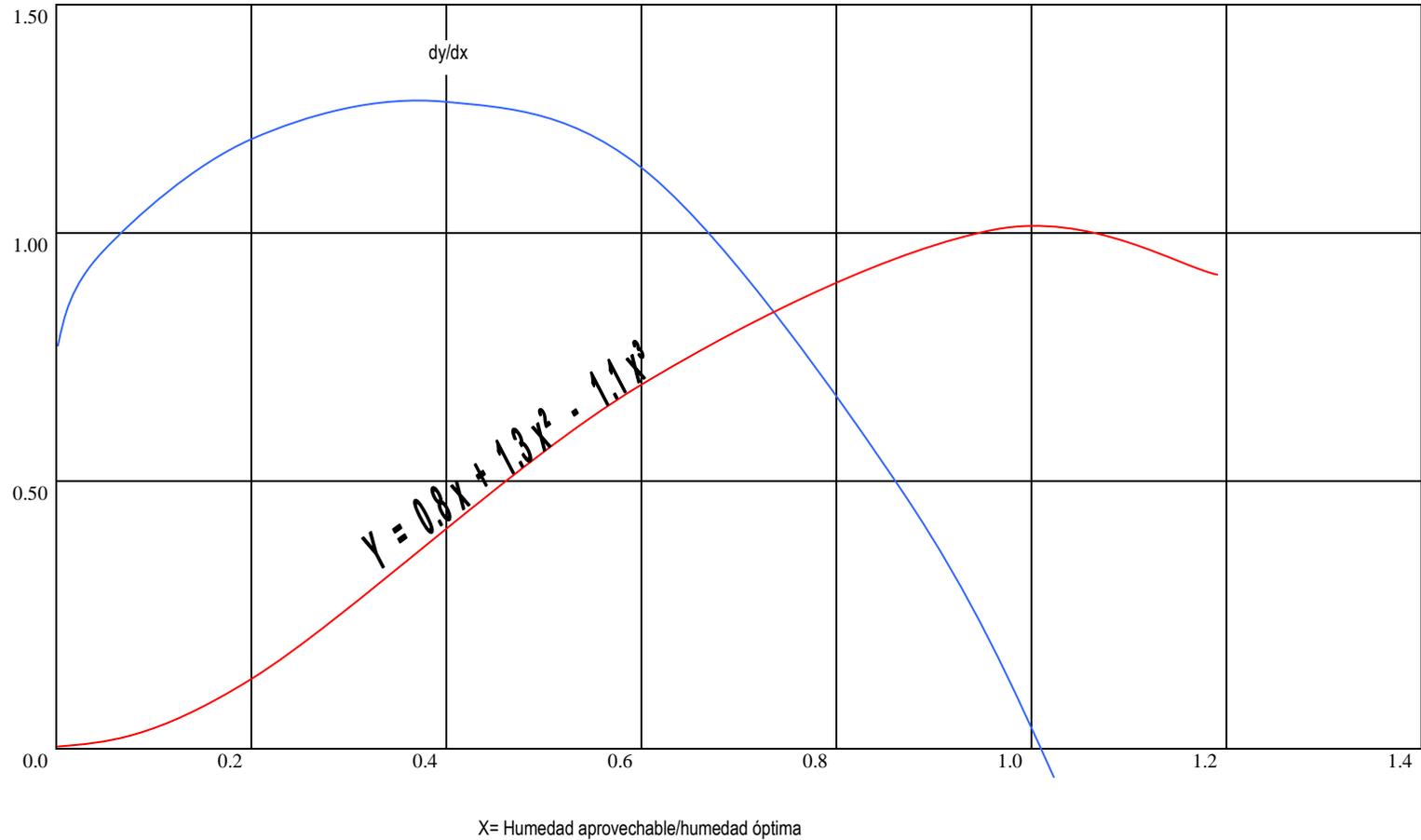


Figura 4.- Función de Adecuada de Humedad y Producción.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Tabla 1 : Duración Máxima Media diaria de horas Brillo Solar para diferentes meses y Latitudes.

Lat. Norte Lat. Sur	Enero Julio	Febrero Agosto	Marzo Setiembre	Abril Octubre	Mayo Noviembre	Junio Diciembre
Grados						
50	8.5	10.1	11.8	13.8	15.4	16.3
48	8.8	10.2	11.8	13.6	15.2	16.0
46	9.1	10.4	11.9	13.5	14.9	15.7
44	9.3	10.5	11.9	13.4	14.7	15.4
42	9.4	10.6	11.9	13.4	14.6	15.2
40	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15.0
35	10.1	11.0	11.9	13.1	14.0	14.5
30	10.4	11.1	12.0	12.9	13.6	14.0
25	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7
20	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3
15	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0
10	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7
5	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4
0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1

Fuente: FAO, Boletín de Riego y Drenaje, N° 24 (6)

Lat. Norte Lat. Sur	Julio Enero	Agosto Febrero	Setiembre Marzo	Octubre Abril	Noviembre Mayo	Diciembre Junio
Grados						
50	15.9	14.5	12.7	10.8	9.1	8.1
48	15.6	14.3	12.6	10.9	9.3	8.3
46	15.4	14.2	12.6	10.9	9.5	8.7
44	15.2	14.0	12.8	11.0	9.7	8.9
42	14.9	13.9	12.9	11.1	9.8	9.1
40	14.7	13.7	12.5	11.2	10.0	9.3
35	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8
30	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
25	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6
20	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
15	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
10	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
5	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8
0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1

Fuente: FAO, Boletín de Riego y Drenaje, N° 24 (6)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Tabla N° 2: Radiación Extraterrestre, RMD, Expresado en Evaporación equivalente en mm/día

Hemisferio Norte												
Latitud	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
50	3.8	6.1	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2
48	4.3	6.6	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.0	3.7
46	4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3
44	5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7
42	5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2
40	6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7
38	6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1
36	7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6
34	7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2
32	8.3	10.2	12.8	15.0	16.5	17.0	16.8	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8
30	8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.0	16.8	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3
28	9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12.0	9.9	8.8
26	9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3
24	10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7
22	10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2
20	11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7
18	11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1
16	12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6
14	12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0
12	12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.6	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5
10	13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.6	15.3	14.7	13.6	12.9
8	13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3
6	13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7
4	14.3	15.0	15.5	15.6	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1
2	14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4
0	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

Fuente: FAO, Boletín de Riego y Drenaje N° 24(6)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Latitud	Hemisferio Sur											
	Ene	Feb.	Mar	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
50	17.5	14.7	10.9	7.0	4.2	3.1	3.5	5.5	8.9	12.9	16.5	18.2
48	17.6	14.9	11.2	7.5	4.7	3.5	4.0	6.0	9.3	13.2	16.6	18.2
48	17.7	15.1	11.5	7.9	5.2	4.0	4.4	6.5	9.7	13.4	16.7	18.3
44	17.8	15.3	11.6	8.4	5.7	4.4	4.9	6.9	10.2	13.7	16.7	18.3
42	17.8	15.5	12.2	8.8	6.1	4.9	5.4	7.4	10.6	14.0	16.8	18.3
40	17.9	15.7	12.5	9.2	6.6	5.3	5.9	7.9	11.0	14.2	16.9	18.3
38	17.9	15.8	12.8	6.6	7.1	5.8	6.3	8.3	11.4	14.4	17.0	18.3
38	17.9	16.0	13.2	10.1	7.5	6.3	6.8	8.8	11.7	14.6	17.0	18.2
34	17.8	16.1	13.5	10.5	8.0	6.8	7.2	9.2	12.0	14.9	17.1	18.2
32	17.8	16.2	13.8	10.9	8.5	7.3	7.7	9.6	12.4	15.1	17.2	18.1
30	17.8	16.4	14.0	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
28	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13.0	15.4	17.2	17.9
26	17.6	16.4	14.4	12.0	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8
24	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.7	17.1	17.7
22	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.6	10.0	11.6	13.7	15.7	17.0	17.5
20	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
12	16.6	16.3	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.3	15.9	16.2	16.2
8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
6	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
0	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

Fuente: FAO, Boletín de Riego y Drenaje N° 24(6)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Tabla 3: Coeficientes de cultivo , Kc, a varias etapas de crecimiento.

Cultivo	Desde la siembra hasta cobertura efectiva en %									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Pequeños granos	0.19	0.22	0.30	0.44	0.61	0.80	0.98	1.13	1.23	1.25
Frijoles	0.24	0.28	0.36	0.47	0.61	0.768	0.91	1.056	1.18	1.28
Arveja	0.24	0.23	0.37	0.48	0.61	0.76	0.90	1.04	1.16	1.26
Papa	0.12	0.16	0.24	0.36	0.49	0.64	0.78	0.91	1.02	1.09
Remolacha	0.12	0.16	0.24	0.36	0.48	0.64	0.78	0.91	1.02	1.09
Azúcar										
Maíz	0.24	0.28	0.35	0.46	0.59	0.73	0.86	0.98	1.09	1.15
Alfalfa	0.43	0.56	0.70	0.82	0.94	1.08	1.20	1.20	1.20	1.20
Pastos	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Días después de cobertura efectiva										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Pequeños granos	1.25	1.13	0.89	0.59	0.23	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Frijoles	1.22	1.15	1.02	0.88	0.71	0.54	0.37	0.23	0.12	0.12
Arveja	1.18	1.22	1.19	0.91	0.24	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Papa	1.08	1.02	0.90	0.72	0.46	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Remolacha	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
Azúcar										
Maíz	1.18	1.18	1.12	0.98	0.82	0.65	0.48	0.34	0.24	0.20
Alfalfa	0.90	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Pastos	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

Fuente: Comité de ABCE (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles) para necesidades de agua de riego (1)

Jesús A. Jaime P.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Tabla 4 Coeficientes generales de cultivo KC, para estimación ETA

Cultivo	*KC medio para cultivo con cobertura Total	** KC medio para todo el ciclo.
Cultivos extensivos y oleaginosas incluyendo frijol, maíz, algodón, limo. Maní, papa, soya, sorgo, remolacha azucarera, tomate y trigo.	1.15	0.90
Frutales, nueces y uvas		
Cítricos (Naranja, limón y toronja)	0.75	0.75
Frutos caducos (durazno, ciruelo y nueces)	0.90	0.70
Frutos caducos con cobertura del cultivo	1.25	1.00
Uvas	0.75	0.60
Heno, forrajes y cultivos de cobertura		
Alfalfa	1.35	1.00
Gramma	1.00	1.00
Trébol	1.15	
Abonos verdes	1.10	0.95
Caña de azúcar	1.25	1.00
Hortalizas	1.15	0.66

* Recomendado para el cálculo de capacidad de sistemas

** Para ser utilizado en la estimación de necesidades totales para análisis económico

Suministra resultados manifiesta satisfactorios para programación del riego para la mayoría de los suelos con buena capacidad de almacenamiento de agua aprovechable

Fuente ASAE Transacciones, Vol 17, N°4, 1974 (8)

Jesús A. Jaime P.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Tabla 5: Rango aproximado de ET (cultivo) durante el ciclo en mm. comparado con ET (pasto)

ET (Cultivo para el ciclo)	mm	%
Aguacate	650-1000	65-75
Alfalfa	600-1500	90-105
Algodón	550-950	50-65
Arboles caducos	700-1050	60-70
Arroz	500-800	45-65
Bananas	700-1700	90-105
Cacao	800-1200	95-110
Café	800-1200	95-110
Caña de azúcar	1000-1500	105-120
Cebolla	350-600	25-40
Dátiles	900-1300	85-110
Frijol	250-400	20-25
Granos pequeños	300-450	25-30
Hortalizas	250-500	15-30
Limo	450-900	55-70
Maíz	400-700	30-45
Naranja	600-950	60-75
Nueces	700-1000	65-75
Oleaginosas	300-600	25-40
Papa	350-625	25-40
Papa dulce	400-675	30-45
Remolacha azucarera	450-850	50-65
Sisal	550-800	65-75
Sorgo	300-650	30-45
Soya	450-825	30-45
Tabaco	300-500	30-35
Tomate	300-600	30-45
Toronja	650-1000	70-85
Uva.	450-900	30-55

Los valores en porcentaje están basados en pasto con un ciclo de crecimiento de 12 meses como 100%

Fuente FAO, Boletín N° 24, Sobre Riego y Drenaje (6)
Jesús A. Jaime P.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Tabla 6: Coeficiente de cultivos KC para cultivos extensivos y hortalizas

Cultivo	Medio Ciclo	A la cosecha.
Algodón	1.20	0.65
Arveja	1.15	1.10
Avena	1.15	0.20
Azafrán	1.15	0.20
Berenjena	1.05	0.85
Calabaza	0.95	0.75
Cebada	1.15	0.20
Cebolla (seca)	1.05	0.80
Crucíferas (repollo, coliflor, etc.)	1.05	0.90
Espinaca	1.00	0.95
Fríjol castor	1.15	0.50
Fríjol seco	1.15	0.25
Girasol	1.15	0.35
Lechuga	1.00	0.90
Limo	1.10	0.20
Maíz	1.15	0.60
Maní	1.05	0.60
Melón	1.00	0.75
Mito	1.10	0.75
Papa	1.15	0.75
Pimiento (fresco)	1.05	0.85
Rábano	0.85	0.80
Remolacha azucarera	1.15	0.60-1.00
Sorgo	1.10	0.55
Soya	1.10	0.45
Tomate	1.20	0.65
Trigo	1.15	0.20
Zanahoria	1.10	0.80

Fuente FAO, Boletín N° 24, Sobre Riego y Drenaje (6)

Jesús A. Jaime P.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Tabla 7: Profundidad efectiva de raíces y consumo recomendado de la cantidad de agua aprovechable antes de la aplicación de riego.

Cultivo	Profundidad en metros.	Riego necesario cuando el siguiente porcentaje de agua aprovechable ha sido agotado.
Alfalfa	1.20-1.80	60%
Algodón	0.80-1.20	60%
Arveja	0.60-0.75	30-35%
Cebolla	0.30-0.45	30%
Cohombro	0.45-0.80	30%
Grano (incluyendo sorgo)	0.60-0.75	60%
Fresa	0.50-0.45	30%
Fríjol	0.80	30%
Huertos	0.80-1.80	60%
Lechuga	0.30	30%
Maíz	0.80-1.20	30%
Maní	0.45	30-35%
Melón	0.80-0.75	30%
Papa	0.80	30-35%
Papa dulce	0.76-0.80	30%
Pastos	0.45-0.75	60%
Remolacha	0.80-0.80	40-60%
Repollo	0.80	30%
Soya	0.80	30-40%
Tabaco	0.75	60%
Tomate	0.30-0.80	30-40%
Uva	0.90-1.60	60%
Zanahoria	0.45-0.80	36-60%

Fuente: Griffin y Hargreaves (7)

Jesús A. Jaime P.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Tabla N° 8 Coeficiente KP en el caso de usar tanques de clase A para diferentes cubiertas niveles de humedad relativa media y varios durante las 24 horas.

					Cubierta con barbecho de secano			
Humedad Relativa		Baja	Media	Alta	Baja		Media	Alta
Media %		< 40	40-70	> 70	< 40	40-70	> 70	> 70
Viento (Km)	Distancia a de la cubierta verde (m)				Distancia del barbecho del secano(m)			
Débiles	0	0.66	0.65	0.76	0	0.70	0.80	0.66
	10	0.85	0.75	0.86	10	0.80	0.70	0.80
	> 175	100	0.70	0.80	100	0.66	0.86	0.76
		1000	0.75	0.85	1000	0.60	0.80	0.70
Moderados	0	0.60	0.80	0.86	0	0.86	0.75	0.80
	10	0.80	0.70	0.76	10	0.66	0.86	0.70
	175-425	100	0.86	0.75	100	0.50	0.90	0.86
		1000	0.70	0.80	1000	0.46	0.66	0.80
Fuentes	0	0.45	0.60	0.80	0	0.80	0.86	0.70
	10	0.66	0.80	0.86	10	0.80	0.66	0.86
	426-700	100	0.80	0.85	100	0.46	0.60	0.86
		1000	0.86	0.70	1000	0.40	0.46	0.66
Muy fuertes	0	0.40	0.46	0.60	0	0.60	0.80	0.86
	10	0.45	0.66	0.80	10	0.46	0.60	0.66
	> 700	100	0.50	0.60	100	0.40	0.46	0.60
		1000	0.55	0.80	1000	0.36	0.40	0.46

Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje N° 24 Las necesidades de agua de los cultivos Roma (1876)

Jesús A. Jaime Piñas.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Tabla N° 9 Estados de crecimiento en días y Periodo vegetativo de los cultivos para el Valle del Mantaro.

Cultivo	1°	2°	3°	4°	Periodo vegetativo
Maíz	30	50	60	40	4-5 Meses
Papa	35	35	50	30	4-5 Meses
Trigo Cebada	20	30	65	40	4-5 Meses
Haba	30	40	50	40	6 Meses
Lechuga	50	30	30	-	3 - 4 Meses
Col	50	60	80	-	5 - 6 Meses
Arveja	30	35	45	30	4 - 6 Meses
Cebolla	50	50	80	-	5 - 6 Meses
Quinua	35	50	55	50	8 - 7 Meses
Zanahoria	50	50	80	-	6 - 7 Meses

Nota: En base a información agronómica local
Jesús A. Jaime Piñas

Tabla N° 10 factor de Evapotranspiración Potencial MF en mm por mes.

Lat. Sur.	E	F	M	A	M	J
1	2.283	2.117	2.354	2.032	2.137	1.990
2	2.321	2.134	2.357	2.199	2.106	2.956
3	2.353	2.154	2.360	2.167	2.079	1.922
4	2.385	2.172	2.362	2.151	2.050	1.888
5	2.416	2.189	2.363	2.134	2.020	1.854
6	2.447	2.205	2.683	2.117	1.980	1.820
7	2.478	2.221	2.336	2.095	1.959	1.785
8	2.496	2.337	2.362	2.061	1.927	1.750
9	2.538	2.281	2.360	2.062	1.896	1.715
10	2.587	2.228	2.357	2.043	1.864	1.679
11	2.588	2.278	2.354	2.023	1.832	1.844
12	2.625	2.292	2.350	2.002	1.799	1.808
13	2.652	2.305	2.343	1.981	1.767	1.572
14	2.660	2.317	2.340	1.959	1.733	1.536
15	2.707	2.328	2.334	1.937	1.700	1.500
16	2.734	3.339	2.327	1.914	1.660	1.464
17	2.760	2.349	2.319	1.891	1.832	1.427
18	2.785	2.353	2.311	1.897	1.590	1.391
19	2.811	2.338	2.302	1.843	1.564	1.354
20	2.635	2.370	2.293	1.818	1.529	1.318

Fuente: FAO, IRRIGATION AND DRANAGE PAPER (1977)
Jesús A. Jaime Piñas.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Lat. Sur.	J	A	S	O	N	D
1	2.091	2.216	2.256	2.358	2.334	2.265
2	1.858	2.050	2.194	2.251	2.372	2.301
3	2.026	2.172	2.245	2.388	2.290	2.337
4	1.933	2.150	2.240	2.398	2.318	2.372
5	1.960	2.128	2.234	2.411	2.345	2.407
6	1.976	2.103	2.220	2.422	2.371	2.442
7	1.895	2.078	2.210	2.443	2.397	2.467
8	1.858	2.054	2.210	2.443	2.423	2.510
9	1.824	2.028	2.201	2.453	2.448	2.544
10	1.789	2.003	2.191	2.462	2.473	2.577
11	1.754	1.970	2.180	2.470	2.497	2.610
12	1.719	1.950	2.169	2.447	2.520	2.643
13	1.884	1.922	2.157	2.464	2.543	2.675
14	1.648	1.895	2.144	2.490	2.567	2.706
15	1.612	1.867	2.131	2.496	2.588	2.730
16	1.576	1.838	2.117	2.500	2.610	2.769
17	1.540	1.809	2.103	2.504	2.631	2.799
18	1.504	1.780	2.088	3.506	2.651	2.830
19	1.487	1.750	2.072	2.510	2.671	2.859
20	1.431	1.710	2.056	2.512	2.691	2.889

Tabla 11 Periodos Críticos de la deficiencia de agua para diferentes cultivos.

Aceituna	Exactamente antes de la floración y durante el crecimiento del fruto
Albaricoque	Periodo de floración y desarrollo de yemas
Alfalfa	Inmediatamente después del corte para heno y al comienzo de la floración para formación de semillas
Algodón	FloreCIMIENTO y formación de bellotas mayor después de la formación de las bellotas.
Arveja	Al comienzo de la floración y cuando las vainas están en crecimiento.
Avena	Al comienzo de la emergencia de la espina posiblemente hasta el desarrollo del grano.
Brócoli	Durante la formación y el crecimiento de la cabeza.
Caña de Azúcar	Periodo de máximo crecimiento vegetativo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"

Cebada	Antes de la formación de la espiga mayor estado pastoso, mayor al comienzo de la cultivada o etapa de maduración.
Cerezas	En el periodo de rápido crecimiento de frutas anterior a la maduración
Cítricos	Floración y etapa de formación de frutos; puede inducirse fuerte floración suspendiendo el riego antes de la etapa de floración (limón); debilitamiento de frutos por la sequía de Junio, puede controlarse con altos niveles de humedad del suelo.
Coliflor	Requiere frecuente riego desde la siembra hasta la cosecha.
Durazno	Periodo de rápido crecimiento de la fruta anterior a la maduración.
Fresa	Desarrollo del fruto a maduración.
Fríjol	A la floración y periodo de formación de vainas mayor periodo de maduración.
Girasol	Posiblemente durante la floración y formación de semilla Etapa de desarrollo de la semilla.
Lechuga	Requiere particularmente suelos húmedos antes de la cosecha.
Maní	Florecimiento y etapa de desarrollo de semillas mayor entre germinación y floración y al final del ciclo.
Maíz	Periodo de polinización desde la formación del vellón hasta la formación del grano mayor antes de formación del vellón mayor periodo de relleno del grano; periodo de polinización muy crítico si no hay déficit anterior de agua.
Nabo	Cuando el tamaño de la raíz comestible aumenta rápidamente hasta la cosecha.
Papa	Altos niveles de humedad del suelo; después de la formación de tubérculos, floración a cosecha.
Pequeños granos	Desde antes del espigamiento hasta completar formación de espiga.
Rábano	Durante el periodo de crecimiento de la raíz.
Remolacha	3 a 4 semanas después de emergencia (brote)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



Azucarera	
Repollo	Durante la formación y crecimiento de la cabeza.
Ricino	Requiere relativamente alto nivel de agua del suelo durante todo el ciclo.
Sandía	Floración a cosecha.
Sorgo	Enraizamiento secundario y brote antes del espigamiento floración y formación de grano mayor, periodo de relleno del grano.
Soya	Etapas de floración y fructificación y posible periodos de máximo crecimiento vegetativo.
Tabaco	Altura de la rodilla hasta floración
Tomate	Cuando se ha formado las flores y los frutos están en rápido crecimiento.
Trigo	Posiblemente antes y durante la formación de espigas y dos semanas antes de la polinización.

Fuente: FAO boletín de Riego y Drenaje N° 24 (6)

APÉNDICE I - REFERENCIA

1. ASCE Technical Committee on Irrigation Water Requirements of de Irrigation and DrDrainage Division, “Consumptive Use of Water and Irrigation Water requeriments” American Society of Civil Engineers, 1973, 215 p.
2. Christiansen, Jerald E. “Plan Evaporation and Evapotranspiration from climatic data” “Journal of the Irrigation and Drainage Division. Proc. ASCE 94 IR 2, 1968, pp 243-265.
3. Christiansen, Jerald E. “Effect of Agricultural Use on water Quality for Downstream Use for Irrigation, “Proceedings American Society of civil Engineers, Irrigation and



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”

Drainage Specialty Conference, Fort Collins, Colorado, April 22-24, 1973, pp 753-785 and recent modification by the author.

4. Christiansen, Jerald E., and G. H. Hargreaves , Irrigation Requeriments from Evaporation, “Question 23, Seventh Congress, International Commission on Irrigation and Drainage, Mexico, 1969, pp 23;: 569 23:596.
5. Downey, L.A., “Waterryeild redation for Nonforege Crops”, Journal of the Irrigation and Drainage Divison. Proc. ASCE 98 IR 1, 1972, pp. 107-115
6. Food and Agricultural organization of the United Nations (FAO), “Crop water Requeriment”, Irrigation and Drainage paper 24, 1975, Rome 179 p.
7. Griffin, Richard E., and Goerge H. Hargreaves, “Siimplified Scheduling of Supplemental Irrigation”, Contribution of Irrigation and Drainage to world food Supply, Irrigation and Drainage Speciality Conference, Amer. Soc Civil Engemmers Biloxi, Mississippi, 1974, pp. 218-243
8. Hargreaves, george H; estimation of potential and Crop Evaporation, transactions of the ASAE (vol. 17 N° 24), 1974 pp 701-704
9. Hargreaves, George H. “Precipitation dependability and Potential for Agricultural Production in Northeast Brazil”, EMBRAPA (Empresa Brasileira de perquisa Agropecuaria) and Utha State University (74-d155) 123 p.
10. Hargreaves, George H. and J.E. Christiansen “production as a Fuction of Mois –ture Availability, “ITCC Review Vol III N° 1(9) Association of Engineers and Architects in Israel, 1974, pp. 179-189.
11. Hargreaves, george H. “The evaluation of Water deficiencies “Age of Changing Priorities for lan and Water, Irrigation and Dainage Especiality Conference, Amer. Soc. Civil Engineers. Spokane, Wasington, 1972 pp. 273-290.
12. Israelsen, Orson O. And vaughn E. Hansen, “Irrigation Principles and practices, “Third Edition, John Wiley and Sons, 1962 447 p.
13. Japan Meteorological Agency, Tokyo, “Climatic Table for de world”, 1967, p. 113





UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



14. Loff, George O. G, John A. Duffie and Clayton O. Smith, “World Distribution of solar Radiation, “Solar Energy Laboratory” College of Engineering Experiment Station, Report N° 21, 1966, 59 p. plus maps.
15. Mirnezami, Hossein, the Relationship Bet-ween the Climate and Dry Franed wheat Iran. M. S. Thesis, Utah State University 1972, 188 p.
16. Pruitt, W. O. “Empirical Method of Estimating Evapotranspiration Using Primarily Evaporation Pans, “Evapotranspiration and Its Role in water Management, ASAE Conference Proceedings, 1966.
17. Richard L. A., etal “Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Solis” Handbook 60 U.S. Department of Agriculture U.S. Salinity laboratory, 1954, 160 p.
18. Stewart J. I. R. D. Misra, W. O. Pruitt and R.M. Hagan, “Irrigation cornn and Grain Sorghum with Limited water, “Department of water Science and Engineering, University of California, Davis, California (paper presented at the Annual Meeting of ASAE Stillwater, Oklahoma), 1974, 32 p.
19. U.S.D.A. Enconomic Research Service and U.S. Dept. of Commerce, Environmetal Science Services Administration. “Montholy Precipitation Probabilites by Climatic Divisions, 23 Eastern States Fron the Great Lakes to the Gulf Coast, “Miscellaneous Plublication N° 1160, 1969, 141 p.
20. Wenstedt, Frederick L. “World Climatic Data” Climatic Data Press, Lemont, Pennsylvania, 1972, 552 p.
21. Wolf James M. Soil water Relations in Oxisols of Puerto Rico and Brazil, Cornel University, Unpublished, 1973, 17 p.
22. World Meteorological Organization, “Climatic Nornals (CLINO) for Climat and Climat Ship Station for the Period 1931 – 1960 WMO/OMM N° 117 T.P. 52, 1971



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCATELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



INDICE

	Página
Resumen	
Introducción	
Definición de términos	
Estimativo de evapotranspiración	
Potencial, ETP	
Eficiencia de riego	
Requerimientos de lavado	
Condiciones de suelo	
Programación de riego	
Precipitación confiable o dependiente	
Humedad y producción agrícola	
Clasificación de déficit de humedad	

LISTA DE FIGURAS

	Página
4 Magnitud de ET (cultivo) comparados en ET (pasto)	
2 KC medio para la etapa inicial como una función del nivel de ETP media (durante la etapa inicial) y frecuencia de riego o de lluvia significativa	
1 Ejemplo de una curva de coeficiente de cultivo (para maíz)	
3 Función de adecuancia de humedad y producción	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCATELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



LISTA DE TABLAS

Página

- 1 Duración máxima media diaria de horas de brillo solar para diferentes meses y latitudes
- 2 Radiación extraterrestre, RMD, expresada en evaporación equivalente en mm/día
- 3 Coeficiente de cultivo, Kc a varias etapas de crecimiento
- 4 Coeficientes generales de cultivos, Kc, para estimación de ETA
- 5 Rango aproximado de ET (cultivos) durante el ciclo, en mm comparando con ET (pastos)
- 6 Coeficiente de cultivo, Kc para cultivos extensivos y hortalizas
- 7 Profundidad efectiva de raíces y consumo recomendado de la cantidad de agua aprovechable antes de la aplicación de riego.
- 8 Coeficientes Kp en el caso de usar tanques de clase “A”
- 9 Estados de crecimiento en días y periodo vegetativo de los cultivos para el valle del Mantaro
- 10 factor de ETP – MF en mm/mes
- 11 Periodos críticos de la deficiencia de agua en el suelo para diferentes cultivos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO

II PARTE

SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO

En las últimas décadas, el desarrollo tecnológico y científico ha permitido crear la infraestructura necesaria para adaptar los riegos a las necesidades de cada comunidad. El perfeccionamiento de los sistemas de bombeo para dotar al agua de presión, el mejor conocimiento del comportamiento del agua, el desarrollo de las técnicas de cultivo, el estudio de las necesidades de agua de los cultivos y una mejor comprensión del ciclo del agua, han permitido la creación de nuevas técnicas de riego que se ha difundido y expandido extraordinariamente en los últimos 30 años.

Perú dispone actualmente de una superficie de regadío de aproximadamente 3.400.000 has. superficie que representa casi el 15% de la superficie total cultivada.

En el regadío Peruano destacan los siguientes cultivos:

CULTIVO	% DE CULTIVO EN REGADIO
Papa, maíz, arroz	Aprox 98
Hortalizas	95
Frutales	65
Cultivos industriales, algodón y remolacha	65
Forrajes	50
Cereales	30
Viñedo	22
Olivar	12

Sin embargo, una parte importante de los regadíos peruanos se encuentra en un deficiente estado de conservación, adecuación y nivel tecnológico, debido



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



fundamentalmente por la antigüedad de los sistemas , en los que no se han realizado apenas mantenimiento. Se estima que un 45% de los regadíos Peruanos requieren obras de mejora, rehabilitación y modernización de las infraestructuras.

AÑOS DE ANTIGÜEDAD	% DE LA SUPERFICIE TOTAL DE REGADÍO
Mas de 200	30%
90-200	7
20-90	36
Menos de 20	27

En el Perú entorno al 80% del consumo de agua corresponde a los regadíos, mientras que los usos domésticos e industrial consumen respectivamente un 14 y un 6% aproximadamente.

Aunque la cantidad de agua líquida es constante, su movilidad dentro del ciclo hidrológico hace que se distribuya muy irregularmente en el espacio y en el tiempo. En Perú esta circunstancia se agrava ya que es un país en el que se dan importantes desigualdades en la disponibilidad del agua. El 41% del agua disponible en nuestro país, se concentra en solo el 11% del territorio, mientras que el otro 89% dispone del 59% de agua restante. Es por lo tanto en estas zonas donde el agua ha de ser convenientemente regulada.

A la distribución temporal y espacial irregular del agua hay que sumar que la demanda de agua crece progresivamente con el tiempo. Asimismo se han venido realizando prácticas de riego poco eficientes en el uso del agua, aunque es un hecho que esta cambiando, no solo por un mayor conocimiento por parte de los agricultores sino también por el desarrollo de nuevas tecnologías en materia de riegos que ahorran agua y la utilizan de manera mas eficiente.

En multitud de zonas de Perú la agricultura de secano ha supuesto únicamente una actividad de bajos ingresos por unidad de superficie para los agricultores. Tradicionalmente la agricultura de regadío ha supuesto la única alternativa posible para el desarrollo de multitud de zonas rurales, fomentando una agricultura productiva y rentable, tanto económica como socialmente.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



En la actualidad, el regadío genera anualmente en el Perú unos 550.000 empleos, lo que supone más de la tercera parte del empleo total generado en el sector agrario. Con respecto a la agricultura de secano, la proporción de empleados es de unas 7 a 8 veces mayor en regadío (como media de las agriculturas Peruanas), cifra que aumenta notablemente en determinadas zonas (como la agricultura de regadío bajo plástico y producciones hortícolas).

La mano de obra que crea la agricultura de regadío tiene también un importante efecto en la evolución de las poblaciones (como lo atestiguan, por ejemplo, el claro incremento de la población a medida que la superficie de cultivo regado bajo plástico aumenta) y a su vez en la economía de la zona.

Hoy en día, la Agricultura de regadío genera una producción final muy superior al del resto de los sistemas agrícolas aún cuando la superficie de cultivo regada es muy inferior. Asimismo, la actividad empresarial relacionada con el regadío es ingente, contando con áreas tan dispares como suministros de material de riegos, fertilizantes, fitosanitarios, transformación y comercialización de productos o asesoramiento agronómico e hidráulico. Pero tampoco se debe olvidar el aspecto social, la generación de empleo y la redistribución de la población en torno a las zonas de regadío.

El uso de un método de riego u otro depende de numerosos factores, entre los que es preciso destacar los siguientes:

- La topografía del terreno y la forma de la parcela.
- Las características físicas del suelo, en particular las relativas a su capacidad para almacenar el agua de riego.
- Tipo de cultivo, del que es imprescindible conocer sus requerimientos de agua para generar producciones máximas, así como su comportamiento en situaciones de falta de agua.
- La disponibilidad de agua y el precio de la misma.
- La calidad del agua de riego.
- La disponibilidad de la mano de obra.
- El coste de las instalaciones de cada sistema de riego, tanto en lo que se refiere a inversión inicial como en la ejecución de los riegos y mantenimiento del sistema.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



- El efecto en el medio ambiente.

A su vez, una vez elegido el sistema de riego, existen bastantes tipos de sistemas o variantes, cuya elección se realizará teniendo en cuenta aspectos mas particulares.

En la actualidad son tres los métodos de riego utilizados:

- Riego por superficie.
- Riego por aspersión.
- Riego localizado.

En el Perú el 59% de la superficie de los regadíos se riegan por superficie, el 24% por aspersión y el 17% por riego localizado.

Son riegos muy conocidos que, en principio, no crean problemas al agricultor experto, pero que pueden producir pérdidas de abonos por lavados y arrastres, al no poder controlarse perfectamente las dosis de agua.

El agua se aplica directamente sobre la superficie del suelo por gravedad o escurrimiento. El propio suelo actúa como sistema de distribución dentro de la parcela desde la zona próxima al lugar de suministro, denominado *cabecera de la parcela*, hasta llegar a todos los puntos de ella. Finalmente el agua alcanza *la cola de la parcela*.

El agua puede llegar hasta la parcela por medio de cualquier sistema de distribución, bien por tuberías (normalmente a baja presión) o por una red de canales y acequias donde el agua circula por gravedad. Una vez que el agua esta en cabecera no es preciso dotarla de presión ya que se vierte sobre el suelo y discurre libremente, lo que supone evitar tener en la parcela un complejo sistema de tuberías y piezas especiales para distribuir el agua a presión así como un ahorro de energía ya que no se precisan sistemas de bombeo. Para distribuir el agua adecuadamente es muy frecuente disponer de surcos o caballones que favorezcan la circulación o escurrimiento del agua sobre el suelo, a lo que también contribuye la pendiente que suelen tener las parcelas de riego en la dirección de escurrimiento del agua, aun cuando existen parcelas a nivel en las que la pendiente es cero.



El riego por superficie es un método particularmente recomendable en terrenos llanos o con pendientes muy suaves en las que no sea preciso realizar una explanación del suelo, que es costosa y puede afectar negativamente al suelo. Es el método de riego menos costoso en instalación y mantenimiento, y una vez que el agua llega a la parcela no existe coste en la aplicación del agua. Es con diferencia el sistema de riego que utiliza el agua de forma menos eficiente, aun cuando se realiza un adecuado diseño y majeo de los riegos.

Dada la gran variedad de sistemas diferentes dentro de la aplicación del agua por gravedad, el riego por superficie puede aplicarse casi a la totalidad de los cultivos, tanto anuales como leñosos, sembrados en línea (maíz, algodón, etc.), en marco amplio (árboles) u ocupando la totalidad del terreno (alfalfa por ejemplo).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Inundación: Se inunda completamente la superficie de la parcela. El agua tiene un movimiento descendente total. Solo es aconsejable en cultivos muy específicos (arroz).

Calles: El agua tiene un movimiento descendente y lateral. Se reducen las pérdidas y arrastres de los abonos.

Surcos: El agua tiene un movimiento descendente y lateral hacia los lomos.

Conviene aclarar que tanto la técnica de riego por "calles" como por "surcos", si bien no son riegos totales, para que sean localizados, tiene que haber un porcentaje igual o superior al 33% del volumen de suelo, que no se moje, para que no sufra los efectos de la inundación (asfixia y apelmazamiento, principalmente)

Con este método el agua se aplica al suelo en forma de lluvia utilizando unos dispositivos de emisión de agua, denominados aspersores, que generan un chorro de agua pulverizada en gotas. El agua sale por los aspersores dotada de presión y llega hasta ellos a través de una red de tuberías cuya complejidad y longitud depende de la



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCATELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



dimensión y la configuración de la parcela a regar. Por lo tanto una de las características fundamentales de este sistema es que es preciso dotar al agua depresión a la entrada en la parcela de riego por medio de un sistema de bombeo. La disposición de los aspersores se realiza de forma que se moje toda la superficie del suelo, de la forma mas homogénea posible.



Un sistema de riego tradicional de riego por aspersión está compuesto de tuberías principales (normalmente enterradas) y tomas de agua o hidrantes para la conexión de secundarias, ramales de aspersión y los aspersores. Todos o algunos de estos elementos pueden estar fijos en el campo, permanentes o solo durante la campaña de riego. Además también pueden ser completamente móviles y ser transportados desde un lugar a otro de la parcela.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



En las tres últimas décadas se han desarrollado con gran éxito las denominadas máquinas de riego que, basándose igualmente en la emisión de agua en forma de lluvia por medio de aspersores, los elementos de distribución del agua se desplazan sobre la parcela de manera automática. Aunque su precio es mayor, permiten una importante automatización del riego.



Los sistemas de riego por aspersión se adaptan bastante bien a topografías ligeramente accidentadas, tanto con las tradicionales redes de tuberías como con las máquinas de riego. El consumo de agua es moderado y la eficiencia de uso bastante aceptable. Sin embargo, la aplicación del agua en forma de lluvia está bastante condicionada a las condiciones climáticas que se produzcan, en particular al viento, y a la aridez del clima, ya que si las gotas generadas son muy pequeñas, en particular el viento, y a la aridez del clima (las gotas podrían desaparecer antes de tocar el suelo por la evaporación).

Son especialmente útiles para aplicar riegos relativamente ligeros con los que se pretende aportar algo de humedad al suelo en el periodo de nacimiento o para aplicar riegos de socorro. También es muy indicado para efectuar el lavado de sales cuando sea necesario y se prestan a la aplicación de determinados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



productos fitosanitarios o abonos disueltos en el agua de riego, aunque no se puede considerar que sea una aplicación habitual.

Dentro de los riegos por aspersión tenemos:

DE PRESIÓN MEDIA (de 2,5 a 4 atm).

Aspersión.

- Con el riego aéreo se realiza una limpieza de las plantas que en general dificulta el desarrollo de las plagas.
- Se crea un microclima húmedo que disminuye el riesgo de heladas y el rajado de frutos.
- No hay problemas en cuanto al tipo de suelos, ni de nivelaciones imperfectas, si el caudal es inferior a la velocidad de infiltración del suelo.
- No se puede emplear en zonas que haga viento.
- En cítricos retrasa el índice de madurez.

DE PEQUEÑA PRESIÓN (de 0,3 a 2 atm).

Microaspersión. Parecido al anterior pero se puede evitar mojar las plantas. Trabaja a menor presión y por lo tanto los alcances son menores.

- Los efectos del viento son mas exagerados.
- Cuando se riega todo el terreno crea un microclima húmedo como en el caso anterior.
- En horas de sol se produce una fuerte evaporación por lo que hay que incrementar la dosis en un 20-30%.
- No hay problemas de tipo de suelo, estando muy indicado en los arenosos.

Microchorro o Microjet. Derivado del anterior, emite el agua en pequeños chorros, que pueden abarcar una parte o todo un círculo.

- Se disminuye el efecto negativo del viento, pudiendo dirigir el chorro hacia abajo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



- Tiene menos pérdidas por evaporación que los anteriores.
- Es un riego localizado en bandas o zonas húmedas, por lo que está muy indicado en suelos arenosos.
- No crea un microclima húmedo tan marcado como en los casos anteriores.

El riego localizado consiste en aplicar agua a una zona determinada del suelo, no en su totalidad. Al igual que en el riego por aspersión, el agua circula a presión por un sistema de tuberías (principales, secundarias, terciarias y ramales) desplegado sobre la superficie del suelo o enterrado en este, saliendo finalmente por los emisores de riego localizado con poca o nula presión a través de unos orificios, generalmente de muy pequeño tamaño.



En estos sistemas es necesario contar con un sistema de bombeo que dote de presión al agua, así como determinados elementos de filtrado y tratamiento del agua antes de que circule por la red de tuberías. Con ellos se pretende evitar la obturación de los emisores, uno de los problemas más frecuentes. Estos elementos se instalan a la salida del grupo de bombeo en el denominado *cabezal de riego*.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Es el sistema ideal para poner en práctica las técnicas de fertirrigación (fertilizantes disueltos en el agua de riego). El desarrollo de las técnicas y equipos han permitido una automatización de las instalaciones en distintos grados, llegando en ocasiones a un funcionamiento casi autónomo de todo el sistema. De esta forma se consiguen automatizar operaciones como limpieza de equipos, apertura o cierre de válvulas, fertilización, etc. que producen un importante ahorro de mano de obra.

Es el método de riego más tecnificado, y con el que más fácil se aplica el agua de manera eficiente. De igual forma, el manejo del riego es muy diferente del resto de los sistemas ya que el suelo pierde importancia como almacén de agua. Se riega con bastante frecuencia para mantener un nivel óptimo de humedad en el suelo.

Requiere un buen diseño, una alta inversión en equipos y mantenimiento concienzudo, es decir tiene un alto coste que puede ser asumido en cultivos de alto valor comercial.

Normalmente trabajan a presiones que oscilan entre 0,3 y 1 atm

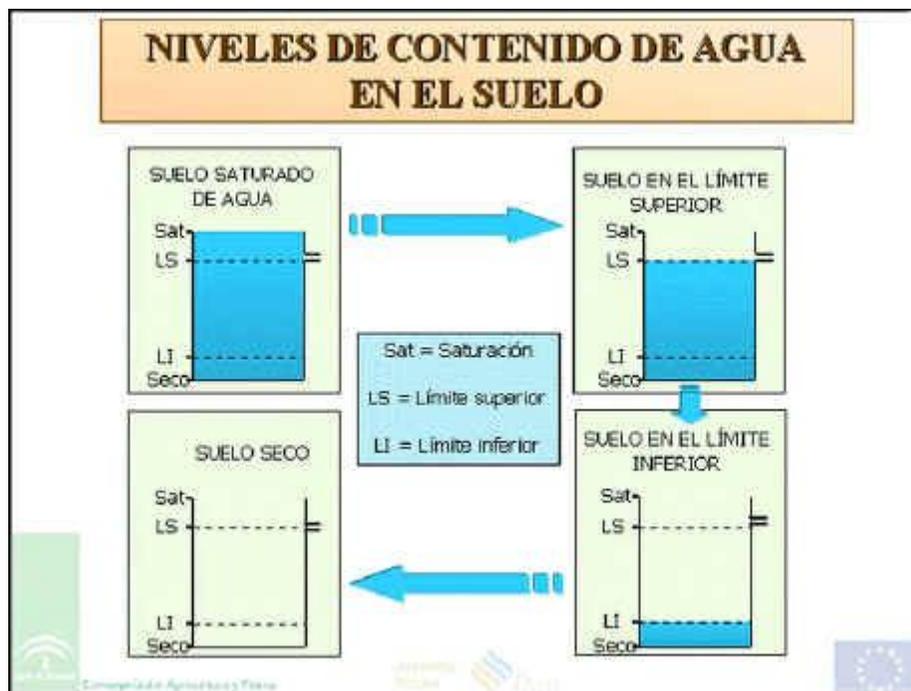
Microtubos: Localizan el agua en varios puntos. Su uso está relegado a jardinería o macetas individuales.

Gotos: Emisores aislados para cada punto

Mangueras: Localizan el agua en bandas por estar los puntos de salida muy próximos.

Cintas: Fabricadas en material permeable, el agua queda localizada en bandas

En función de la mayor o menor proporción de agua en los poros del suelo, y su disponibilidad para la planta se definen cuatro niveles de humedad:



Saturación: Cuando todos los poros están llenos de agua.

Límite superior (LS): Es un nivel de humedad que se consigue dejando drenar el agua del suelo saturado. Este contenido de agua es la mayor cantidad de agua que el suelo puede llegar a almacenar sin drenar. También se conoce como **capacidad de campo (CC)**.

Límite inferior (LI): Si el suelo no recibe un nuevo aporte, la evaporación de agua desde el suelo y la extracción por parte de las raíces hacen que el agua almacenada



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCATELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

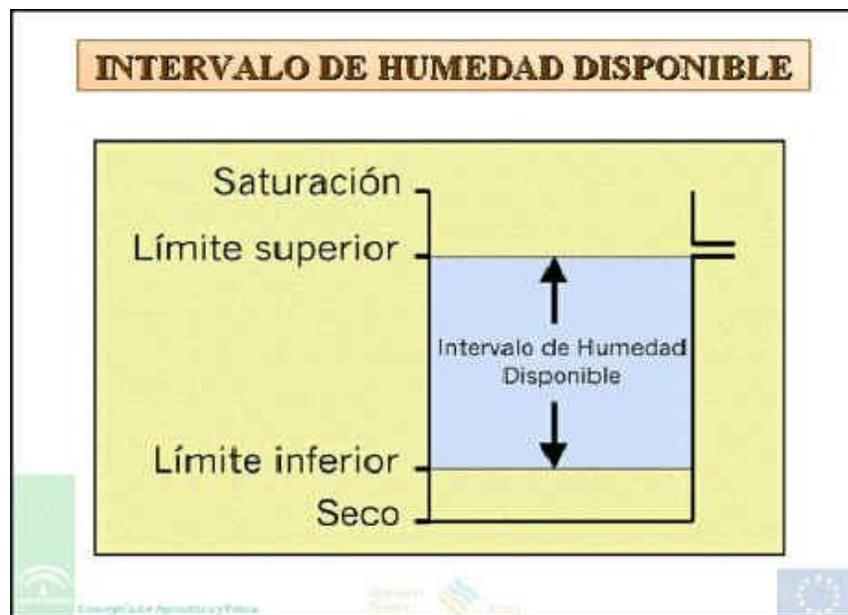
"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



disminuya hasta llegar a este nivel en el que las raíces no pueden extraer mas cantidad. Aunque el suelo aún contiene cierta cantidad de agua, las plantas no pueden utilizarla. Se conoce también como punto de marchitez o punto de marchitamiento permanente.

Suelo seco: Situación en que los poros del suelo están totalmente llenos de aire.

Así pues, las plantas pueden extraer el agua del suelo desde el límite superior hasta el límite inferior., que es lo que se conoce como **Intervalo de Humedad Disponible** (también conocido como **agua útil**). En la práctica, la mayor cantidad que el suelo puede almacenar y poner a disposición de las plantas es en torno al 70% de la cantidad de agua representada por el IHD.



Para poder programar los riegos de forma eficaz, es necesario conocer el nivel de humedad o cantidad de agua que tiene el suelo y los valores tanto de límite superior como inferior.

NOTA: La experiencia nos dice que en las zonas secas, el agua limita con frecuencia los rendimientos y que siempre que no haya alguna acción negativa de otros factores de la producción vegetal, a medida que aumenta el régimen de humedad lo hacen también los rendimientos.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



El incremento de rendimientos suele ser mas acusado en los cultivos de regadío. Estos cultivos suelen dar sus máximos rendimientos cuando se mantiene el suelo en un régimen de humedad constante por encima del 80% del agua utilizable. Si se supera la capacidad de campo, se producen descensos importantes de los rendimientos, lo que justifica la necesidad de drenaje.

En los cultivos de secano se ofrecen los máximos rendimientos en condiciones de humedad de suelo algo menores: a partir del 60% del agua útil habitualmente. Mayor contenido de agua no ofrece, a veces, incrementos significativos de rendimientos, ya que estas especies no están adaptadas a la utilización de grandes volúmenes de agua.

El contenido de agua en el suelo se puede determinar de forma directa utilizando muestras de suelo o bien de forma indirecta usando unos aparatos específicos.

MEDIDAS DIRECTAS DEL CONTENIDO DEL AGUA EN EL SUELO

Humedad gravimétrica:

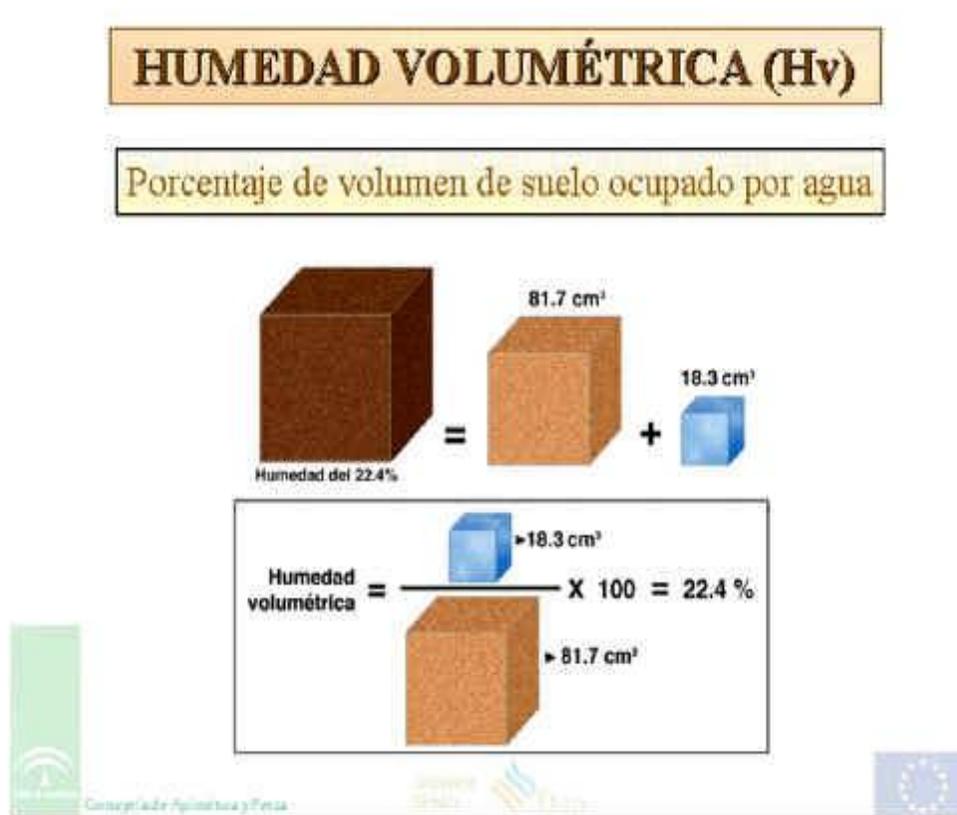
Es el peso de suelo ocupado por el agua. Por ejemplo, si en una muestra de suelo humedecido 14 grs son de agua y 65 grs son de suelo, la humedad gravimétrica será el resultado de dividir 14 entre 65 y multiplicar por 100, es decir, el 21,5%.





Humedad volumétrica:

Es el porcentaje de peso de suelo ocupado por el agua. Por ejemplo, si en una muestra de suelo humedecido, 12 cm³ son de agua y 48 cm³ son de suelo, la humedad volumétrica, será el resultado de dividir 12 entre 48 y multiplicar por 100, es decir, el 25%.



Lo mas frecuente es calcularla multiplicando la humedad gravimétrica por la densidad aparente (da) del suelo. La densidad aparente es la relación entre el peso de una muestra de suelo y el volumen que ella ocupa, y su valor es diferente para cada tipo de suelo si bien para suelos con textura similar, (da) es muy parecida. las unidades mas frecuentes de densidad aparente son gramos por centímetro cúbico (g/cm³).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



RELACIÓN ENTRE Hg Y Hv

$$H_v = H_g \times d_a$$

Textura del suelo	Densidad aparente (da) g/cm ³
Arenoso	1.65
Franco-arenoso	1.50
Franco	1.40
Franco-arcilloso	1.35
Franco-limoso	1.30
Arcilloso	1.25

MEDIDAS INDIRECTAS DEL CONTENIDO DEL AGUA EN EL SUELO

MEDIDA INDIRECTA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD





UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Tensiómetros:

Son aparatos que miden la succión o fuerza que ejerce el suelo sobre el agua. A medida que el suelo pierde agua la succión aumenta, es decir, el suelo ejerce mas fuerza para retener agua. Por lo tanto observando cómo varía el valor de la succión podemos saber la evolución del agua en el suelo. Normalmente se instalan dos tensiómetros a distintas profundidades de esta forma podriamos medir gradientes hidráulicos y por tanto conocer la dirección de los flujos de agua en el suelo.

Antes de enterrar el tensiómetro en el suelo es necesario llenarlo de agua eliminando cualquier burbuja de aire. Para ello se introduce en un cubo de agua, y quitando el tapón que obtura herméticamente el extremo opuesto al que va situado la cápsula porosa, se llena de agua mediante succión utilizando una bomba de mano. Una vez el agua rebose por el extremo, cerramos de nuevo el tapón. En estas condiciones, el agua que llena la sonda esta a la presión atmosférica y el vacuómetro marca cero.

Como la cápsula cerámica es permeable al agua y a las sales disueltas, el agua del interior de la sonda acaba adquiriendo la misma concentración salina de la solución del suelo. Por esta razón no sirve para medir el potencial osmótico, a menos que vaya equipada con algún tipo de sensor salino auxiliar.

Las medidas de presión hidrostáticas están limitadas a potenciales matriciales inferiores a 1 atm. Para tensiones superiores, puede penetrar aire en el interior de la sonda a través de la cápsula porosa y se rompería la continuidad de la columna líquida

Sonda de neutrones:

Se introduce en el suelo a la profundidad deseada y emite neutrones. Los neutrones se reflejan mas o menos dependiendo del contenido de agua del suelo. Un receptor cuenta los neutrones reflejados y transforma la señal en contenido de agua.

TDR:

Consta de varillas metálicas que se introducen en el suelo y un emisor receptor de impulsos magnéticos. Genera un pulso electromagnético y mide el tiempo que tarda en recorrer las varillas, que será mayor o menor atendiendo al contenido de humedad del suelo.

Un suelo es un almacén de agua que cambia la cantidad de agua con el tiempo debido a que las demandas varían mucho dependiendo de las condiciones climáticas,



el estado de desarrollo del cultivo y de las prácticas de riego. Los aportes de agua al suelo son la lluvia y el riego, sin embargo no todo el agua aportada es almacenada y puesta a disposición de las plantas, sino que se producen pérdidas debido a:

ESCORRENTÍAS:

Representa la cantidad de agua de lluvia o riego que cae sobre la superficie del suelo pero que este no puede infiltrar. Así, el agua sobrante escurre sobre él sin ser aprovechada por el cultivo. Puede ser grande en algunos sistemas de riego por superficie (principalmente riego por surcos), sin embargo no suele ser frecuente que se produzcan en riegos por aspersión bien diseñados y manejados. Por lo general, en riego localizado no hay escorrentías.

La relación de escorrentía es la cantidad de agua que escurre sobre la superficie del suelo regado dividida entre el total de agua aplicada con el riego. Por ejemplo, si en un riego se aportan 1000 metros cúbicos de agua y se pierden 200 por escorrentía, la relación de escorrentía será de 0,2 o del 20%.

Relación de escorrentía= Cantidad perdida por escorrentía/cantidad de agua aplicada





UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



FILTRACIÓN PROFUNDA O PRECOLACIÓN:

Cuando el agua aplicada sobre la superficie del suelo se infiltra, pasa poco a poco hacia capas mas profundas. Si la cantidad de agua aplicada es mayor que la capacidad de retención, el agua infiltrará hacia zonas en las que las raíces del cultivo no pueden acceder, siendo por tanto agua perdida

La relación de filtración es la cantidad de agua que percola dividida entre el total de agua aplicada con el riego. Por ejemplo, si en el mismo riego del ejemplo anterior se pierden 15 metros cúbicos de agua por filtración profunda, la relación de filtración profunda será de 0,015 o del 1.5%.

Relación de filtración = Cantidad por filtración profunda/Cantidad de agua aplicada.

EVAPORACIÓN:

Proceso por el cual el agua pasa de la superficie del suelo a la atmósfera en forma de vapor.

Existen tres índices para determinar en que manera el riego ha sido realizado de forma correcta tanto para el aprovechamiento de agua por parte del cultivo como de ahorro de agua. Eficiencia de aplicación (Ea), coeficiente de déficit (CD) y coeficiente de uniformidad del riego (CU).

Eficiencia de aplicación (Ea):

Es la relación entre el agua que realmente queda almacenada en la zona de raíces del cultivo (y por lo tanto puede ser aprovechada por ellas) y el agua total aplicada con el riego (Aplicada).

EFICIENCIA DE APLICACIÓN

Aplicada = Filtración profunda + Almacenada + Escorrentía



$$Ea = \frac{\text{Almacenada}}{\text{Aplicada}} \times 100 = 100 - \text{relación de escorrentía} - \text{relación de filtración}$$

EFICIENCIA DE APLICACIÓN SEGÚN EL MÉTODO DE RIEGO

Método de riego	Eficiencia de aplicación
Superficie	55-85
Aspersión	65-90
Localizado	70-90

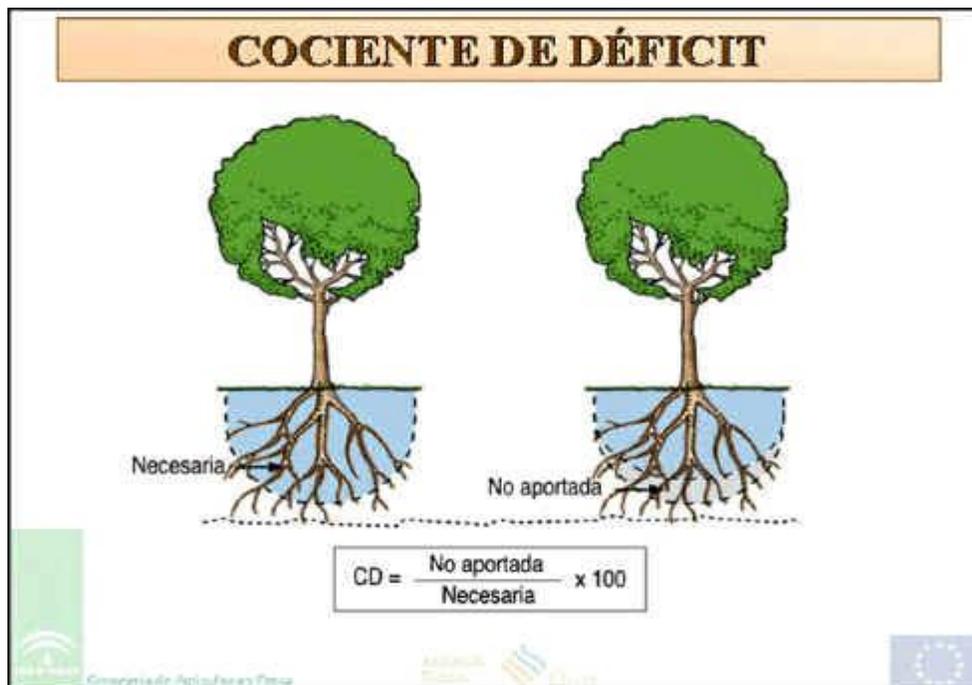
Eficiencia de aplicación depende de:

- Estado de los componentes de la instalación
- Manejo de los riegos



El coeficiente de déficit (CD):

Índica la relación entre el agua que ha faltado para llenar por completo la zona de actividad de las raíces (no aportada) y la cantidad total de agua que hubiera sido necesaria para llenarla totalmente (necesaria). Refleja el porcentaje de volumen de suelo que debería recibir agua y no lo hace.



El coeficiente de uniformidad (CU):

Índica la uniformidad en la distribución del agua aplicada con el riego en el suelo. Si la uniformidad es baja existirá mayor riesgo de déficit de agua en algunas zonas y de filtración profunda en otras.



En la programación del riego vamos a determinar cuando se ha de regar y cuanta agua aplicar. Para esto es imprescindible conocer las características del cultivo, las características físicas del suelo y las condiciones climáticas de la zona. Con la programación del riego podemos perseguir una maximización de la producción, de la calidad de los productos, ahorro de abonos, de agua etc.

La influencia del cultivo y su estado fenológico es importante ya que las necesidades hídricas dependerán del tipo de planta y de su estado de desarrollo. A si mismo, las raíces de un cultivo ocupan distintas profundidades en función de la fase de desarrollo con lo que la cantidad de agua en distintas zonas debe variar acorde con el crecimiento. Atendiendo al tipo de suelo tendremos distintas capacidades para retener agua por lo que las estrategias de riego serán diferentes. A esto añadimos que las necesidades varían mucho en función del clima, la radiación solar, el viento, la precipitación, etc. por lo que se hace necesario conocer las características climáticas de la zona y del cultivo para programar adecuadamente los riegos.

Todo esto es aplicable a todos los cultivos si bien algunos de ellos requieren prácticas de riego especiales. También hay que tener en cuenta las características



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



específicas que un suelo pudiera tener (por ejemplo la presencia de patógenos). Por la gran variedad de casos que pueden presentarse, se desarrollará a continuación una programación genérica sin atender a casos particulares. Sin embargo es preciso tener en cuenta que la practica del riego no es algo independiente sino que esta íntimamente ligada al resto de las prácticas de cultivo en que este se desarrolla.

La determinación de las necesidades de agua de los cultivos es el paso previo para establecer los volúmenes de agua que será necesario aportar con el riego.

La cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la retienen (la que usan para crecimiento y fotosíntesis). La transpiración puede considerarse, por tanto, como el consumo de agua de la planta. Además debemos de considerar que hay pérdidas de agua por evaporación del agua desde la superficie del suelo.



La cantidad de agua que suponen ambos procesos, transpiración y evaporación, suele considerarse de forma conjunta simplemente por que es muy difícil calcularla por separado. Por lo tanto se considera que las necesidades de agua de los cultivos están representados por la suma de la evaporación directa desde el suelo mas la transpiración de las plantas que es lo que comúnmente se conoce como evapotranspiración (ETP). La evapotranspiración suele expresarse en mm de altura



de agua evapotranspirada en cada día (mm/día) y es una cantidad que variará según el clima y el cultivo. Aunque en realidad existe una interacción entre ambos, puede admitirse la simplificación de considerarlos por separado y por lo tanto la evapotranspiración se calcula como:



EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA.

Para poder calcular la evapotranspiración (ETP) se parte de un sistema ideado para este fin, consistente en medir el consumo de agua de una parcela de unas medidas concretas sembrada de hierba, con una altura de unos 10-15 cm, sin falta de agua y en pleno crecimiento, donde se ha colocado un instrumento de medida. Al dato obtenido se le llama evapotranspiración de referencia (ETPr). Como el cultivo es siempre el mismo, será mayor o menor según sean las condiciones del clima (radiación solar, temperatura, humedad, viento, etc.) y del entorno (no es lo mismo calcular la ETPr dentro de un invernadero o en el exterior). El cálculo empírico de la evapotranspiración de referencia es difícil y para obtenerla normalmente recurrimos a las entidades públicas, centros de investigación, etc.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



COEFICIENTE DE CULTIVO.

El coeficiente de cultivo (K_c) describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección.

En los cultivos anuales normalmente se diferencian 4 etapas o fases de cultivo:





UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"

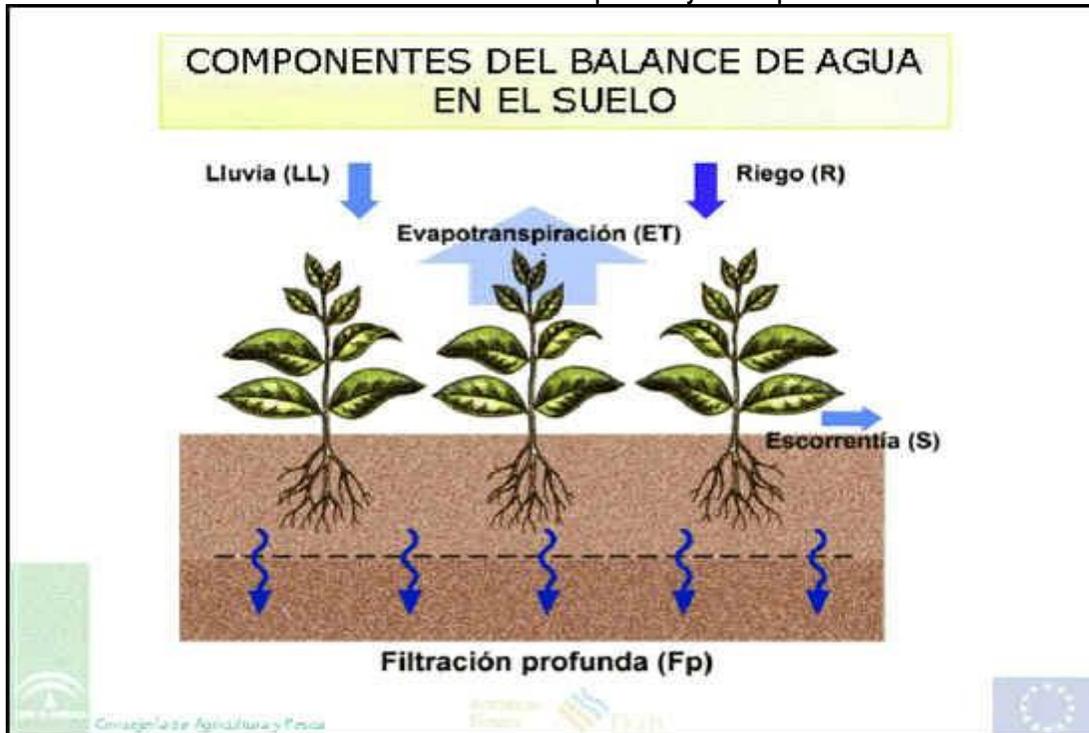


- **INICIAL:** Desde la siembra hasta un 10% de la cobertura del suelo aproximadamente.
- **DESARROLLO:** Desde el 10% de cobertura y durante el crecimiento activo de la planta.
- **MEDIA:** Entre floración y fructificación, correspondiente en la mayoría de los casos al 70-80% de cobertura máxima de cada cultivo.
- **MADURACIÓN:** Desde madurez hasta recolección.

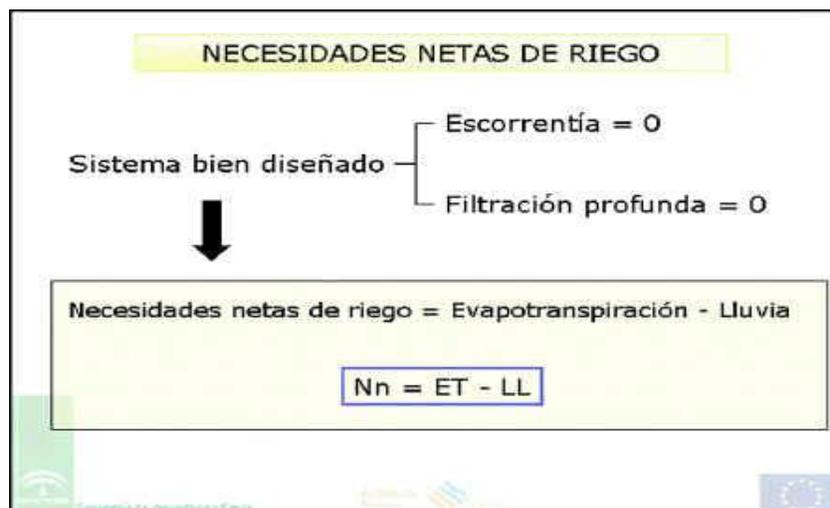
Como se observa en la figura superior, Kc comienza siendo pequeño y aumenta a medida que la planta cubre más el suelo. Los valores máximos de Kc se alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrece durante la fase de maduración. Lo mejor es disponer de valores de Kc para cada cultivo obtenidos en la zona y para distintas fechas de siembras, pero en ausencia de esta información se pueden usar valores orientativos de Kc para varios cultivos herbáceos y hortícolas como los siguientes, en los que se observa que aún siendo diferentes para cada cultivo, presentan valores bastante próximos a ellos.

El sistema formado por el suelo y el cultivo tiene unos aportes y unas salidas de agua. Sin tener en cuenta el riego, estas cantidades no son iguales, por lo que el contenido de humedad del suelo irá cambiando, quedando de manifiesto el papel del suelo como almacén de agua.

Las entradas de agua pueden ser debidas a la lluvia (LL) o al riego (R). Por su parte, las salidas de agua se deberán a la evapotranspiración (ETP), la escorrentía (S) y la filtración profunda (Fp).



Se considera un sistema de riego bien diseñado aquel cuya escorrentía y filtración profunda es cero. De esta forma, la cantidad de agua que necesita el cultivo y se ha de aportar con el riego o "Necesidades netas de riego (Nm)" corresponderán con la diferencia entre la cantidad de agua que el conjunto suelo-planta pierde (la evapotranspiración) y el agua que se aporta de forma natural (la lluvia).





UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Esta cantidad de agua, expresada en altura de lámina de agua por metro cuadrado de superficie de suelo, se denomina **lámina de agua requerida**. Por ejemplo, una lámina de agua requerida de 50 milímetros de agua corresponderá a:

$$50 \text{ milímetros} = 0,05 \text{ metros} = 0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 50 \text{ litros}/\text{m}^2 = 500.000 \text{ litros}/\text{ha} = 500 \text{ m}^3/\text{ha}.$$

Pero no todo el agua que aportamos al suelo es aprovechada por la planta (parte se pierde por escorrentía, filtración profunda. Definimos la "**Eficiencia de aplicación del riego**" al porcentaje de agua que aprovechan las raíces con respecto del total aplicada. Su valor es diferente para cada método de riego, aspersión, superficie, riego localizado y dentro de cada uno de ellos distinto según cada sistema. A título orientativo exponemos los siguientes valores:

EFICIENCIA DE APLICACIÓN (Ea) ESPERADA CON LOS DISTINTOS MÉTODOS DE RIEGO	
MÉTODO DE RIEGO	EFICIENCIA DE APLICACIÓN (%)
Riego por superficie	55-90
Riego por aspersión	65-90
Riego localizado	75-90

Los valores más altos se producirán con un adecuado diseño y manejo del riego.

En riego localizado los valores más frecuentes se sitúan próximos al 90%.

Por lo tanto conociendo la eficiencia de aplicación se pueden determinar las **necesidades brutas (Nb)**, o sea, la cantidad real de agua que ha de aplicarse durante el



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCATELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



riego para satisfacer las necesidades netas de riego.. Se calculan utilizando una fórmula muy simple:

NECESIDADES BRUTAS DE RIEGO (Nb)

$$\text{Necesidades brutas de riego} = \frac{\text{Necesidades netas de riego}}{\text{Eficiencia de aplicación del riego}} \times 100$$
$$Nb = \frac{Nn}{Ea} \times 100$$

EJEMPLO:
Las necesidades brutas de riego a aplicar con un sistema cuya eficiencia de aplicación es del 85%, sabiendo que las necesidades netas son de 50 mm, serán:

$$Nb = \frac{\text{Necesidades netas}}{\text{Eficiencia de aplicación}} \times 100 = \frac{50}{85} \times 100 = 58.9\text{mm}$$

A la lámina de agua que supone la cantidad de agua aportada con las necesidades de riego brutas se llama **lámina aplicada**.

En el caso en que haya que destinar una cantidad para el lavado de sales, las necesidades de riego brutas se calcularán teniendo en cuenta dicha cantidad. Así, ha de conocerse el valor de las necesidades de lavado y transformarlas en fracción de lavado (simplemente dividiendo por 100).



NECESIDADES BRUTAS DE RIEGO (Nb) Y LAVADO DE SALES

Necesidades brutas de riego = $\frac{\text{Necesidades netas de riego}}{\text{Eficiencia de aplicación del riego} \times (1 - \text{Fracción de lavado})} \times 100$

$$Nb = \frac{Nn}{Ea \times (1 - FL)} \times 100$$

EJEMPLO:
Eficiencia de aplicación = 85%
Necesidades netas = 50 mm
Fracción de lavado = 0.15
Calcular las necesidades brutas

$$Nb = \frac{Nn}{Ea \times (1 - FL)} \times 100 = \frac{50}{85 \times (1 - 0.15)} \times 100 = 69.2 \text{ mm}$$

Las estrategias de riego se pueden entender como criterios para decidir el momento de efectuar un riego y la cantidad de agua a aplicar.

ESTRATEGIAS DE RIEGO

Criterios para decidir:

- Momento de realizar los riegos
- Cantidad de agua a aplicar

1. Regar cuando DAS=NAP
2. Regar antes de que DAS=NAP
3. Cantidad fija cuando DAS=Nn
4. Regar cuando llegue el turno

1. Un criterio general es aplicar las necesidades brutas de riego (N_b) cuando el Deficit de Agua en el Suelo (DAS) sea igual al Nivel de Agotamiento Permissible (NAP), teniendo en cuenta estrictamente el balance de agua (agua que se aporta al sistema suelo-planta menos agua que se extrae del sistema) es la estrategia mas recomendable, ya que así se evitan problemas de extracción de agua y por tanto no habrá repercusiones en la producción final.



2. Si el valor comercial del cultivo es muy alto, nos aseguraremos de que las raíces de las plantas no tengan problemas en extraer el agua en ningún momento. Para ello aplicamos las necesidades brutas de riego antes de que el DAS alcance el NAP . Así aumentamos el número de riegos, y dependiendo del método de riego empleado, su coste.
3. En ocasiones es conveniente aplicar una cantidad de agua fija con los riegos, de manera que se aproveche al máximo el sistema de riego. Los sistemas de riego automatizados de riego por aspersión (por ejemplo el pivotante, mas conocido como "pivot") es un claro ejemplo de aplicación de una cantidad fija, que depende de la velocidad a la que se desplace la maquina. En estos casos , el momento de realizar el riego es aquel en el que el Déficit de agua en suelo iguala a las necesidades netas, pero teniendo en cuenta que se aplicarán las necesidades netas.



4. En numerosos sistemas de riego (fundamentalmente en riego por superficie) existen restricciones para elegir el momento del riego ya que están organizados por turnos en los que cada agricultor riega cuando le está permitido. En este caso puede ser que el Déficit del Agua en el suelo supere al nivel de agotamiento permisible. Lo mas usual es que el agricultor procure aplicar el agua correspondiente a las necesidades brutas, es decir cargar el

suelo de agua en previsión de que el turno de agua se pueda retrasar.



En las estrategias anteriores aplicamos necesidades brutas. Aplicar cantidades mayores supone incrementar las pérdidas por filtración profunda o drenaje, mientras que aplicaciones inferiores disminuirían la evapotranspiración que incidiría negativamente en la producción.

Las estrategias de riego son unos criterios generales, que se concretan elaborando un calendario medio de riegos en el que se precisan el momento de riego y la cantidad de agua que se aplica en cada uno de ellos.

Contando con los datos del cultivo, el suelo y el clima, se puede establecer un calendario medio de riegos asumiendo el caso más simple, en el que se supone que la lluvia es nula durante el ciclo del cultivo y que los valores de evapotranspiración de referencia son los de la media de los últimos años. Necesitaremos por tanto contar con los siguientes datos:

- Evapotranspiración de referencia (ETP) de la zona.
- Coeficiente de cultivo (K_c) del cultivo a regar en distintas fases del desarrollo de éste.
- Profundidad radicular media en distintas fases del cultivo.
- Intervalo de humedad disponible en el suelo.
- Nivel de agotamiento permisible para el cultivo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



- Datos diversos del sistema de riego como por ejemplo la eficiencia.

Deberá elegirse una estrategia para determinar el criterio con el cual se calculará el momento de efectuar el riego. Usando parte de los datos anteriormente citados se calculará el déficit de agua en el suelo y el nivel de agotamiento permisible que indicará el momento de riego, mientras que la cantidad de agua a aplicar dependerá del criterio elegido, aunque lo mas frecuente es que se apliquen las necesidades brutas.

Ejemplo: Se desea elaborar un calendario medio de riegos para un cultivo de maíz en la provincia de Huancayo con los siguientes datos:

Localidad: Maíz

Fecha de siembra: Mayo

Eficiencia de aplicación del sistema de riego: 75%

Suelo: Franco con intervalo de humedad disponible de 150 milímetros por metro de profundidad.

Nivel de agotamiento permisible: 0,65

Profundidad media de las raíces: 0,5 m.

Se establece el criterio de regar cuando el déficit de agua en el suelo alcance el nivel de agotamiento permisible y aplicamos las necesidades brutas de riego.

El calendario final de riego es el siguiente:

Calendario Resultante (I)

Fecha	ET _r (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
01-may	5,8	0,4	2,3	2	0,1	10	0
02-may	5,8	0,4	2,3	5	0,1	10	0
03-may	5,8	0,4	2,3	7	0,1	10	0
04-may	5,8	0,4	2,3	9	0,3	29	0
05-may	5,8	0,4	2,3	12	0,3	29	0
06-may	5,8	0,4	2,3	14	0,3	29	0
07-may	5,9	0,4	2,4	16	0,5	49	0
08-may	5,9	0,4	2,4	19	0,5	49	0
09-may	5,9	0,4	2,4	21	0,5	49	0
10-may	5,9	0,4	2,4	23	0,5	49	0
11-may	6	0,8	4,8	28	0,5	49	0
12-may	6	0,8	4,8	33	0,5	49	0
13-may	6	0,8	4,8	38	0,5	49	0
14-may	6	0,8	4,8	43	0,5	49	0
15-may	6	0,8	4,8	47	0,7	68	0
16-may	6	0,8	4,8	52	0,7	68	0
17-may	6,1	0,8	4,9	57	0,7	68	0
18-may	6,1	0,8	4,9	62	0,7	68	0
19-may	6,1	0,8	4,9	67	0,7	68	0
20-may	6,1	0,8	4,9	72	0,7	68	91
Riesgo							Riesgo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



A continuación explicamos como se ha desarrollado.

1. El primer paso es calcular la evapotranspiración diaria (en milímetros por día) usando la ETP y el coeficiente de cultivo Kc.

PRIMER PASO

→ Cálculo de la evapotranspiración diaria usando los datos de evapotranspiración de referencia y de coeficiente de cultivo

$ET = ETr \times Kc$

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
01-may	5,8	0,4	2,3	2	0,1	10	0
02-may	5,8	0,4	2,3	5	0,1	10	0
03-may	5,8	0,4	2,3	7	0,1	10	0

Para el día 2 de Mayo:

$ET = 5,8 \times 0,4 = 2,3 \text{ mm/día}$

2. El déficit de agua en el suelo se calcula acumulando la evapotranspiración que se produce cada día. Normalmente no se utilizan decimales y se indica el valor más próximo en milímetros.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



SEGUNDO PASO

→ Cálculo del déficit de agua en el suelo a partir de la evapotranspiración que se produce cada día

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
01-may	5,8	0,4	2,3	2	0,1	10	0
02-may	5,8	0,4	2,3	5	0,1	10	0
03-may	5,8	0,4	2,3	7	0,1	10	0
04-may	5,8	0,4	2,3	9	0,3	29	0

Para el día 4 de Mayo:

Se han acumulado los 7 mm/día del 3 de mayo más los 2.3 mm/día del 4 de mayo

$$7 + 2.3 = 9.3 \approx 9 \text{ mm}$$

Para el día 4 de mayo se han acumulado $2,3 + 2,3 + 2,3 + 2,3 = 9,2$ mm que redondeamos a 9 mm.

3. Calculamos para cada profundidad radicular, cual es la cantidad de agua en el suelo (en mm de altura) que supone el nivel de agotamiento permisible.

$$0,5 \text{ m (prof raíces)} \times 0,150 \text{ (IHD)} \times 0,65 \text{ (NAP)} = 0,049\text{m.} = 49 \text{ mm}$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



TERCER PASO

→ Cálculo de la cantidad de agua que supone el nivel de agotamiento permisible del suelo para cada profundidad radicular

Fecha	E _{Tr} (mm/día)	K _c	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
10-may	5,9	0,4	2,4	23	0,5	49	0

Para una profundidad de 0.5 m:

$$\text{IHD} = 0.150$$

$$\text{NAP} = 0.65 \text{ de IHD}$$

$$\text{Prof.} = 0.5 \text{ m.}$$

$$0.5 \times 0.150 \times 0.65 = 0.049 \text{ m} = 49 \text{ mm.}$$

4. Ahora para cada día se comprueba si el déficit de agua en el suelo es mayor o menor que el nivel de agotamiento permisible. En el momento que se supere, será el momento de regar. El día 10 de Mayo DAS = 23 mm Y NAP=49 mm, es decir DAP<NAP por lo que no es necesario regar. El 20 de Mayo es el primer día donde DAS>NAP (DAS= 72 mm y el NAP=68 mm) que nos indica que debemos dar un riego con las necesidades brutas de riego.

$$\text{Nb} = \text{Nn}/\text{Ea} \times 100 = 68/75 \times 100 = 91 \text{ milímetros}$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



CUARTO PASO

→ Comprobar que cada día el déficit de agua del suelo es menor que el nivel de agotamiento permisible.

→ En caso de que el déficit sea mayor que el nivel de agotamiento permisible, habrá que regar.

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
10-may	5,9	0,4	2,4	23	0,5	49	0
20-may	6,1	0,8	4,9	72	0,7	68	91
							(Riego)

Día 10 de Mayo:
DAS = 23 mm
NAP = 49 mm

↓
No hay que regar

Día 20 de Mayo:
DAS = 72 mm
NAP = 68 mm

↓
Hay que regar

↓
$$Nb = \frac{68}{75} \times 100 = 91 \text{ mm}$$

A partir del 20 de mayo el déficit vuelve a ser 0, Comenzamos a calcular el nuevo déficit según la ETP que se produzca cada día. El proceso lo continuamos de la misma manera hasta el final de la campaña. Es decir



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"

Calendario Resultante (I)

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (mm/día)	NAP (mm)	Nb (mm)
01-may	5,8	0,4	2,3	2	0,1	10	0
02-may	5,8	0,4	2,3	5	0,1	10	0
03-may	5,8	0,4	2,3	7	0,1	10	0
04-may	5,8	0,4	2,3	9	0,3	29	0
05-may	5,8	0,4	2,3	12	0,3	29	0
06-may	5,8	0,4	2,3	14	0,3	29	0
07-may	5,9	0,4	2,4	16	0,5	49	0
08-may	5,9	0,4	2,4	19	0,5	49	0
09-may	5,9	0,4	2,4	21	0,5	49	0
10-may	5,9	0,4	2,4	23	0,5	49	0
11-may	6	0,8	4,8	28	0,5	49	0
12-may	6	0,8	4,8	33	0,5	49	0
13-may	6	0,8	4,8	38	0,5	49	0
14-may	6	0,8	4,8	43	0,5	49	0
15-may	6	0,8	4,8	47	0,7	68	0
16-may	6	0,8	4,8	52	0,7	68	0
17-may	6,1	0,8	4,9	57	0,7	68	0
18-may	6,1	0,8	4,9	62	0,7	68	0
19-may	6,1	0,8	4,9	67	0,7	68	0
20-may	6,1	0,8	4,9	72	0,7	68	91

Calendario Resultante (II)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
21-may	6,1	0,8	4,9	5	0,7	68	0
22-may	6,1	0,8	4,9	10	0,7	68	0
23-may	6,1	0,8	4,9	15	0,7	68	0
24-may	6,2	0,8	5,0	20	0,7	68	0
25-may	6,2	0,8	5,0	25	0,7	68	0
26-may	6,2	0,8	5,0	30	1	98	0
27-may	6,2	0,8	5,0	34	1	98	0
28-may	6,2	0,8	5,0	39	1	98	0
29-may	6,2	1,15	7,1	47	1	98	0
30-may	6,2	1,15	7,1	54	1	98	0
31-may	6,3	1,15	7,2	61	1	98	0
01-jun	6,3	1,15	7,2	68	1	98	0
02-jun	6,3	1,15	7,2	75	1	98	0
03-jun	6,4	1,15	7,4	83	1	98	0
04-jun	6,4	1,15	7,4	90	1	98	0
05-jun	6,4	1,15	7,4	98	1	98	131
Riego							Riego

Calendario Resultante (III)

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
06-jun	6,4	1,15	7,4	7	1	98	0
07-jun	6,4	1,15	7,4	15	1	98	0
08-jun	6,5	1,15	7,5	22	1	98	0
09-jun	6,5	1,15	7,5	30	1	98	0
10-jun	6,5	1,15	7,5	37	1	98	0
11-jun	6,5	1,15	7,5	45	1	98	0
12-jun	6,5	1,15	7,5	52	1	98	0
13-jun	6,5	1,15	7,5	60	1	98	0
14-jun	6,5	1,15	7,5	67	1	98	0
15-jun	6,6	1,15	7,6	75	1	98	0
16-jun	6,6	1,15	7,6	82	1	98	0
17-jun	6,6	1,15	7,6	90	1	98	0
18-jun	6,6	1,15	7,6	97	1	98	0
19-jun	6,7	1,15	7,7	105	1	98	131
Riego							Riego



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"

Calendario Resultante (IV)



Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pt (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
20-jun	6,7	1,15	7,7	8	1	98	0
21-jun	6,7	1,15	7,7	15	1	98	0
22-jun	6,7	1,15	7,7	23	1,2	117	0
23-jun	6,7	1,15	7,7	31	1,2	117	0
24-jun	6,7	1,15	7,7	39	1,2	117	0
25-jun	6,8	1,15	7,8	46	1,2	117	0
26-jun	6,8	1,15	7,8	54	1,2	117	0
27-jun	6,8	1,15	7,8	62	1,2	117	0
28-jun	6,8	1,15	7,8	70	1,2	117	0
29-jun	6,8	1,15	7,8	78	1,2	117	0
30-jun	6,8	1,15	7,8	85	1,2	117	0
01-jul	6,8	1,15	7,8	93	1,2	117	0
02-jul	6,8	1,15	7,8	101	1,2	117	0
03-jul	6,8	1,15	7,8	109	1,2	117	0
04-jul	6,7	1,15	7,7	117	1,2	117	156
Riego							Riego



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Calendario Resultante (V)

Fecha	ET _r (mm/día)	K _c	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (mm/día)	NAP (mm)	Nb (mm)
05-jul	6,7	1,15	7,7	8	1,2	117	0
06-jul	6,7	1,15	7,7	15	1,2	117	0
07-jul	6,7	1,15	7,7	23	1,2	117	0
08-jul	6,6	1,15	7,6	31	1,2	117	0
09-jul	6,6	1,15	7,6	38	1,2	117	0
10-jul	6,6	1,15	7,6	46	1,2	117	0
11-jul	6,6	1,15	7,6	53	1,2	117	0
12-jul	6,6	1,15	7,6	61	1,2	117	0
13-jul	6,6	1,15	7,6	69	1,2	117	0
14-jul	6,5	1,15	7,5	76	1,2	117	0

Se denomina **programación en tiempo real** al que utiliza datos en tiempo real, es decir medidos diariamente o en fechas cercanas al momento actual. Llamamos calendario medio al que se elabora teniendo en cuenta valores medios de varios años.

En realidad es muy difícil encontrar valores de ETP_r diarios, por lo que la programación en tiempo real no suele utilizarse. A este respecto, los Servicios de Asesoramiento al Regante, como entidades de apoyo que prestan orientación y recomendaciones en materia de riegos, son una ayuda valiosa para hacer un uso eficiente del agua.

En los climas mediterráneos las lluvias se producen en otoño, primavera y ocasionalmente tormentas de verano. En esta situación se mantienen las fechas de riego obtenidas con un calendario medio de riego, y restamos el agua de lluvia que ha caído desde el último riego a la cantidad de agua a aplicar al riego siguiente.

En estas zonas también es una opción bastante recomendable no regar hasta alcanzar el contenido de humedad correspondiente al límite superior (que es lo más común), sino dejar parte del almacenamiento del suelo sin rellenar para aprovechar el agua de lluvia durante los días posteriores al riego.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



VALORES DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) PARA DISTINTOS CULTIVOS HERBÁCEOS Y HORTÍCOLAS

Valores de Kc para cultivos herbáceos y hortícolas				
	Fase del cultivo			
	Inicial	Desarrollo	Media	Maduración
Algodón	0.45	0.75	1.15	0.75
Berenjena	0.45	0.75	1.15	0.80
Cebada	0.35	0.75	1.15	0.45
Girasol	0.35	0.75	1.15	0.55
Judía verde	0.35	0.70	1.10	0.30
Lechuga	0.45	0.60	1.00	0.90
Maíz	0.40	0.80	1.15	0.70
Melón	0.45	0.75	1.00	0.75
Patata	0.45	0.75	1.15	0.85
Pimiento	0.35	0.70	1.05	0.90
Remolacha	0.45	0.80	1.15	0.80
Soja	0.35	0.75	1.10	0.60
Sorgo	0.35	0.75	1.10	0.65
Tabaco	0.35	0.75	1.10	0.90
Tomate	0.45	0.75	1.15	0.80
Trigo	0.35	0.75	1.15	0.45
Zanahoria	0.45	0.75	1.05	0.90

Para los *cultivos leñosos*, permanentes, los coeficientes de cultivo suelen venir expresados por meses y usualmente en función del grado de cobertura del suelo (que indica el porcentaje de superficie de suelo que ocupa la masa arbórea).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



VALORES DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) PARA DISTINTOS CULTIVOS LEÑOSOS

Valores de Kc para Cítricos <i>sin</i> cubierta vegetal												
Grado de cobertura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
> 70 %	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,55	0,55
50 % aprox .	0,45	0,45	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,5	0,5
< 20 %	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,4	0,4
Valores de Kc para Frutales de hoja caduca <i>sin</i> cubierta vegetal												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Manzano, cerezo	-	-	-	0,4	0,6	0,85	1,0	1,0	0,95	0,7	-	-
Melocotonero, peral, ciruelo y albaricoque	-	-	-	0,4	0,55	0,75	0,9	0,9	0,7	0,65	-	-
Valores de Kc para otros cultivos leñosos												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Olivar	0,5	0,5	0,65	0,6	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,6	0,65	0,5
Vid	-	-	-	0,45	0,60	0,7	0,7	0,7	0,65	0,5	0,3	-



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



En caso de que exista algún cultivo implantado entre las filas de los árboles, los coeficientes de cultivo aumentarían debido al consumo que tal cultivo implica. Ocurriría lo mismo si existieran malas hierbas.

Ejemplo: Si la ETPr en la provincia de Huancayo es de 5 mm/día en el mes de Mayo, se desearía saber cual es la ETP diaria del cultivo de maíz situado en las proximidades de Huancayo, que se encuentra en fase media.

Utilizando las tablas se obtiene un Kc de 1,15 en la fase media. Así pues la ETP diaria será:

$$ETP = ETPr \times Kc = 5 \times 1,15 = 5,75 \text{ mm/día}$$

Antes de calcular el agua que vamos a aportar con el riego, debemos conocer la profundidad del suelo ocupada por las raíces. A continuación se muestran algunas profundidades máximas de raíces para algunas especies.

PROFUNDIDAD DE RAÍCES MEDIA DE DIFERENTES CULTIVOS					
Cultivo	Prof. (metros)	Cultivo	Prof. (metros)	Cultivo	Prof. (metros)
Aguacate	0.8-1.2	Col y coliflor	0.6	Patata	0.6-0.9
Albaricoque	0.6-1.4	Espárrago	1.2-1.8	Pepino	0.4-0.6
Alcachofa	0.6-0.9	Espinaca	0.4-0.6	Peral	0.6-1.2
Alfalfa	1.2-1.8	Fresa	0.3-0.5	Pimiento	0.4-0.9
Algodón	0.6-1.8	Girasol	1.5-2.5	Remolacha	0.6-1.2
Almendro	0.6-1.2	Guisantes	0.4-0.8	Soja	0.6-1.0
Avena	0.6-1.1	Lechuga	0.2-0.5	Sorgo	0.6-0.9
Berenjena	0.5-0.6	Leguminosas grano	0.5-1.0	Tabaco	0.5-0.9
Cebada	0.9-1.1	Maíz grano	0.6-1.2	Tomate	0.6-1.2
Cebolla	0.3-0.6	Manzano	0.8-1.4	Trigo	0.8-1.1
Cerezo	0.8-1.2	Melocotón	0.6-1.2	Vid	0.8-1.1
Ciruelo	0.8-1.2	Melón	0.6-1.1	Zanahoria	0.4-0.6
Cítricos	0.9-1.5	Olivo	0.9-1.5		



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



En algunas ocasiones cuando las condiciones del suelo y agua son favorables, se han encontrado valores mayores.

La cantidad de agua del suelo que teóricamente está a disposición para las plantas viene determinado por el **Intervalo de Humedad Disponible (IHD)** también llamada **Agua Útil** (diferencia entre el límite superior (capacidad de campo) e inferior de humedad (punto de marchitez)).

Al límite superior también se le conoce como Capacidad de Campo. Si saturamos un suelo, la cantidad de agua, la cantidad de agua que queda retenida en los poros sin se arrastrada por el peso de la gravedad, es la **Capacidad de Campo** o **Capacidad de Retención**. La capacidad de campo se valora por el porcentaje en volumen de agua existente con respecto al suelo seco. Según diferentes autores alcanza los siguientes valores:

Suelos arenosos
6%

Suelos ligeros
10-15%

Suelos medios
20-25%

Suelos pesados
35-40%

Al límite inferior también se le conoce como **Punto de Marchitez** (el esfuerzo de absorción de las raíces no es suficiente para competir con las fuerzas de retención que ejercen las partículas del suelo y las sales existentes). El agua que aún queda, pero que no es capaz de aprovechar la planta, se llama **Agua Inerte** o **Agua Higroscópica** y, en general, tiene los siguientes valores en volumen con respecto a la tierra seca:

Suelos arenosos
2 %

Suelos ligeros
6 %

Suelos medios



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"

9 %

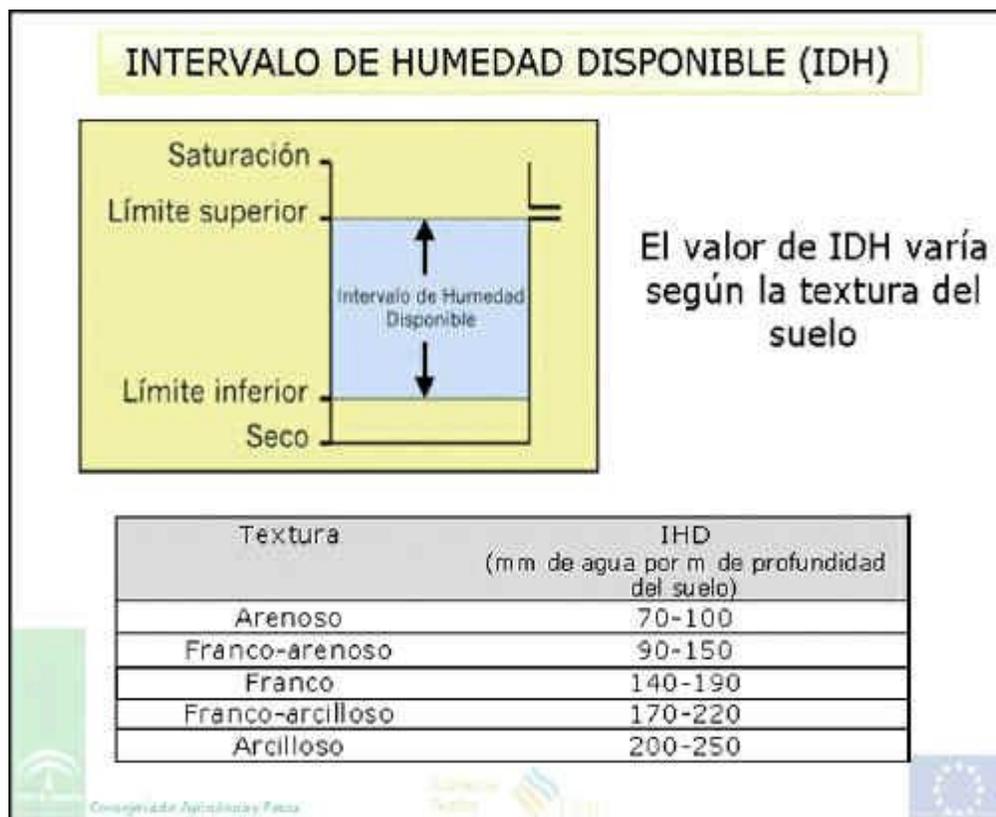
Suelos pesados

18 %



El valor del Intervalo de Humedad Disponible (IHD) (Agua Útil) es diferente para cada suelo dependiendo básicamente de su textura.

Algunos valores orientativos son los siguientes:



Esto quiere decir que en un suelo franco-arcilloso con un Intervalo de Humedad Disponible de 185 mm de agua por metro de profundidad de suelo, en un cultivo de algodón que tiene una profundidad de raíces de 0,9 m., la cantidad de agua teóricamente disponible corresponde a una lámina de agua de altura:



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCATELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Ejemplo:

Suelo franco-arcilloso

Intervalo de humedad disponible: 185 mm/m

Cultivo: algodón

Profundidad de raíces: 0.9 m

Cantidad de agua teóricamente disponible:

$$\text{IDH} \times \text{profundidad de raíces} = 185 \times 0.9 = 166.5 \text{ mm}$$

Como acabamos de ver el agua útil o intervalo de humedad disponible es la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez y su valor referido a % en volumen de agua con respecto al suelo seco se deduce de las tablas anteriores:

Suelos arenosos

4 %

Suelos ligeros

5 al 9 %

Suelos medios

10 al 15 %

Suelos pesados

17 al 22 %

Aunque las plantas pueden extraer agua del suelo hasta un nivel de humedad que corresponde con el límite inferior (punto de marchitamiento), existe un nivel de humedad entre el límite superior y el inferior a partir del cual las raíces encuentran



dificultades para extraer el agua (aumenta el esfuerzo metabólico por la succión), produciéndose una disminución de la transpiración que implican pérdidas de producción (menor vegetación y frutos más pequeños). A este nivel se le denomina

Nivel de Agotamiento Permisible (NAP) y normalmente se representa como una fracción del Intervalo de Humedad Disponible.



Cuando programamos el riego, normalmente empleamos valores entre 0,6 y 0,8 (un valor de 0,65 se considera muy adecuado), pero en cultivos con alto valor económico, como por ejemplo las hortalizas, no debe usarse un valor de NAP mayor de 0,5 para asegurarnos que el cultivo no sufrirá en ningún momento carencia de agua que



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



repercutiría directamente en la producción.

La humedad correspondiente al Nivel de agotamiento Permisible es la cantidad de agua que el suelo debería tener siempre, como mínimo, para que la producción fuera siempre la máxima posible. Para el caso del ejemplo anterior, la humedad del suelo (expresada como altura de la lámina de agua) que corresponde a un nivel de agotamiento Permisible de 0,65, será:

Ejemplo:

Suelo franco-arcilloso
Intervalo de humedad disponible: 185 mm/m
Cultivo: algodón
Profundidad de raíces: 0.9 m

Humedad del suelo (altura de lámina de agua) correspondiente a un NAP de 0.65:

$$\text{IDH} \times \text{profundidad de raíces} \times \text{NAP} =$$
$$= 185 \times 0.9 \times 0.65 = 108.2 \text{ mm}$$

Supongamos un suelo que tiene una humedad correspondiente al límite superior. A partir de este momento la evapotranspiración comienza a consumir agua, y esta se va agotando día a día. La cantidad de agua que va faltando con respecto al límite superior se denomina **Déficit de Agua en el Suelo (DAS)** y será mayor a medida que pasa el tiempo.



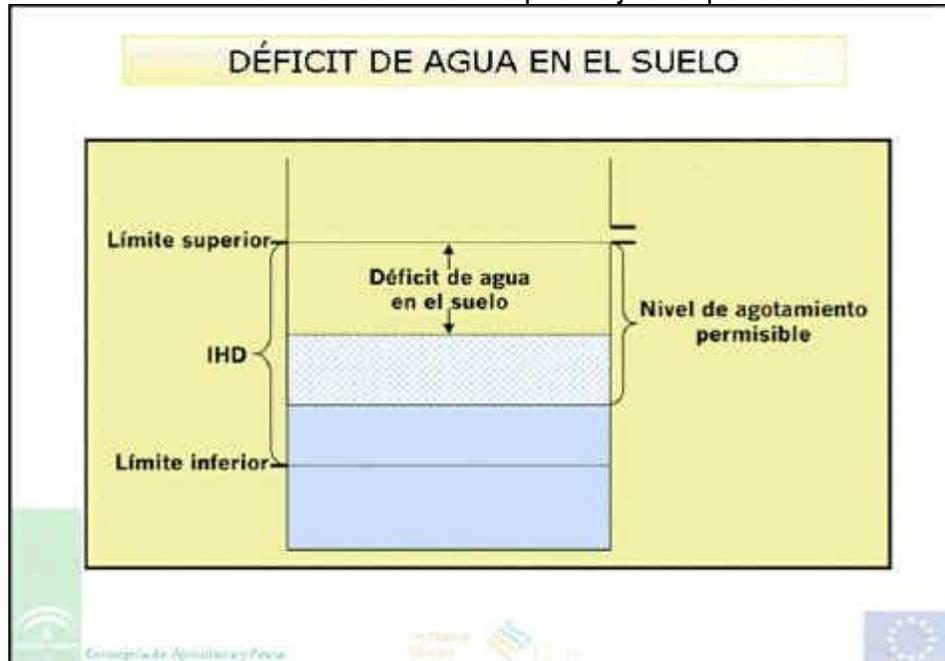
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

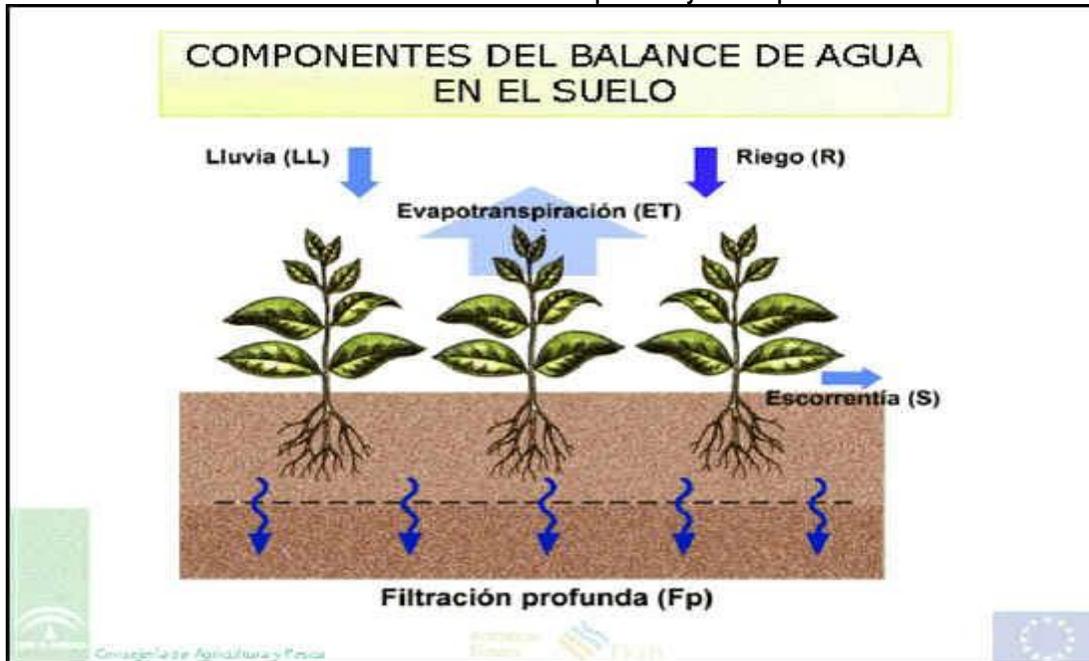
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"

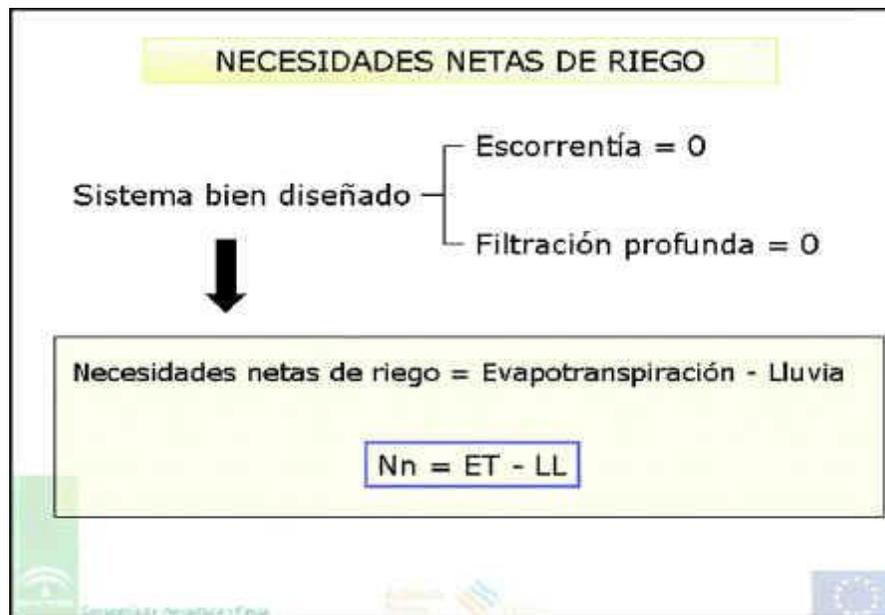


El sistema formado por el suelo y el cultivo tiene unos aportes y unas salidas de agua. Sin tener en cuenta el riego, estas cantidades no son iguales, por lo que el contenido de humedad del suelo irá cambiando, quedando de manifiesto el papel del suelo como almacén de agua.

Las entradas de agua pueden ser debidas a la lluvia (LL) o al riego (R). Por su parte, las salidas de agua se deberán a la evapotranspiración (ETP), la escorrentía (S) y la filtración profunda (Fp).



Se considera un sistema de riego bien diseñado aquel cuya escorrentía y filtración profunda es cero. De esta forma, la cantidad de agua que necesita el cultivo y se ha de aportar con el riego o "Necesidades netas de riego (Nm)" corresponderán con la diferencia entre la cantidad de agua que el conjunto suelo-planta pierde (la evapotranspiración) y el agua que se aporta de forma natural (la lluvia).





UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Esta cantidad de agua, expresada en altura de lámina de agua por metro cuadrado de superficie de suelo, se denomina lámina de agua requerida. Por ejemplo, una lámina de agua requerida de 50 milímetros de agua corresponderá a:

$$50 \text{ milímetros} = 0,05 \text{ metros} = 0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 50 \text{ litros}/\text{m}^2 = 500.000 \text{ litros}/\text{ha} = 500 \text{ m}^3/\text{ha}.$$

Pero no todo el agua que aportamos al suelo es aprovechada por la planta (parte se pierde por escorrentía, filtración profunda. Definimos la "Eficiencia de aplicación del riego" al porcentaje de agua que aprovechan las raíces con respecto del total aplicada. Su valor es diferente para cada método de riego, aspersión, superficie, riego localizado y dentro de cada uno de ellos distinto según cada sistema. A título orientativo exponemos los siguientes valores:

EFICIENCIA DE APLICACIÓN (Ea) ESPERADA CON LOS DISTINTOS MÉTODOS DE RIEGO	
MÉTODO DE RIEGO	EFICIENCIA DE APLICACIÓN (%)
Riego por superficie	55-90
Riego por aspersión	65-90
Riego localizado	75-90

Los valores más altos se producirán con un adecuado diseño y manejo del riego.

En riego localizado los valores más frecuentes se sitúan próximos al 90%.

Por lo tanto conociendo la eficiencia de aplicación se pueden determinar las necesidades brutas (Nb), o sea, la cantidad real de agua que ha de aplicarse durante el



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



riego para satisfacer las necesidades netas de riego.. Se calculan utilizando una fórmula muy simple:

NECESIDADES BRUTAS DE RIEGO (Nb)

$$\text{Necesidades brutas de riego} = \frac{\text{Necesidades netas de riego}}{\text{Eficiencia de aplicación del riego}} \times 100$$
$$Nb = \frac{Nn}{Ea} \times 100$$

EJEMPLO:
Las necesidades brutas de riego a aplicar con un sistema cuya eficiencia de aplicación es del 85%, sabiendo que las necesidades netas son de 50 mm, serán:

$$Nb = \frac{\text{Necesidades netas}}{\text{Eficiencia de aplicación}} \times 100 = \frac{50}{85} \times 100 = 58.9\text{mm}$$

A la lámina de agua que supone la cantidad de agua aportada con las necesidades de riego brutas se llama ***lámina aplicada***.

En el caso en que haya que destinar una cantidad para el lavado de sales, las necesidades de riego brutas se calcularán teniendo en cuenta dicha cantidad. Así, ha de conocerse el valor de las necesidades de lavado y transformarlas en fracción de lavado (simplemente dividiendo por 100).



NECESIDADES BRUTAS DE RIEGO (Nb) Y LAVADO DE SALES

$$\text{Necesidades brutas de riego} = \frac{\text{Necesidades netas de riego}}{\text{Eficiencia de aplicación del riego} \times (1 - \text{Fracción de lavado})} \times 100$$
$$Nb = \frac{Nn}{Ea \times (1 - FL)} \times 100$$

EJEMPLO:
Eficiencia de aplicación = 85%
Necesidades netas = 50 mm
Fracción de lavado = 0.15
Calcular las necesidades brutas

$$Nb = \frac{Nn}{Ea \times (1 - FL)} \times 100 = \frac{50}{85 \times (1 - 0.15)} \times 100 = 69.2 \text{ mm}$$

- 1.- Las estrategias de riego se pueden entender como criterios para decidir el momento de efectuar un riego y la cantidad de agua a aplicar.

ESTRATEGIAS DE RIEGO

Criterios para decidir:

- Momento de realizar los riegos
- Cantidad de agua a aplicar

1. Regar cuando DAS=NAP
2. Regar antes de que DAS=NAP
3. Cantidad fija cuando DAS=Nn
4. Regar cuando llegue el turno

2. Un criterio general es aplicar las necesidades brutas de riego (Nb) cuando el Deficit de Agua en el Suelo (DAS) sea igual al Nivel de Agotamiento Permissible (NAP), teniendo en cuenta estrictamente el balance de agua (agua que se aporta

al sistema suelo-planta menos agua que se extrae del sistema) es la estrategia mas recomendable, ya que así se evitan problemas de extracción de agua y por tanto no habrá repercusiones en la producción final.



- 3 Si el valor comercial del cultivo es muy alto, nos aseguraremos de que las raíces de las plantas no tengan problemas en extraer el agua en ningún momento. Para ello aplicamos las necesidades brutas de riego antes de que el DAS alcance el NAP. Así aumentamos el número de riegos, y dependiendo del método de riego empleado, su coste.
4. En ocasiones es conveniente aplicar una cantidad de agua fija con los riegos, de manera que se aproveche al máximo el sistema de riego. Los sistemas de riego automatizados de riego por aspersión (por ejemplo el pivotante, mas conocido como "pivot") es un claro ejemplo de aplicación de una cantidad fija, que depende de la velocidad a la que se desplace la maquina. En estos casos , el momento de realizar el riego es aquel en el que el Déficit de agua en suelo iguala a las necesidades netas, pero teniendo en cuenta que se aplicarán las necesidades netas.



5. En numerosos sistemas de riego (fundamentalmente en riego por superficie) existen restricciones para elegir el momento del riego ya que están organizados por turnos en los que cada agricultor riega cuando le está permitido. En este caso puede ser que el Déficit del Agua en el suelo supere al nivel de agotamiento permisible. Lo mas usual es que el agricultor procure aplicar el agua correspondiente a las necesidades brutas, es decir cargar el

suelo de agua en previsión de que el turno de agua se pueda retrasar.



En las estrategias anteriores aplicamos necesidades brutas. Aplicar cantidades mayores supone incrementar las pérdidas por filtración profunda o drenaje, mientras que aplicaciones inferiores disminuirían la evapotranspiración que incidiría negativamente en la producción.

Las estrategias de riego son unos criterios generales, que se concretan elaborando un calendario medio de riegos en el que se precisan el momento de riego y la cantidad de agua que se aplica en cada uno de ellos.

Contando con los datos del cultivo, el suelo y el clima, se puede establecer un calendario medio de riegos asumiendo el caso más simple, en el que se supone que la lluvia es nula durante el ciclo del cultivo y que los valores de evapotranspiración de referencia son los de la media de los últimos años. Necesitaremos por tanto contar con los siguientes datos:

- Evapotranspiración de referencia (ETP) de la zona.
- Coeficiente de cultivo (K_c) del cultivo a regar en distintas fases del desarrollo de éste.
- Profundidad radicular media en distintas fases del cultivo.
- Intervalo de humedad disponible en el suelo.
- Nivel de agotamiento permisible para el cultivo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



- Datos diversos del sistema de riego como por ejemplo la eficiencia.

Deberá elegirse una estrategia para determinar el criterio con el cual se calculará el momento de efectuar el riego. Usando parte de los datos anteriormente citados se calculará el déficit de agua en el suelo y el nivel de agotamiento permisible que indicará el momento de riego, mientras que la cantidad de agua a aplicar dependerá del criterio elegido, aunque lo mas frecuente es que se apliquen las necesidades brutas.

Ejemplo: Se desea elaborar un calendario medio de riegos para un cultivo de maíz en la provincia de Huancayo con los siguientes datos:

Localidad: Maíz

Fecha de siembra: Mayo

Eficiencia de aplicación del sistema de riego: 75%

Suelo: Franco con intervalo de humedad disponible de 150 milímetros por metro de profundidad.

Nivel de agotamiento permisible: 0,65

Profundidad media de las raíces: 0,5 m.

Se establece el criterio de regar cuando el déficit de agua en el suelo alcance el nivel de agotamiento permisible y aplicamos las necesidades brutas de riego.

El calendario final de riego es el siguiente:



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"

Calendario Resultante (I)



Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (mm/día)	NAP (mm)	Nb (mm)
01-may	5,8	0,4	2,3	2	0,1	10	0
02-may	5,8	0,4	2,3	5	0,1	10	0
03-may	5,8	0,4	2,3	7	0,1	10	0
04-may	5,8	0,4	2,3	9	0,3	29	0
05-may	5,8	0,4	2,3	12	0,3	29	0
06-may	5,8	0,4	2,3	14	0,3	29	0
07-may	5,9	0,4	2,4	16	0,5	49	0
08-may	5,9	0,4	2,4	19	0,5	49	0
09-may	5,9	0,4	2,4	21	0,5	49	0
10-may	5,9	0,4	2,4	23	0,5	49	0
11-may	6	0,8	4,8	28	0,5	49	0
12-may	6	0,8	4,8	33	0,5	49	0
13-may	6	0,8	4,8	38	0,5	49	0
14-may	6	0,8	4,8	43	0,5	49	0
15-may	6	0,8	4,8	47	0,7	68	0
16-may	6	0,8	4,8	52	0,7	68	0
17-may	6,1	0,8	4,9	57	0,7	68	0
18-may	6,1	0,8	4,9	62	0,7	68	0
19-may	6,1	0,8	4,9	67	0,7	68	0
20-may	6,1	0,8	4,9	72	0,7	68	91

A continuación explicamos como se ha desarrollado.

1. El primer paso es calcular la evapotranspiración diaria (en milímetros por día) usando la ETP y el coeficiente de cultivo Kc.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



PRIMER PASO

→ Cálculo de la evapotranspiración diaria usando los datos de evapotranspiración de referencia y de coeficiente de cultivo

$$ET = ETr \times Kc$$

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
01-may	5,8	0,4	2,3	2	0,1	10	0
02-may	5,8	0,4	2,3	5	0,1	10	0
03-may	5,8	0,4	2,3	7	0,1	10	0

Para el día 2 de Mayo:

$$ET = 5.8 \times 0.4 = 2.3 \text{ mm/día}$$

2. El déficit de agua en el suelo se calcula acumulando la evapotranspiración que se produce cada día. Normalmente no se utilizan decimales y se indica el valor mas próximo en milímetros.

SEGUNDO PASO

→ Cálculo del déficit de agua en el suelo a partir de la evapotranspiración que se produce cada día

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
01-may	5,8	0,4	2,3	2	0,1	10	0
02-may	5,8	0,4	2,3	5	0,1	10	0
03-may	5,8	0,4	2,3	7	0,1	10	0
04-may	5,8	0,4	2,3	9	0,3	29	0

Para el día 4 de Mayo:

Se han acumulado los 7 mm/día del 3 de mayo más los 2.3 mm/día del 4 de mayo

$$7 + 2.3 = 9.3 \approx 9 \text{ mm}$$

Para el día 4 de mayo se han acumulado $2,3 + 2,3 + 2,3 + 2,3 = 9,2$ mm que redondeamos a 9 mm.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



3. Calculamos para cada profundidad radicular, cual es la cantidad de agua en el suelo (en mm de altura) que supone el nivel de agotamiento permisible.

$$0,5 \text{ m (prof raíces)} \times 0,150 \text{ (IHD)} \times 0,65 \text{ (NAP)} = 0,049\text{m.} = 49 \text{ mm}$$

TERCER PASO

→ Cálculo de la cantidad de agua que supone el nivel de agotamiento permisible del suelo para cada profundidad radicular

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
10-may	5,9	0,4	2,4	23	0,5	49	0

Para una profundidad de 0.5 m:

IHD = 0.150
NAP = 0.65 de IHD
Prof. = 0.5 m.

$0.5 \times 0.150 \times 0.65 = 0.049 \text{ m} = 49 \text{ mm.}$

4. Ahora para cada día se comprueba si el déficit de agua en el suelo es mayor o menor que el nivel de agotamiento permisible. En el momento que se supere, será el momento de regar. El día 10 de Mayo DAS = 23 mm Y NAP=49 mm, es decir $DAP < NAP$ por lo que no es necesario regar. El 20 de Mayo es el primer día donde $DAS > NAP$ (DAS= 72 mm y el NAP=68 mm) que nos indica que debemos dar un riego con las necesidades brutas de riego.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



$$Nb = Nn/Ea \times 100 = 68/75 \times 100 = 91 \text{ milímetros}$$

CUARTO PASO

→ Comprobar que cada día el déficit de agua del suelo es menor que el nivel de agotamiento permisible.

→ En caso de que el déficit sea mayor que el nivel de agotamiento permisible, habrá que regar.

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (mm)	NAP (mm)	Nb (mm)
10-may	5,9	0,4	2,4	23	0,5	49	0
20-may	6,1	0,8	4,9	72	0,7	68	91

Día 10 de Mayo:

DAS = 23 mm
NAP = 49 mm

↓

No hay que regar

Día 20 de Mayo:

DAS = 72 mm
NAP = 68 mm

↓

Hay que regar

↓

$Nb = \frac{68}{75} \times 100 = 91 \text{ mm}$

A partir del 20 de mayo el déficit vuelve a ser 0, Comenzamos a calcular el nuevo déficit según la ETP que se produzca cada día. El proceso lo continuamos de la misma manera hasta el final de la campaña. Es decir



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"

Calendario Resultante (I)

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
01-may	5,8	0,4	2,3	2	0,1	10	0
02-may	5,8	0,4	2,3	5	0,1	10	0
03-may	5,8	0,4	2,3	7	0,1	10	0
04-may	5,8	0,4	2,3	9	0,3	29	0
05-may	5,8	0,4	2,3	12	0,3	29	0
06-may	5,8	0,4	2,3	14	0,3	29	0
07-may	5,9	0,4	2,4	16	0,5	49	0
08-may	5,9	0,4	2,4	19	0,5	49	0
09-may	5,9	0,4	2,4	21	0,5	49	0
10-may	5,9	0,4	2,4	23	0,5	49	0
11-may	6	0,8	4,8	28	0,5	49	0
12-may	6	0,8	4,8	33	0,5	49	0
13-may	6	0,8	4,8	38	0,5	49	0
14-may	6	0,8	4,8	43	0,5	49	0
15-may	6	0,8	4,8	47	0,7	68	0
16-may	6	0,8	4,8	52	0,7	68	0
17-may	6,1	0,8	4,9	57	0,7	68	0
18-may	6,1	0,8	4,9	62	0,7	68	0
19-may	6,1	0,8	4,9	67	0,7	68	0
20-may	6,1	0,8	4,9	72	0,7	68	91
Riego							Riego

Calendario Resultante (II)

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
21-may	6,1	0,8	4,9	5	0,7	68	0
22-may	6,1	0,8	4,9	10	0,7	68	0
23-may	6,1	0,8	4,9	15	0,7	68	0
24-may	6,2	0,8	5,0	20	0,7	68	0
25-may	6,2	0,8	5,0	25	0,7	68	0
26-may	6,2	0,8	5,0	30	1	98	0
27-may	6,2	0,8	5,0	34	1	98	0
28-may	6,2	0,8	5,0	39	1	98	0
29-may	6,2	1,15	7,1	47	1	98	0
30-may	6,2	1,15	7,1	54	1	98	0
31-may	6,3	1,15	7,2	61	1	98	0
01-jun	6,3	1,15	7,2	68	1	98	0
02-jun	6,3	1,15	7,2	75	1	98	0
03-jun	6,4	1,15	7,4	83	1	98	0
04-jun	6,4	1,15	7,4	90	1	98	0
05-jun	6,4	1,15	7,4	98	1	98	131
Riego							Riego



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"



Calendario Resultante (III)

Fecha	ET _r (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	P _r (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
06-jun	6,4	1,15	7,4	7	1	98	0
07-jun	6,4	1,15	7,4	15	1	98	0
08-jun	6,5	1,15	7,5	22	1	98	0
09-jun	6,5	1,15	7,5	30	1	98	0
10-jun	6,5	1,15	7,5	37	1	98	0
11-jun	6,5	1,15	7,5	45	1	98	0
12-jun	6,5	1,15	7,5	52	1	98	0
13-jun	6,5	1,15	7,5	60	1	98	0
14-jun	6,5	1,15	7,5	67	1	98	0
15-jun	6,6	1,15	7,6	75	1	98	0
16-jun	6,6	1,15	7,6	82	1	98	0
17-jun	6,6	1,15	7,6	90	1	98	0
18-jun	6,6	1,15	7,6	97	1	98	0
19-jun Riego	6,7	1,15	7,7	105	1	98	131 Riego

Calendario Resultante (IV)

Fecha	ET _r (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	P _r (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
20-jun	6,7	1,15	7,7	8	1	98	0
21-jun	6,7	1,15	7,7	15	1	98	0
22-jun	6,7	1,15	7,7	23	1,2	117	0
23-jun	6,7	1,15	7,7	31	1,2	117	0
24-jun	6,7	1,15	7,7	39	1,2	117	0
25-jun	6,8	1,15	7,8	46	1,2	117	0
26-jun	6,8	1,15	7,8	54	1,2	117	0
27-jun	6,8	1,15	7,8	62	1,2	117	0
28-jun	6,8	1,15	7,8	70	1,2	117	0
29-jun	6,8	1,15	7,8	78	1,2	117	0
30-jun	6,8	1,15	7,8	85	1,2	117	0
01-jul	6,8	1,15	7,8	93	1,2	117	0
02-jul	6,8	1,15	7,8	101	1,2	117	0
03-jul	6,8	1,15	7,8	109	1,2	117	0
04-jul Riego	6,7	1,15	7,7	117	1,2	117	156 Riego



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

"Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático"

Calendario Resultante (V)



Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (mm/día)	NAP (mm)	Nb (mm)
05-jul	6,7	1,15	7,7	8	1,2	117	0
06-jul	6,7	1,15	7,7	15	1,2	117	0
07-jul	6,7	1,15	7,7	23	1,2	117	0
08-jul	6,6	1,15	7,6	31	1,2	117	0
09-jul	6,6	1,15	7,6	38	1,2	117	0
10-jul	6,6	1,15	7,6	46	1,2	117	0
11-jul	6,6	1,15	7,6	53	1,2	117	0
12-jul	6,6	1,15	7,6	61	1,2	117	0
13-jul	6,6	1,15	7,6	69	1,2	117	0
14-jul	6,5	1,15	7,5	76	1,2	117	0

Se denomina ***programación en tiempo real*** al que utiliza datos en tiempo real, es decir medidos diariamente o en fechas cercanas al momento actual. Llamamos calendario medio al que se elabora teniendo en cuenta valores medios de varios años.

En realidad es muy difícil encontrar valores de ETPr diarios, por lo que la programación en tiempo real no suele utilizarse. A este respecto, los Servicios de Asesoramiento al Regante, como entidades de apoyo que prestan orientación y recomendaciones en materia de riegos, son una ayuda valiosa para hacer un uso eficiente del agua.

En los climas mediterráneos las lluvias se producen en otoño, primavera y ocasionalmente tormentas de verano. En esta situación se mantienen las fechas de riego obtenidas con un calendario medio de riego, y restamos el agua de lluvia que ha caído desde el último riego a la cantidad de agua a aplicar al riego siguiente.

En estas zonas también es una opción bastante recomendable no regar hasta alcanzar el contenido de humedad correspondiente al límite superior (que es lo mas común), sino dejar parte del almacenamiento del suelo sin rellenar para aprovechar el agua de lluvia durante los días posteriores al riego.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



APÉNDICE I - REFERENCIA

23. ASCE Technical Committee on Irrigation Water Requirements of de Irrigation and DrDrainage Division, “Consumptive Use of Water and Irrigation Water requeriments” American Society of Civil Engineers, 1973, 215 p.
24. Christiansen, Jerald E. “Plan Evaporation and Evapotranspiration from climatic data” “Journal of the Irrigation and Drainage Division. Proc. ASCE 94 IR 2, 1968, pp 243-265.
25. Christiansen, Jerald E. “Effect of Agricultural Use on water Quality for Downstream Use for Irrigation, “Proceedings American Society of civil Engineers, Irrigation and Drainage Specialty Conference, Fort Collins, Colorado, April 22-24, 1973, pp 753-785 and recent modification by the author.
26. Christiansen, Jerald E., and G. H. Hargreaves , Irrigation Requeriments from Evaporation, “Question 23, Seventh Congress, International Commission on Irrigation and Drainage, Mexico, 1969, pp 23;: 569 23:596.
27. Downey, L.A., “Waterryield redation for Nonforege Crops”, Journal of the Irrigation and Drainage Divison. Proc. ASCE 98 IR 1, 1972, pp. 107-115
28. Food and Agricultural organization of the United Nations (FAO), “Crop water Requeriment”, Irrigation and Drainage paper 24, 1975, Rome 179 p.
29. Griffin, Richard E., and Goerge H. Hargreaves, “Siimplified Scheduling of Supplemental Irrigation”, Contribution of Irrigation and Drainage to world food Supply, Irrigation and Drainage Speciality Conference, Amer. Soc Civil Engemmers Biloxi, Mississippi, 1974, pp. 218-243
30. Hargreaves, george H; estimation of potential and Crop Evaporation, transactions of the ASAE (vol. 17 N° 24), 1974 pp 701-704



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”



31. Hargreaves, George H. “Precipitation dependability and Potential for Agricultural Production in Northeast Brazil”, EMBRAPA (Empresa Brasileira de perquisa Agropecuaria) and Utha State University (74-d155) 123 p.
32. Hargreaves, George H. and J.E. Christiansen “production as a Fuction of Mois –ture Availability, “ITCC Review Vol III N° 1(9) Association of Engineers and Architects in Israel, 1974, pp. 179-189.
33. Hargreaves, george H. “The evaluation of Water deficiencias “Age of Changing Priorities for lan and Water, Irrigation and Dainage Especiality Conference, Amer. Soc. Civil Engineers. Spokane, Wasington, 1972 pp. 273-290.
34. Israelsen, Orson O. And vaughn E. Hansen, “Irrigation Principles and practices, “Third Edition, John Wiley and Sons, 1962 447 p.
35. Japan Meteorological Agency, Tokyo, “Climatic Table for de world”, 1967, p. 113
36. Loff, George O. G, John A. Duffie and Clayton O. Smith, “World Distribution of solar Radiation, “Solar Energy Laboratory” College of Engineering Experiment Station, Report N° 21, 1966, 59 p. plus maps.
37. Mirnezami, Hossein, the Relationship Bet-ween the Climate and Dry Franed wheat Iran. M. S. Thesis, Utah State University 1972, 188 p.
38. Pruitt, W. O. “Empirical Method of Estimating Evapotranspiration Using Primarily Evaporation Pans, “Evapotranspiration and Its Role in water Management, ASAE Conference Proceedings, 1966.
39. Richard L. A., etal “Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Solis” Handbook 60 U.S. Department of Agriculture U.S. Salinity laboratory, 1954, 160 p.
40. Stewart J. I. R. D. Misra, W. O. Pruitt and R.M. Hagan, “Irrigation conrn and Grain Sorghum with Limited water, “Department of water Science and Engineering, University of California, Davis, California (paper presented at the Annual Meeting of ASAE Stillwater, Oklahoma), 1974, 32 p.
41. U.S.D.A. Enconomic Research Service and U.S. Dept. of Commerce, Environmetal Science Services Administration. “Montholy Precipitation Probabilites by Climatic



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA

“Año de la Promoción Industrial responsable y del compromiso Climático”

Divisions, 23 Eastern States From the Great Lakes to the Gulf Coast, “Miscellaneous Publication N° 1160, 1969, 141 p.

42. Wenstedt, Frederick L. “World Climatic Data” Climatic Data Press, Lemont, Pennsylvania, 1972, 552 p.
43. Wolf James M. Soil water Relations in Oxisols of Puerto Rico and Brazil, Cornell University, Unpublished, 1973, 17 p.
44. World Meteorological Organization, “Climatic Normals (CLINO) for Climat and Climat Ship Station for the Period 1931 – 1960 WMO/OMM N° 117 T.P. 52, 1971

