



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

MANUAL TÉCNICO:

“TECNICAS Y USO RACIONAL DEL AGUA DE RIEGO EN LA SIERRA”

ESTE MANUAL HA SIDO PREPARADO POR:

Ing. JESÚS ANTONIO JAIME PIÑAS



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.



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 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 evotranspiración 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).

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 significativo. 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 permite 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 cal/cm²/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:

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

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.

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

El valor real de radiación puede ser medido directamente. Sin embargo muchos radiómetros están pobremente calibrados y en muchas áreas los mapas de radiación se basan en un número insuficiente de datos. Los valores de radiación obtenidos, son en muchos casos más 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:

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

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 en casos extremos puede ser hasta 0.065.

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:

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



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.



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

Para un tanque localizado en una faja larga de tierra seca o área no cultivada, el valor estándar 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:

$$CW = 1.15 - 0.0005 W \quad (9 \text{ a})$$

$$CHM = 0.80 + 0.0033 HM \quad (9 \text{ b})$$

$$CF = 0.76 + 0.1 \times F^{1/6} \quad (9 \text{ c})$$

$$CD = 0.76 - 0.1 \times D^{1/6} \quad (9 \text{ d})$$

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 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 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 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.

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 más 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 | | | | | | |



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.

El comité de requerimientos de riego de la ASCE (1) da coeficientes para una gran variedad de cultivos. Los datos más completos 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



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 substraída en la solución del suelo, el remanente es la salinidad efectiva, ES. Las sales solubles remanentes son aquellas que pueden crear una concentración de salidad 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.

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 Nitro 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 más 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, SRL 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 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 sale 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.

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 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.

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 Nitro 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, SLR como porcentaje de agua requerida puede ser expresado por la ecuación.



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

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:

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

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.

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 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 óxicas, 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. 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 radiculares 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.

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 tasa 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.

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 Meteorológica (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 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 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 adecuancia 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 Hawai, 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



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.

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 adecuancias 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 Hawai 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



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

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 de la adecuancia 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.

| | | |
|-------|-------------|--------------------------|
| 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>Criterio</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 meces con | Arido | Adecualidad limitada para |



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

| | | |
|--|-------------|--|
| MAI de 0.34 a más. | | 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 de adecuancia de humedad durante cinco o más meses. |

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 Africa. 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 Metereológica (22) para probabilidades de precipitación.

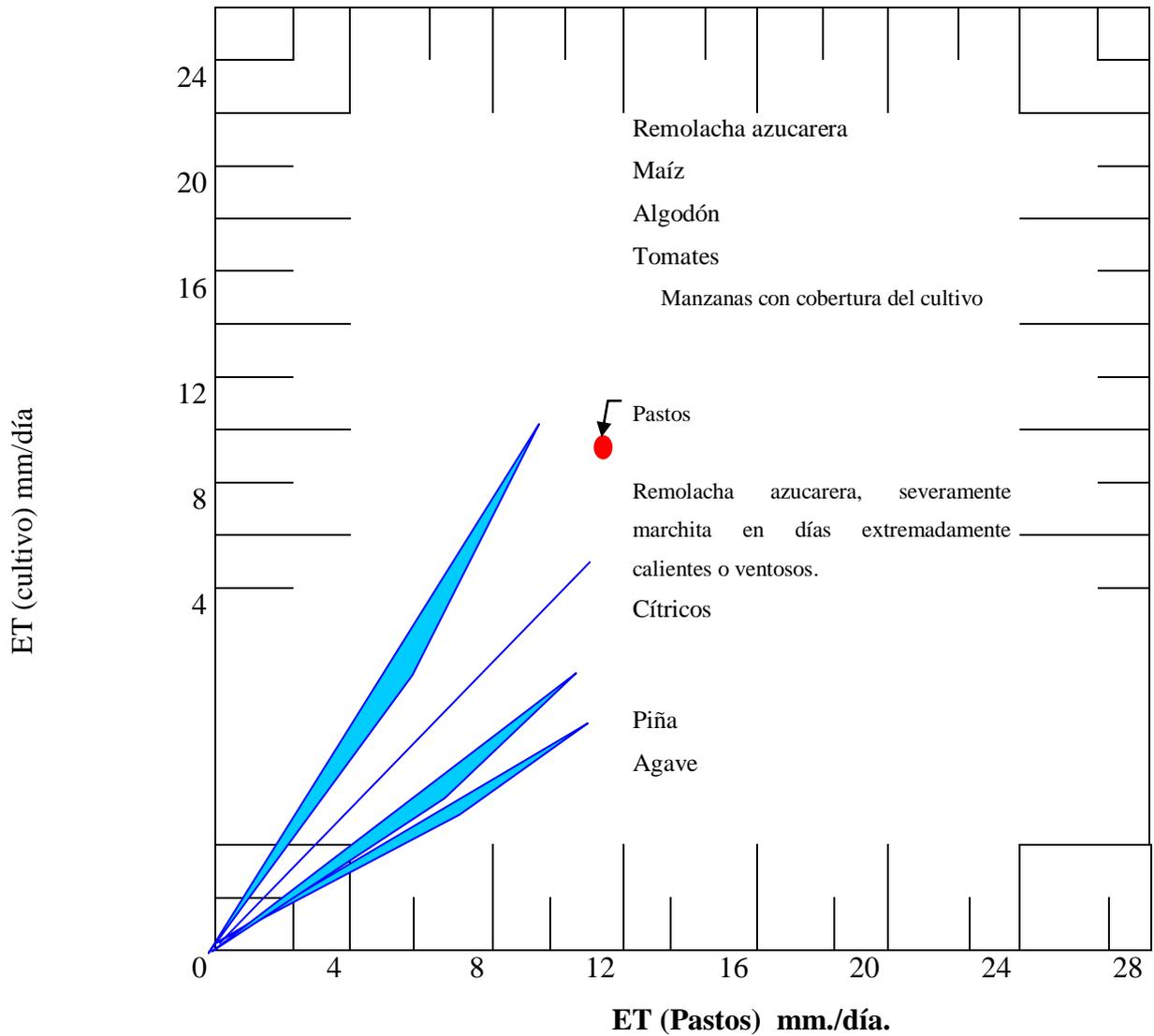


Figura 1.- Magnitudes de ET (cultivo) comparados con ET (pastos).

Fuente: FAO R y D Boletín N° 24

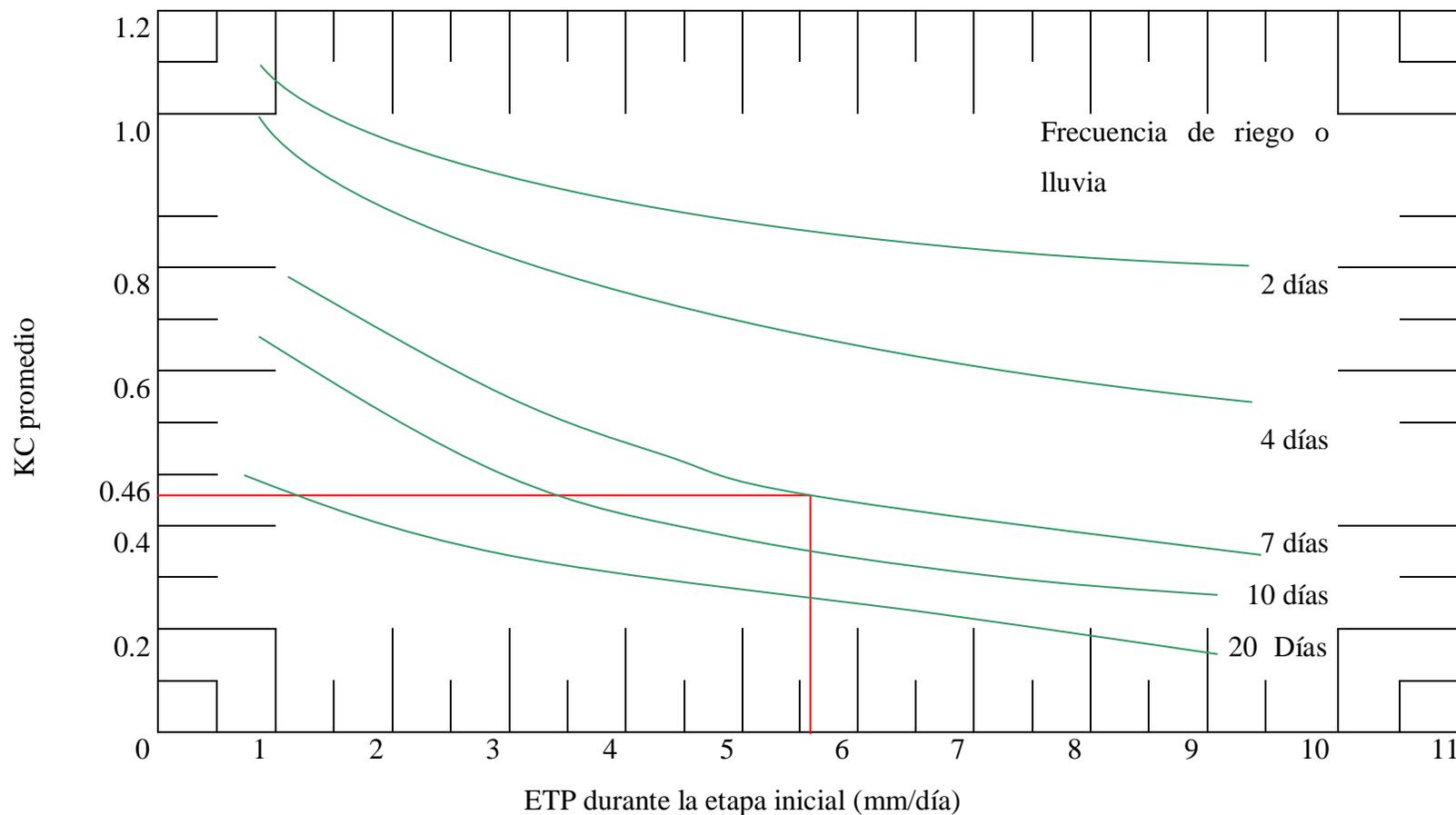


Fig. 2.- KC Promedio para la Etapa Inicial como una función del nivel de ETP/frecuencia de riego

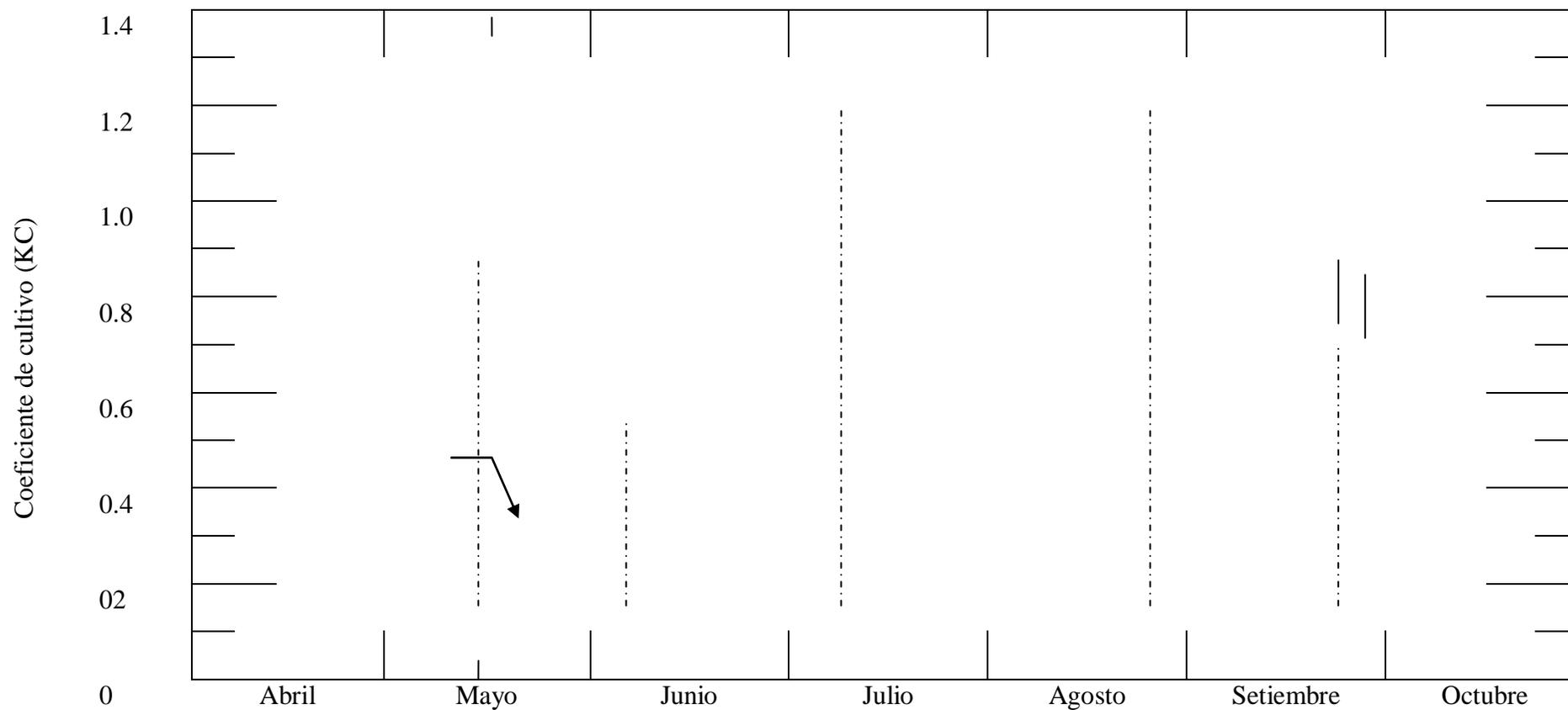


Figura 3.- Ejemplo de una curva de coeficiente de cultivo (para maíz).

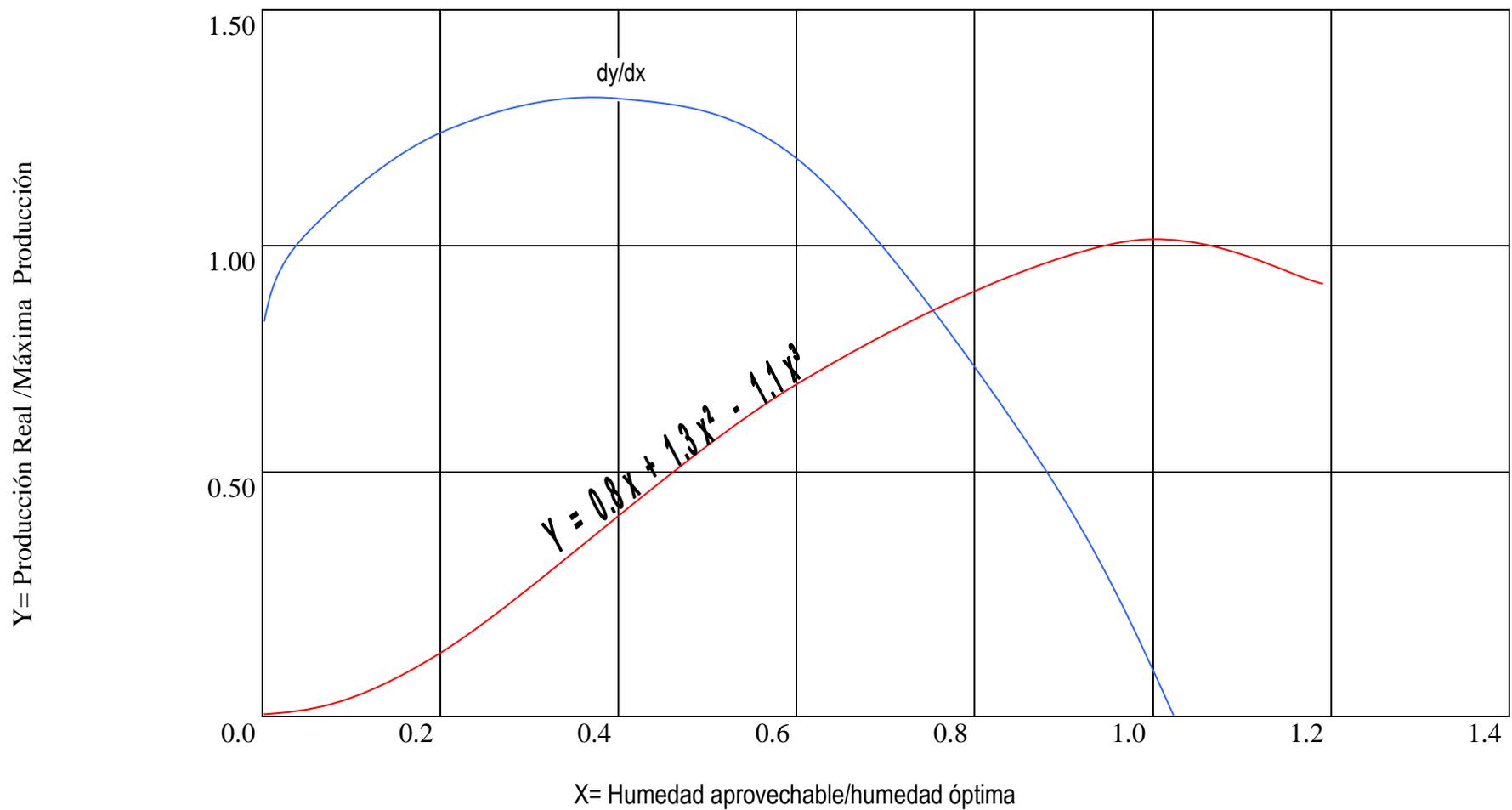


Figura 4.- Función de Adecuancia de Humedad y Producción.



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

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

| Lat. Norte | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio |
|------------|-------|---------|-----------|---------|-----------|-----------|
| Lat. Sur | Julio | Agosto | Setiembre | Octubre | Noviembre | 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)



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

| Lat. Norte | Julio | Agosto | Setiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|------------|-------|---------|-----------|---------|-----------|-----------|
| Lat. Sur | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | 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)

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 |



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

| | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 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 Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

| 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 |



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

| | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 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)

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 Azúcar | 0.12 | 0.16 | 0.24 | 0.36 | 0.48 | 0.64 | 0.78 | 0.91 | 1.02 | 1.09 |
| 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 |



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 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 Azúcar | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.08 |
| 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.

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 olaginoseas 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 |



Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica

| | | |
|----------------|------|------|
| 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.

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 |



Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica

| | | |
|---------------------|----------|--------|
| Cebolla | 350-600 | 25-40 |
| Dátiles | 900-1300 | 85-110 |
| Fríjol | 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.



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 |



Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica

| | | |
|---------------------|------|-----------|
| 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.

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% |



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

| | | |
|------------|-----------|--------|
| 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.



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 | |
| Viento (Km) | Distancia | | | | Distancia | | | |
| | a de la cubierta verde (m) | | | | 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 | 0.86 | 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 | 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 | 0.75 | 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 | 0.86 | 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.



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 |
| Quinoa | 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 |



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

| | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 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.

| 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 |



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

| | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 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 |
| 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. |



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

| | |
|-----------------|--|
| 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) |
| 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 | Etapa de floración y fructificación y posible periodos de máximo crecimiento vegetativo. |
| Tabaco | Altura de la rodilla hasta floración |



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

| | |
|--------|--|
| 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 the Irrigation and Drainage Division, “Consumptive Use of Water and Irrigation Water requirements” 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 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 Requirements from Evaporation, “Question 23, Seventh Congress, International Commission on Irrigation and Drainage, Mexico, 1969, pp 23: 569 23:596.
5. Downey, L.A., “Water yield reduction for Nonforege Crops”, Journal of the Irrigation and Drainage Division. Proc. ASCE 98 IR 1, 1972, pp. 107-115
6. Food and Agricultural organization of the United Nations (FAO), “Crop water Requirement”, Irrigation and Drainage paper 24, 1975, Rome 179 p.
7. Griffin, Richard E., and George H. Hargreaves, “Simplified 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 pesquisa Agropecuaria) and Utha State University (74-d155) 123 p.



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

10. Hargreaves, George H. and J.E. Christiansen “production as a Function of Moisture 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 Land and Water, Irrigation and Drainage Speciality Conference, Amer. Soc. Civil Engineers. Spokane, Washington, 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 the world”, 1967, p. 113
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 Between the Climate and Dry Fanned 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., et al “Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils” 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 corn 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. Economic Research Service and U.S. Dept. of Commerce, Environmental Science Services Administration. “Monthly Precipitation Probabilities by Climatic Divisions, 23 Eastern States From the Great Lakes to the Gulf Coast, “Miscellaneous Publication 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, Cornell University, Unpublished, 1973, 17 p.



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

22. 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



INDICE

| | Pagina |
|---------------------------------------|--------|
| 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

| | Pagina |
|---|--------|
| 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 | |



LISTA DE TABLAS

| | Pagina |
|---|--------|
| 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 | |



APÉNDICE AH
CONVERSION PARA UNIDADES SI y NON – SI

| Para convertir la columna 1 en la columna 2, Multiplique por | Columna 1 Unidad SI | Columna 2 Unidad Non-SI | Para convertir columna 2 en la Columna 1, Multiplique por |
|---|---------------------------|-------------------------------|---|
|---|---------------------------|-------------------------------|---|

LINEALES

| | |
|---|-------------------------|
| 0.621 ----- kilómetro, km (10^3 m) | milla, mi ----- 1.609 |
| 1.094 ----- metro, m | yarda, yd ----- 0.914 |
| 3.28 ----- metro, m | pie ----- 0.304 |
| 3.94×10^{-2} --- milímetro, mm (10^{-3}) | pulgada, pul ----- 25.4 |

CUADRADAS

| | |
|---|--|
| 2.47 ----- hectárea, ha | acre ----- 0.405 |
| 2.47 ----- kilómetro cuadrado, km ² | acre ----- 4.05×10^{-3} |
| 0.386 ----- kilómetro cuadrado, km ² | milla cuadrada, mi ² ----- 2.590 |
| 2.47×10^{-4} ---- metro cuadrado, m ² | acre ----- 4.05×10^{-3} |
| 10.76 ----- metro cuadrado, m ² | pie cuadrado, pie ² ----- 9.29×10^{-2} |
| 1.55×10^{-3} ---- mm ² | pulgada cuadrada, pul ² ----- 645 |

CUBICAS

| | |
|---|--|
| 9.73×10^{-3} ---- metro cúbico, m ³ | acre-pulgada ----- 102.8 |
| 35.3 ----- metro cúbico, m ³ | pie-cúbico, pie ³ ----- 2.83×10^{-2} |
| 6.10×10^4 ---- metro cúbico, m ³ | pulgada cúbica, pul ³ ----- 1.64×10^{-5} |
| 2.84×10^{-2} --- litro, L (10^{-3} m ³) | fanega (bichel), bu ----- 35.24 |
| 1.057 ----- litro, L | cuartillo líquido, qt ----- 0.946 |
| 3.53×10^{-2} ---- litro, L | pie cúbico, pie ³ ----- 28.3 |
| 0.265 ----- litro, L | galón ----- 3.78 |
| 33.78 ----- litro, L | onza fluída, oz ----- 2.96×10^{-2} |
| 2.11 ----- litro, L | pinta fluída, pt ----- 0.473 |

PESO

| | |
|--|-----------------------|
| 2.20×10^{-3} --- gramo, g (10^{-3} kg) | libra, lb ----- 454 |
| 3.52×10^{-2} --- gramo, g (10^{-3} kg) | onza, oz ----- 28.4 |
| 2.205 ----- kilogramo, kg | libra, lb ----- 0.454 |



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

| | | | |
|-----------------------------|---------------------|---------------------------------|-------|
| 10 ⁻² ----- | kilogramo, kg | quintal (métrico), q ----- | 100 |
| 1.10 x 10 ⁻³ --- | kilogramo, kg | toneladas (2000 lbs), ton ----- | 907 |
| 1.102 ----- | mega gramo, mg | toneladas (US), ton ----- | 0.907 |
| 1.102 ----- | tonelada métrica, t | toneladas (US), ton ----- | 0.907 |

| | | | |
|---|---------------------------|-------------------------------|---|
| Para convertir la columna 1 en la columna 2, multiplique por | Columna 1 Unidad SI | Columna 2 Unidad Non-SI | Para convertir columna 2 en la Columna 1, multiplique por |
|---|---------------------------|-------------------------------|---|

RENDIMIENTO Y RAZON

| | | | |
|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 0.893 ----- | kilogramo por hectárea | libra por acre ----- | 1.12 |
| 7.77 x 10 ⁻² ----- | kilogramo por metro cúbico | libra por fanega ----- | 12.87 |
| 1.49 x 10 ⁻² ----- | kilogramo por hectárea | fanega por acre, 60 lb ----- | 67.19 |
| 1.59 x 10 ⁻² ----- | kilogramo por hectárea | fanega por acre, 56 lb ----- | 62.71 |
| 1.86 x 10 ⁻² ----- | kilogramo por hectárea | fanega por acre, 48 lb ----- | 53.75 |
| 0.107 ----- | litro por hectárea | galón por acre ----- | 9.35 |
| 893 ----- | tonelada por hectárea | libra por acre ----- | 1.12 x 10 ⁻³ |
| 893 ----- | megagramo por hectárea | libra por acre ----- | 1.12 x 10 ⁻³ |
| 0.446 -- ----- | tonelada por hectárea | tonelada (2000 lb) por acre | 2.24 |
| 2.24 ----- | metro por segundo | milla por hora ----- | 0.447 |

SUPERFICIE ESPECÍFICA

| | | | |
|-----------------------|---------------------------------|--|------------------|
| 10 ----- | metro cuadrado por kilogramo | centímetro cuadrado por gramo ----- | 0.1 |
| 10 ³ ----- | metro cuadrado por kilogramo | milímetro cuadrado por gramo ----- | 10 ⁻³ |

PRESION

| | | | |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| 9.90 ----- | megapascal, MPa | atmósfera ----- | 0.101 |
| 10 ----- | megapascal | bar ----- | 0.1 |
| 1.0 ----- | megagramo por metro cúbico | gramo por centímetro cúbico ----- | 1.00 |
| 2.09 x 10 ⁻² ---- | pascal, Pa | libra por pie cuadrado --- | 47.9 |
| 1.45 x 10 ⁻⁴ ---- | pascal, Pa | libra por pulgada cuadrada | 6.90 x 10 ³ |

TEMPERATURA

| | | |
|--------------------------------|-----------------------|----------------|
| 1.00 (K-273) - Kelvin, K | centígrado, °C ----- | 1.00 (C+273) |
| (1.8 C + 32) -- centígrado, °C | Fahrenheit, ° F ----- | (F – 32) / 1.8 |

ENERGIA

| | | | |
|------------------------------|----------|--------------------|------------------------|
| 9.52 x 10 ⁻⁴ ---- | Julio, J | BTU ----- | 1.05 x 10 ³ |
| 0.239 ----- | Julio, J | caloría, cal ----- | 4.19 |
| 0.735 ----- | Julio, J | pie – libra ----- | 1.36 |



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

| | |
|---|--|
| 2.387 x 10 ⁵ --- Julio por metro cuadrado | caloría por centímetro cuadrado ----- 4.19 x 10 ⁴ |
| 10 ⁵ ----- Newton, N | dinas ----- 10 ⁻⁵ |
| 1.43 x 10 ⁻³ ---- vatio por metro cuadrado | centímetro cuadrado |
| | minuto ----- 698 |

| | | | |
|--|---------------------------|-------------------------------|---|
| Para convertir la columna 1 en la columna 2, multiplique por | Columna 1 Unidad SI | Columna 2 Unidad Non-SI | Para convertir columna 2 en la Columna 1, multiplique por |
|--|---------------------------|-------------------------------|---|

REQUISITOS DE AGUA

| | |
|--|--|
| 9.73 x 10 ⁻³ ---- metro cúbico | acre pulgada ----- 102.8 |
| 9.81 x 10 ⁻³ ---- metro cúbico por hora | pie cúbico por segundo ----- 101.9 |
| 4.40 ----- metro cúbico por hora | galón (US) por minuto ----- 0.227 |
| 8.11 ----- hectárea-metro | acre-pie ----- 0.123 |
| 97.28 ----- hectárea-metro | acre-pulgada ----- 1.03 x 10 ⁻² |
| 8.1 x 10 ⁻² ---- hectárea centímetro | acre-pie ----- 12.33 |

CONCENTRACION

| | |
|---------------------------------|---|
| 1 ----- centinol por kilogramo | miliequivalentes por 100 gramos ----- 1 |
| 0.1 ----- gramo por kilogramo | porciento ----- 10 |
| 1 ----- miligramo por kilogramo | partes por millón ----- 1 |

NUTRIMENTOS PARA PLANTAS

| | |
|---------------|---|
| 2.29 ----- P | P ₂ O ₅ ----- 0.437 |
| 1.20 ----- K | K ₂ O ----- 0.830 |
| 1.39 ----- Ca | CaO ----- 0.715 |
| 1.66 ----- Mg | MgO ----- 0.602 |



UNIDADES EQUIVALENTES

a. Lineales

1 pie = 12 pulgadas = 30.48 centímetros = 0.30 metros
1 pulgada = 2.54 centímetros = 25.4 milímetros
1 yarda = 3 pies = 91 centímetros = 0.91 metros
1 milla = 5,280 pies = 1,760 yardas = 1.61 kilómetros
1 metro = 100 centímetros = 1,000 milímetros = 3.281 pies = 39.37 pulgadas
1 cadena = 66 pies = 4 varas

b. Cuadrados

1 milla cuadrada = 640 acres
1 acre = 43,560 pies cuadrados = 4,047 metros cuadrados
1 cuerda = 42,306 pies cuadrados = 3,391.78 metros cuadrados = 0.9217 acre
1 pie cuadrado = 144 pulgadas cuadradas = 929.03 centímetros cuadrados
1 pulgada cuadrada = 6.45 centímetros cuadrados
1 hectárea = 2.471 acres
1 metro cuadrado = 10.76 pies cuadrados = 1,550 pulgadas cuadradas
1 centímetro cuadrado = 0.155 pulgadas cuadradas

c. Volumen (cúbicos)

1 galón (US) = 4 cuartillos = 3.785 litros = 8 pintas = 128 onzas fluídas
1 cuartillo = 2 pintas = 0.946 litros = 32 onzas fluídas = 926 mililitros
1 pinta = 16 onzas fluídas = 2 tazas = 32 cucharadas = 473 mililitros = 473 cc
1 taza = 8 onzas fluídas = ½ pinta = 16 cucharadas = 48 cucharaditas
1 onza fluída = 2 cucharadas = 6 cucharaditas = 29.57 mililitros
1 onza = 2 cucharadas
1 cucharada = 3 cucharaditas = 15 mililitros
1 cucharadita = 0.17 onzas fluídas = 60 gotas = 5 mililitros
1 litro = 1,000 mililitros = 2.133 pintas = 0.2645 galones
1 mililitro = 1 centímetro cúbico = 0.0338 onzas fluídas
1 pie cúbico = 7.48 galones = 28.32 litros
1 pie cúbico de agua = 62.43 libras
1 pie cúbico de suelo = 68 a 112 libras
1 galón americano = 231 pies cúbicos
1 acre-pie de agua = 2,720,000 libras = 325,733 galones
1 acre-pie de suelo = 4,000,000 libras
1 acre-pie = 1233.5 metros cúbicos
1 millón galones = 3.07 acre-pie



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

1 mm por día = 0.116 litros por hectárea-segundo = 10 m^3 /ha-día
1 litro por hectárea-segundo = 8.64 mm/ día = 86.4 m^3 /ha-día
1 pulgada de agua = 27,144.4 galones

d. Peso

1 libra = 16 onzas = 453.6 gramos
1 onza = 28.35 gramos
1 kilogramo = 1,000 gramos = 2.207 libras
1 gramo = 1,000 miligramos = 0.03527
1 tonelada = 2,000 libras = 0.97 tonelada métrica

e. Presión

1 atm = 76 centímetros de mercurio = 1.013 bares
= 1.033 kilogramos por centímetros cuadrados
1 pulgada mercurio = 0.0334 atmo
1 pulgada de agua = 2.49 milibares
1 milibar = 0.75 milímetro de mercurio
1 libra por pulgada cuadrada = 51.72 milímetro de mercurio = 6.900 pascales
1 bar = 1,000,000 dinas-cm = 1.023 cm de una columna de agua

f. Radiación

1 cal/cm² = 1/59 mm
1 cal/cm² · min = 1 mm/hr
1 mW/cm² = 1/70 mm/hr
1 mW/cm² (24 hr) = 0.344 mm/día
1 cal/cm² · min (24 hr) = 24 mm/día
1 J/cm² · min (24 hr) = 5.73 mm/día

g. Velocidad

1 pie/seg = 0.305 m/seg = 1.095 km/hr
1 pie/min = 0.51 cm/seg = 0.018 km/hr
1 milla/min = 2682 cm/seg = 1.61 km/min
1 m/seg (24 hr) = 86.4 km/día
1 pie/seg (24 hr) = 26.33 km/día
1 milla/hr (24 hr) = 38.6 km/día

h. Otros

Conductividad a miliequivalentes por litro:

m.e./l. = $10 \times \text{CE} \times 103$ para aguas de riego y extractores de suelos dentro del margen de 0.1 a 5.0 mmho/cm

Conductividad a presión osmótica en atmósferas:

PO = $0.36 \times \text{CE} \times 10^3$ para extractos de suelos de un margen entre 3 y 30 mmho/cm

Conductividad a partes por millón:

p.p.m. = $0.64 \times \text{CE} \times 10^6$ para agua de riego en el margen entre 100 y 5,000



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

mmho/cm

Granos por galón a partes por millón:

p.p.m. = 17.1 x granos por gal.

Galones por min. a pies cúbicos por seg. = 0.002228 x (gal. / min.)

Miliequivalentes por litro a partes por millón:

Multiplique m.e./l. de cada ión por su peso equivalente y sume los productos.

Partes de sal por millón de partes de agua de riego a toneladas de sal por acre pie de agua:

Ton. por acrepie = 0.00136 x p.p.m.

Peso equivalente de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) = 86.09 gm.

Una solución saturada de yeso a 25° C contiene:

30.5 m.e./l; 2.63 gm/l; 2,630 p.p.m.; 3.5 tons de yeso por acre pie de agua.

Un m.e. de yeso por 100 gm. de suelo corresponde a 1.72 ton de yeso por acrepie de suelo (4 millones de libras). Ton de yeso por acrepie de suelo = 1.72 x (m.e. de yeso por 100 gm. de suelo). $\text{CE} \times 10^3 = 2.205$ a 25° C.

i. Temperatura

Centígrado (°C) a Fahrenheit (°F)

$$^{\circ}\text{F} = [1.8 \times ^{\circ}\text{C} + 32]$$

| °C | °F | °C | °F | °C | °F | °C | °F |
|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|
| 0 | 032.0 | 25 | 077.0 | 50 | 122.0 | 75 | 167.0 |
| 1 | 033.8 | 26 | 078.8 | 51 | 123.8 | 76 | 168.8 |
| 2 | 035.6 | 27 | 080.6 | 52 | 125.6 | 77 | 170.6 |
| 3 | 037.4 | 28 | 082.4 | 53 | 127.4 | 78 | 172.4 |
| 4 | 039.2 | 29 | 084.2 | 54 | 129.2 | 79 | 174.2 |
| 5 | 041.0 | 30 | 086.0 | 55 | 131.0 | 80 | 176.0 |
| 6 | 042.8 | 31 | 087.8 | 56 | 132.8 | 81 | 177.8 |
| 7 | 044.6 | 32 | 089.6 | 57 | 134.6 | 82 | 179.6 |
| 8 | 046.4 | 33 | 091.4 | 58 | 136.4 | 83 | 181.4 |
| 9 | 048.2 | 34 | 093.2 | 59 | 138.2 | 84 | 183.2 |
| 10 | 050.0 | 35 | 095.0 | 60 | 140.0 | 85 | 185.0 |
| 11 | 051.8 | 36 | 096.8 | 61 | 141.8 | 86 | 186.8 |
| 12 | 053.6 | 37 | 098.6 | 62 | 143.6 | 87 | 188.6 |
| 13 | 055.4 | 38 | 100.4 | 63 | 145.4 | 88 | 190.4 |
| 14 | 057.2 | 39 | 102.2 | 64 | 147.2 | 89 | 192.2 |
| 15 | 059.0 | 40 | 104.0 | 65 | 149.0 | 90 | 194.0 |
| 16 | 060.8 | 41 | 105.8 | 66 | 150.8 | 91 | 195.8 |
| 17 | 062.6 | 42 | 107.6 | 67 | 152.6 | 92 | 197.6 |
| 18 | 064.4 | 43 | 109.4 | 68 | 154.4 | 93 | 199.4 |
| 19 | 066.2 | 44 | 111.2 | 69 | 156.2 | 94 | 201.2 |
| 20 | 068.0 | 45 | 113.0 | 70 | 158.0 | 95 | 203.0 |
| 21 | 069.8 | 46 | 114.8 | 71 | 159.8 | 96 | 204.8 |
| 22 | 071.6 | 47 | 116.6 | 72 | 161.6 | 97 | 206.6 |
| 23 | 073.4 | 48 | 118.4 | 73 | 163.4 | 98 | 208.4 |



**Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica**

| | | | | | | | |
|----|-------|----|-------|----|-------|-----|-------|
| 24 | 075.2 | 49 | 120.2 | 74 | 165.2 | 99 | 210.2 |
| | | | | | | 100 | 212.0 |

Fahrenheit (°F) a Centígrado (°C)

$$C = (F - 32) / 1.8$$

| °F | °C | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | -12.22 | -11.67 | -11.11 | -10.56 | -10 | -9.44 | -8.89 | -8.33 | -7.78 | -7.22 |
| 20 | -6.67 | -6.11 | -5.56 | -5.00 | -4.44 | -3.89 | -3.33 | -2.78 | -2.22 | -1.67 |
| 30 | -1.11 | -0.56 | 0.00 | 0.56 | 1.11 | 1.67 | 2.22 | 2.78 | 3.33 | 3.89 |
| 40 | 4.44 | 5.00 | 5.56 | 6.11 | 6.67 | 7.22 | 7.78 | 8.33 | 8.89 | 9.44 |
| 50 | 10.00 | 10.55 | 11.11 | 11.67 | 12.22 | 12.78 | 13.33 | 13.89 | 14.44 | 15.00 |
| 60 | 15.56 | 16.11 | 16.67 | 17.22 | 17.78 | 18.33 | 18.89 | 19.44 | 20.00 | 20.56 |
| 70 | 21.11 | 21.67 | 22.22 | 22.78 | 23.33 | 23.89 | 24.44 | 25.00 | 25.56 | 26.11 |
| 80 | 26.67 | 27.22 | 27.78 | 28.33 | 28.89 | 29.44 | 30.00 | 30.56 | 31.11 | 31.67 |
| 90 | 32.22 | 32.78 | 33.33 | 33.89 | 34.44 | 35.00 | 35.56 | 36.11 | 36.67 | 37.22 |
| 100 | 37.78 | 38.33 | 38.89 | 39.44 | 40.00 | 40.56 | 41.11 | 41.67 | 42.22 | 42.78 |
| 110 | 43.33 | 43.89 | 44.44 | 45.00 | 45.56 | 46.11 | 46.67 | 47.22 | 47.78 | 48.33 |
| 120 | 48.89 | 49.44 | 50.00 | 50.56 | 51.11 | 51.67 | 52.22 | 52.78 | 53.33 | 53.89 |
| 130 | 54.44 | 55.00 | 55.56 | 56.11 | 56.67 | 57.22 | 57.78 | 58.33 | 58.89 | 59.44 |

| °F | °C | °F | °C | °F | °C |
|-----|------|-----|------|-----|------|
| 140 | 60 | 160 | 71.1 | 180 | 82.2 |
| 150 | 65.6 | 170 | 76.7 | 190 | 87.8 |



APENDICE B
NUTRIMENTOS

| Columna A | Columna B | Conversión Equivalente | |
|-----------|--|------------------------|--------|
| | | A a B | B a A |
| N | NH ₃ | 1.216 | 0.822 |
| | NO ₃ | 4.429 | 0.226 |
| | KNO ₃ | 7.221 | 0.1385 |
| | Ca(NO ₃) ₂ | 5.861 | 0.171 |
| | (NH ₄) ₂ SO ₄ | 4.721 | 0.212 |
| | NH ₄ NO ₃ | 5.718 | 0.175 |
| | (NH ₄) ₂ HPO ₄ | 4.718 | 0.212 |
| P | P ₂ O ₅ | 2.292 | 0.436 |
| | PO ₄ | 3.066 | 0.326 |
| | KH ₂ PO ₄ | 4.394 | 0.228 |
| | (NH ₄) ₂ HPO ₄ | 4.255 | 0.235 |
| | H ₃ PO ₄ | 3.164 | 0.316 |
| K | K ₂ O | 1.205 | 0.83 |
| | KNO ₃ | 2.586 | 0.387 |
| | KH ₂ PO ₄ | 3.481 | 0.287 |
| | Kcl | 1.907 | 0.524 |
| | K ₂ SO ₄ | 2.229 | 0.449 |
| Ca | CaO | 1.399 | 0.715 |
| | Ca(NO ₃) ₂ | 4.094 | 0.244 |
| | CaCl ₂ · 6H ₂ O | 5.467 | 0.183 |
| | CaSO ₄ · 2H ₂ O | 4.296 | 0.233 |
| Mg | MgO | 1.658 | 0.603 |
| | MgSO ₄ · 7H ₂ O | 1.014 | 0.0986 |
| S | H ₂ SO ₄ | 3.059 | 0.327 |
| | (NH ₄) ₂ SO ₄ | 4.124 | 0.2425 |
| | K ₂ SO ₄ | 5.437 | 0.184 |
| | MgSO ₄ · 7H ₂ O | 7.689 | 0.13 |



Universidad Nacional de Huancavelica – Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Académico Profesional de Huancavelica

| | | | |
|--|---------------------------------------|-------|-------|
| | CaSO ₄ · 2H ₂ O | 5.371 | 0.186 |
|--|---------------------------------------|-------|-------|

APENDICE C

**PROFUNDIDAD CARACTERISTICA DE
RAICES DE ALGUNAS HORTALIZAS**

| Superficial (45 a 60 cm) | Moderamente hondo (90 a 120 cm) | Hondo (a más de 120 cm) |
|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Cebolla | Berenjena | Calabaza |
| Maíz | Habichuela | Sandía |
| Repollo | Melón | Tomate |
| | Pepinillo | |
| | Pimiento | |

Según J. E. Knott, 1966. *Vegetables Growers Handbook*. John Wiley & Sons, New York.