

Subproyecto
Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en la cuenca
del río Mantaro para su aplicación en la agricultura
2007-2009

Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos

MsC. Oscar Baldomero Garay Canales



Instituto Geofísico del Perú
Sector Ambiental



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN
AGRARIA

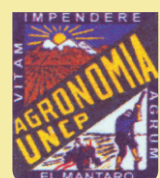


Foto de la portada por A. G. Martínez:
Cultivos de quinua en el valle del río Mantaro

DEL AUTOR

Oscar Baldomero Garay Canales nació en la Provincia de Castrovirreyna, departamento de Huancavelica en 1948. Es Ingeniero agrónomo por la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y Msc. en Producción Agrícola por la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Ha participado en numerosos eventos nacionales e internacionales sobre temas vinculados a la producción agraria, y ha sido funcionario en varias organizaciones de investigación agrícola en el país.

Actualmente se desempeña como Investigador Agrario en Aguas y Suelos en Cultivos Andinos del Instituto Nacional de Investigación Agraria - Estación Experimental Santa Ana, Huancayo (INIA- EEA Santa Ana), y está encargado de la coordinación de Aguas y Suelos.

Contactos

Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz #169
Mayorazgo IV Etapa - Ate
Lima - Perú
Tel: 51-1-3172300 Anexo 130
clima@geo.igp.gob.pe

INCAGRO

Estación Experimental INIA Santa Ana
Fundo Santa Ana - Carretera Hualahoyo s/n
El Tambo - Huancayo - Perú
Tel: 51-64-254467
ricardo.wissar@incagro.gob.pe



Subproyecto
Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro para su
aplicación en la agricultura
2007-2009

**Manual de uso consuntivo del agua para
los principales cultivos de los Andes
Centrales Peruanos**

MsC. Oscar Baldomero Garay Canales

RECONOCIMIENTO

Este manual se publica en el marco del subproyecto “Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura”, ejecutado por la Instituto Geofísico del Perú, con la colaboración del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) y la Facultad de Agronomía de la Universidad del Centro (UNCP), y con el financiamiento del Fondo para el Desarrollo de Servicios Estratégicos (FDASE) de INCAGRO.

INTRODUCCIÓN

EL Perú cuenta con 5'475.976 Has (INEI, 1994) cultivables, de las cuales 2'833.817 se ubican en la sierra (69% en seco y 31% bajo riego), áreas en las que el agua de riego se maneja con una eficiencia que varía del 20 al 30%.

Entre los años de 1980 y 1986, y en el marco de las acciones del Convenio Instituto de Investigación y Promoción Agraria – Proyecto Especial de Pequeñas y Medianas Irrigaciones (INIPA-PEPMI), se desarrolló un programa de investigación que buscó contribuir al mejoramiento de la práctica de riego en el país, principalmente en la sierra, mejorar la planificación agrícola, apoyar el desarrollo eficiente de las infraestructuras de riego y la planificación de sistemas mejorados (goteo, aspersión, etc.), tanto a nivel de fundos como de parcelas.

Oscar B. Garay Canales

Uno de los objetivos específicos del programa fue determinar el coeficiente de uso consuntivo (Kc) de los principales cultivos de la sierra: papa, maíz, trigo, arvejas, habas y hortalizas. Los trabajos se efectuaron bajo condiciones del valle del Mantaro, cuya ejecución estuvo a cargo del CIPA XII (hoy INIA) Estación Experimental Huancayo y el Plan MERIS I (institución desactivada).

Los resultados revisados de esa investigación se publican en esta segunda edición revisada, en el marco del subproyecto “Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura”, en momentos en que el manejo del recurso hídrico es tema prioritario para el desarrollo del país.

1. Conceptos Básicos

Capacidad de campo

Máximo grado de humeado de un suelo que ha perdido su agua gravífica.

Coefficiente de uso consuntivo (Kc)

Leroy S. (1980), define el coeficiente de uso consuntivo (Kc) de un cultivo como la relación entre la demanda de agua del cultivo mantenido a niveles óptimos (ETA) y la demanda del cultivo de referencia (ETP) es decir:

$$Kc = \frac{ETA}{ETP}$$

Donde ETA es la evapotranspiración potencial del cultivo y ETP es la evapotranspiración potencial del cultivo en referencia.

El Kc es conocido también como Kco por la American Society of Civil Engineers (ASCE), y generalmente se presenta como función del desarrollo vegetativo o etapa de maduración.

Evaporación

Fenómeno físico por el cual el agua pasa de líquido a vapor. También se le conoce como el agua evaporada por el terreno adyacente, por la superficie del agua o por la superficie de las hojas de las plantas.

Evapotranspiración (ET)

Cuantitativamente es un concepto equivalente al uso consuntivo. Israelsen (1975), la define como la suma de dos términos: transpiración y evaporación.

Evapotranspiración potencial (ETP)

Es la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas (Thornthwaite, 1948).

Según Hargreaves (1975) es la cantidad de agua evaporada y transpirada por una cobertura de pequeñas plantas verdes en estado activo de crecimiento y con un suministro continuo y adecuado de humedad. Se considera dependiente del clima y puede ser estimada a través de parámetros climáticos, dentro de los cuales los más importantes son: la radiación incidente, temperatura ambiente y humedad relativa.

Es importante señalar que cada tipo de planta evapotranspira una cantidad de agua diferente, por lo que se han establecido los siguientes conceptos relacionados:

- **Evapotranspiración del cultivo de referencia ET_0**
Llamada también evapotranspiración de referencia, es la que se produciría en un campo de gramíneas (pastos y cereales, por ejemplo) de 12 cm de altura, sin falta de agua y con determinadas características óptimas.
- **Evapotranspiración de un cultivo en condiciones estándar ET_c**
Es la evapotranspiración que se produciría en un cultivo especificado, sano, bien abonado y en condiciones óptimas de humedad del suelo. Es igual a la anterior, multiplicada por un coeficiente (K_c) correspondiente al tipo de cultivo.

$$ET_c = ET_0 * K_c$$

- **Evapotranspiración de un cultivo en condiciones no estándar**
Es la evapotranspiración que se produce cuando no existen condiciones ideales. Para determinar este tipo de evapotranspiración debe ajustarse el coeficiente del cultivo K_c y multiplicarlo por otro coeficiente K_s que depende de la humedad del suelo.

Los conceptos de Evapotranspiración de referencia ETP y Evapotranspiración potencial ET_0 se utilizan indistintamente.

Evapotranspiración real (ETR)

Es la evapotranspiración que se produce realmente en las condiciones reales de cultivo. La evapotranspiración real es menor o igual que la evapotranspiración potencial que se produce realmente en las condiciones existentes en cada caso. Así,

$$ETR \leq ETP$$

Grado de humedad

Peso de agua en una muestra respecto al peso de muestra seca, expresado en porcentaje.

Lisímetro

Sirve para medir la evapotranspiración, y consiste en un recipiente enterrado y cerrado lateralmente, de modo que el agua drenada por gravedad es recogida por un drenaje.

Punto de marchitez

Grado de humedad cuando las plantas no pueden absorber más agua.

Radiación incidente

La radiación incidente está relacionada con la radiación solar que llega al tope de la atmósfera y es modificada por los factores tales como la nubosidad.

Transpiración

Es el agua que penetrando a través de las raíces de las plantas es utilizada en la construcción de tejidos o emitidos por las hojas y reintegrada a la atmósfera.

La transpiración está en función del tipo de planta, del poder evaporante de la atmósfera, del grado de humedad del suelo, etc.

Uso consuntivo del agua

El uso consuntivo puede definirse como la cantidad de agua que consumen las plantas para germinar, crecer y producir económicamente, y cuantitativamente es un concepto equivalente al de evapotranspiración. Los principales componentes del uso consuntivo del agua son la transpiración y la evaporación.

Los factores fundamentales que influyen en el uso consuntivo del agua son:

- Clima, representado por la temperatura, humedad relativa, vientos, latitud, luminosidad, precipitación, etc.
- Cultivo, representado por la especie vegetal, variedad, ciclo vegetativo, hábitos radiculares, etc.
- Suelo, representado por la textura, profundidad del nivel freático, capacidad de retención de humedad, etc.
- Agua de riego, en cuanto a su calidad, disponibilidad, prácticas de riego, nivel de la misma con respecto a la superficie, etc.

Bocher, citado por FAO (1974), manifiesta que la cantidad de agua usada para la producción de un cultivo se suele denominar uso consuntivo, comprende el agua transpirada por las hojas de las plantas y la evaporada del suelo húmedo. Parte de las necesidades del uso consuntivo puede satisfacerse con la lluvia caída durante la época vegetativa o las precipitaciones anteriores a la siembra que quedan retenidas en el suelo y pueden ser utilizadas posteriormente por la planta.

El uso consuntivo suele expresarse como profundidad de agua por unidad de tiempo, por ejemplo, milímetros por temporada. Para calcular el volumen total de agua necesaria, se multiplica la necesidad de agua estacional por la superficie que se requiere regar, siendo la unidad de volumen más comúnmente empleada es la de metros cúbicos.

El uso consuntivo de agua variará según el tipo de planta, la época en que se cultiva, y las condiciones climáticas existentes en las diversas etapas de desarrollo vegetal.

2. Aspectos teóricos sobre la determinación del coeficiente de uso consuntivo del agua (K_c) y sus aplicaciones

Al igual que la evapotranspiración, el coeficiente del uso consuntivo (K_c) puede ser estimado o determinado por diferentes métodos, tanto indirectos o teóricos, así como por directos o de campo. Existen métodos indirectos, y métodos directos, éstos últimos son los que miden directamente la evapotranspiración.

Entre los principales métodos teóricos que se utilizan para la determinación del coeficiente de uso consuntivo tenemos:

- Método de Blanney Criddle
- Método de Radiación
- Método de Penman
- Método del evaporímetro o del tanque
- Método de Thornthwaite
- Método de Gras Christiansen

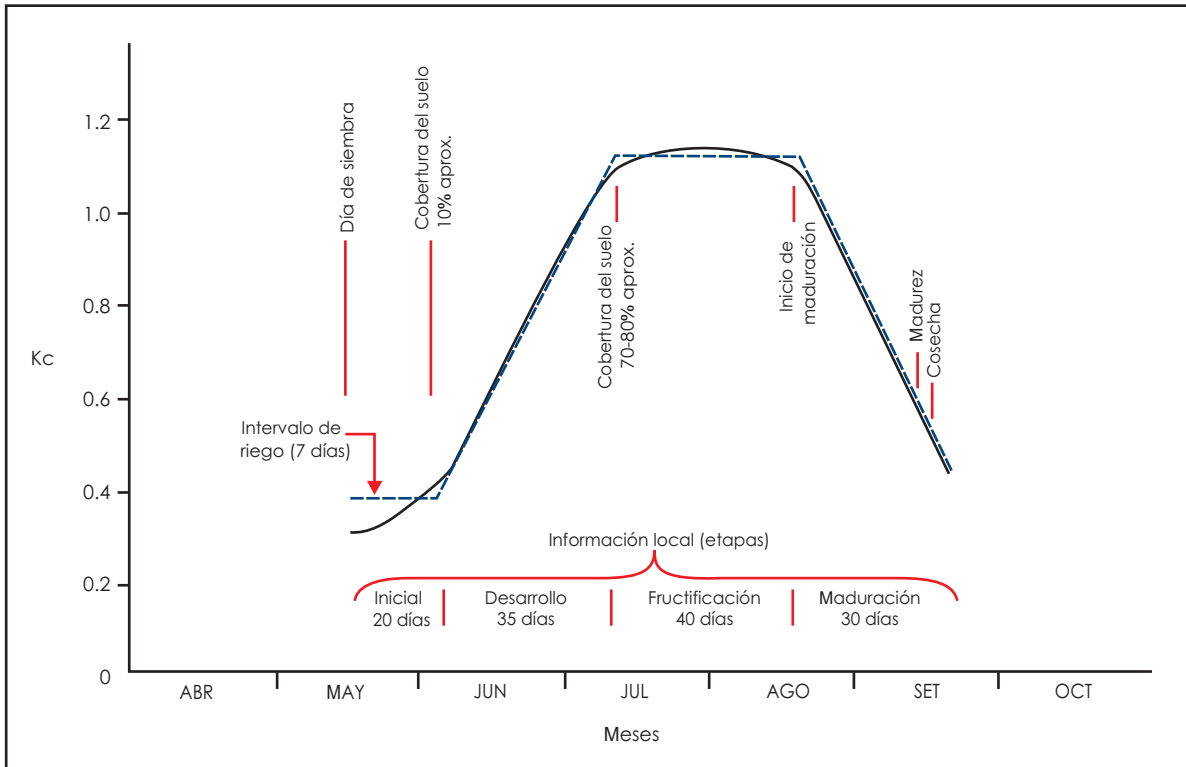
Estos métodos se refieren a las condiciones climáticas, agronómicas y edáficas propios de una zona dada. Las transferencias de metodologías de una zona u otra muy distinta de aquella en la que ha sido concebida sigue siendo problemática; a menudo se necesitarán experimentos in situ. Sin embargo a veces por falta de investigaciones locales al respecto nos vemos obligados a utilizar estos métodos que no han sido ajustados a nuestra realidad.

Los coeficientes de Uso consuntivo (K_c), son datos muy valiosos que se usan para determinar la posible área de riego, de un proyecto, de una finca, etc. sobre la base de un volumen disponible de agua. Sus aplicaciones son múltiples, y se listan a continuación:

- 1) Permite elaborar calendarios de riego para los cultivos, fijar láminas e intervalos de riego en función de la eficiencia de riego. Esto permite apoyar la planificación de cultivos y riegos por cultivos.
- 2) En el caso de agua de riego con alto contenido de sales en solución, el uso consuntivo permite determinar las láminas de sobre riego, necesarias para prevenir problemas de salinización de los suelos.
- 3) Estimar los volúmenes adicionales de agua que serán necesarios aplicar a los cultivos en el caso que la lluvia no aporte la cantidad suficiente de agua.
- 4) Determinar en grandes áreas (cuencas) los posibles volúmenes de agua en exceso a drenar.
- 5) Determinar en forma general la eficiencia con la que se está aprovechando el agua y por lo mismo, planificar debidamente el mejoramiento y superación de todo el conjunto de elementos que intervienen en el desarrollo de un distrito de riego.

En la Figura 1 se aprecia un ejemplo del coeficiente de cultivo o K_c , donde se ven esquematizadas las etapas del desarrollo de un cultivo dado.

Figura 1 Ejemplo esquematizado de una curva de coeficiente de cultivo (K_c)



Ejemplos del uso del coeficiente de uso consuntivo de agua

Ejemplo 1

Uso del coeficiente de uso consuntivo de agua (K_c) para la determinación de la frecuencia de riego, volumen de agua a utilizar durante el riego, y el tiempo de riego.

Datos:

Capacidad de retención de humedad del suelo	: 1,65 mm/cm
Coefficiente del cultivo (K_c)	: 0,9
Profundidad de raíces	: 70 cm
Fecha de siembra	: Setiembre 15
Período etapa de cultivo	: 97 días
ETp lisimétrico	: 4,44 mm/día
Porcentaje de agotamiento	: 50%
Área del terreno	: 2 Ha
Gasto hidráulico (Q)	: 50 lt/seg

a) Determinación de la frecuencia de riego

El uso consuntivo durante el período del cultivo se obtiene multiplicando el Kc del cultivo (0,9) por el valor de ETp (4,44 mm/día); resultando un valor de pérdida de agua de: 3,99 mm/día.

Si la capacidad de retención de humedad del suelo es de 1,65 mm/cm, y la profundidad de las raíces alcanza 70 cm, la retención total de humedad será 115,5 mm, pero como el porcentaje de agotamiento es de 50 %, entonces la lámina a reponer será: 57,75 mm. Conociendo el gasto diario 3,99 mm/día y la lámina total a reponer 57,75 mm, entonces la frecuencia promedio de riego será $57,75 \text{ mm} / 3,99 \text{ mm/día} = 14,47 \text{ días}$; o sea se podrá regar el cultivo aproximadamente cada 15 días.

El uso Consuntivo varía con el estado de la planta a lo largo del período vegetativo del cultivo. La humedad en el suelo también varía con la profundidad de las raíces, igualmente si se presentan precipitaciones (lluvias), significativas durante el período, en base a estas consideraciones el intervalo o frecuencia de riego podrán ser más o menos frecuente.

b) Cálculo del volumen de agua a utilizar durante el riego

Si conocemos:

$$Q = 50 \text{ litros/segundo}$$

La lámina de agua a aplicarse: 57,75 mm, entonces el volumen de agua a utilizar durante el riego se podrá calcular en base a la siguiente relación:

$$\begin{aligned} V (\text{volumen en m}^3) &= La (\text{lámina en m}) \times A (\text{área a regarse en m}^2) \\ &= 0,05775 \text{ m} \times 20\,000 \text{ m}^2 \text{ (2 Ha)} \end{aligned}$$

$$V = 1,155 \text{ m}^3 / 2 \text{ Ha}$$

Este volumen así obtenido para el período considerado (15 días), se ha calculado con la lámina a nivel de parcela, es decir, solamente con el uso consuntivo, por lo que si se quiere conocer el requerimiento total “real” del agua de riego, será necesario considerar la eficiencia de conducción y distribución, el mismo que para el caso del ejemplo puede ser: $Ef = 0.65\%$ por lo que:

$$\text{Requerimiento total} = \text{Volumen calculado} \times 1/Ef$$

$$\text{Requerimiento total} = 1,155 \text{ m}^3 \times 1/0,65$$

$$\text{Requerimiento total} = 1.776,923 \text{ m}^3 / 2 \text{ Ha}$$

c) Cálculo del tiempo de riego

En primer lugar es necesario obtener el volumen referido a tiempo (m^3/hora), el mismo que es igual a:

$$50\text{Lt/seg} \times 3.600 \text{ seg} / 1.000 \text{ l/m}^3 = 180 \text{ m}^3/\text{ hora}$$

Conociendo el gasto en $\text{m}^3/\text{ hora}$ (180) y el requerimiento total ($1776,923 \text{ m}^3/ 2 \text{ ha}$), entonces se puede determinar el tiempo total de riego, por la siguiente relación:

$$\frac{1776.023 \text{ m}^3/2 \text{ ha}}{180 \text{ m}^3/\text{ hora}} = 9,87 \text{ horas}$$

$$\text{Tiempo de riego aproximado: } 10 \text{ horas/ } 2 \text{ Ha}$$

Ejemplo 2

Este ejemplo se basa en la programación de riego en el cultivo de alcachofa (Cáritas, 2006).

La programación de riego es un conjunto de procedimientos técnicos desarrollados para predecir cuánto, cuándo y por cuánto tiempo regar, y estas se basa en:

- Medida del contenido de agua en el suelo (tensiómetros)
- Medida del estado hídrico de la planta (flujo de savia, transpiración)
- Medida de parámetros climáticos (evaporación, R_s , T° , HR° , etc.)

Los volúmenes necesarios para la alcachofa en la sierra van de 8.000 a 12.000 m^3/Ha (varía por la eficiencia de riego y los métodos de riego), mediante el riego creamos las condiciones de humedad que permitirán la germinación de las semillas, prendimiento de hijuelos, esquejes y el crecimiento y desarrollo de las plantas.

El riego reemplaza la humedad que el cultivo utiliza diariamente durante todo su período vegetativo, en épocas de lluvia (setiembre a marzo) los riegos son considerados como complementarios ya que mayormente se aprovechan las precipitaciones pluviales. Sin embargo en las zonas donde se practica la llamada “campana chica” (mayo a octubre) depende íntegramente de la dotación de agua de riego.

Después de haber concluido la plantación, inmediatamente se debe regar para facilitar el prendimiento y mantener el suelo con suficiente humedad, de tal manera que la planta no sufra estrés por falta de agua, considerando para ello, las condiciones del clima, tipo de suelo, disponibilidad de agua de riego, cantidad y frecuencia de riego, cabe mencionar que una deficiencia de humedad en la etapa de formación de yemas florales dará como resultado una pérdida debido a la formación de brotes de inferior calidad.

Para no tener problemas, debemos practicar los riegos en forma programada, es decir teniendo en cuenta la necesidad hídrica de la planta.

Datos:

Capacidad de retención de humedad del suelo	: 1,65 mm/cm
Coefficiente de cultivo (Kc)	: 0,9
Profundidad de raíces	: 70 cm
Fecha de plantación	: Setiembre 15
Evapotranspiración (ETP)	: 4,44mm/día
Porcentaje de agotamiento	: 50%
Área del terreno	: 1,0 Ha.
Caudal de riego	: 30 Lt/seg

a) Determinación de la frecuencia de riego

Lo primero que haremos es determinar el uso consuntivo (ETa) durante el período de cultivo, multiplicando el Kc del cultivo (0,9) por el valor de la ETP (4,44 mm/día), resultando un valor de 3,99mm/día. Luego, si la capacidad de retención de humedad del suelo es de 1,65mm/cm y la profundidad de las raíces alcanza 70cm la retención de humedad será 115,5mm, pero como el porcentaje de agotamiento es de 50%, entonces la lámina de agua a reponer será de 57,75mm

Luego, conociendo el consumo diario (3,99mm/día) y la lámina total a reponer (57,75mm), la frecuencia promedio de riego será: $57,75/3,99=14,47$, o sea el riego deberá realizarse cada 14 días.

b) Cálculo del volumen de agua a utilizar durante el riego

Si sabemos que el caudal de riego es de:

$$Q = 30 \text{ Lt/seg, la lámina de agua a aplicarse es de } 57,75 \text{ mm}$$

Entonces el volumen será:

$$V = 0,05775 \text{ m} \times 10.000 \text{ m}^2 \text{ (1 Ha)}$$

$$V = 577,5 \text{ m}^3 / \text{Ha (volumen a aplicarse en cada riego)}$$

Este volumen así obtenido para el período considerado (cada 14 días) se ha calculado con una lámina neta, es decir, sólo con el uso consuntivo (ETa), por lo que si se quiere conocer el requerimiento total “real” o “bruto” del agua de riego, será necesario considerar las eficiencias de conducción y distribución, el mismo que para el caso del ejemplo, puede ser:

Con una eficiencia $E_f = 65\%$,
El requerimiento total será de volumen calculado ($577,5 \text{ m}^3 \times 1E_f$)

$$R_t = 888,46 \text{ m}^3/\text{Ha}$$

c) Cálculo de la duración del riego

Aquí debemos saber el volumen referido en tiempo (m^3/hora), el mismo que es:

$$30\text{Lt}/\text{seg} \times 3.600 \text{ seg} \times \text{m}^3/(1.000 \text{ Lt})=108 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Entonces:

$$888,46/108 = 8,22; \text{ Así el } T_r = 8 \text{ horas / Ha.}$$

Conociendo el gasto en m^3/hora (108), así como, el requerimiento total ($888.46 \text{ m}^3/\text{ha}$), entonces se puede determinar el tiempo total de riego por la siguiente relación:

$$888,46 \text{ m}^3/108 \text{ m}^3 = 8,22 \text{ horas/Ha}$$

$$T = 8 \text{ horas/Ha}$$

3. Metodología utilizada para determinar el coeficiente de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos

3.1 Antecedentes y zona de estudio

Los trabajos de investigación necesarios para determinar el coeficiente de uso consuntivo del agua en los Andes Centrales Peruanos se realizaron durante siete años (1980-1986) y en tres campañas para cada cultivo; a excepción del trigo, espinaca y acelga, ya que dichos cultivos sólo se trabajaron durante dos campañas.

Estos trabajos se llevaron a cabo en dos zonas específicas: los campos de la Estación Experimental Santa Ana, ubicados en la localidad de Hualaoyo, provincia de Huancayo, Departamento de Junín, y en el Centro Demostrativo del Sub-Proyecto “La Huaycha” MERIS-I (desactivado), ubicado en el mismo departamento.

La estación Experimental, se encuentra a unos 5 Kilómetros de la ciudad de Huancayo por la margen izquierda del río Mantaro, a una altitud de 3.313 msnm, Latitud de 12°02'18.1" S y Longitud de 75°19'22" W. El Centro Demostrativo se encuentra a 11 Kilómetros de la ciudad de Huancayo por la margen derecha en el Distrito de Orcotuna, ubicado a una altitud de 3238 msnm, Latitud de 11°56'00"S y Longitud 75°20'00"W. Ambas zonas se presentan en la Figura 2.

Ambos lugares se caracterizan por presentar temperaturas que fluctúan desde -8°C hasta 20°C, con una media de 12°C, y vientos ligeros durante el día y calmados durante la noche. Las precipitaciones varían de 500 a 800 mm anuales, concentrándose éstas en los meses de diciembre, enero y febrero. Esta zona presenta humedad relativa de 56 a 77%, alta insolación (7- 10 horas al día) y evaporación promedio de 5,7 mm/día.

3.2 Relaciones empleadas

Dado que el coeficiente del uso consuntivo (K_c), expresa la relación entre la densidad de agua del cultivo en estudio mantenido a niveles óptimos de agua del cultivo de referencia, se consideró:

$$K_c = \text{ETA}/\text{ETP}$$

Donde:

ETA. Evapotranspiración actual o real del cultivo en estudio

ETP. Evapotranspiración potencial del cultivo en referencia (Rye grass)

3.3 Equipos y materiales empleados

Los equipos empleados fueron lisímetros de metal (Figura 3) y de concreto armado (Figura 4).

Figura 3 Diseño de un lisímetro simple de drenaje

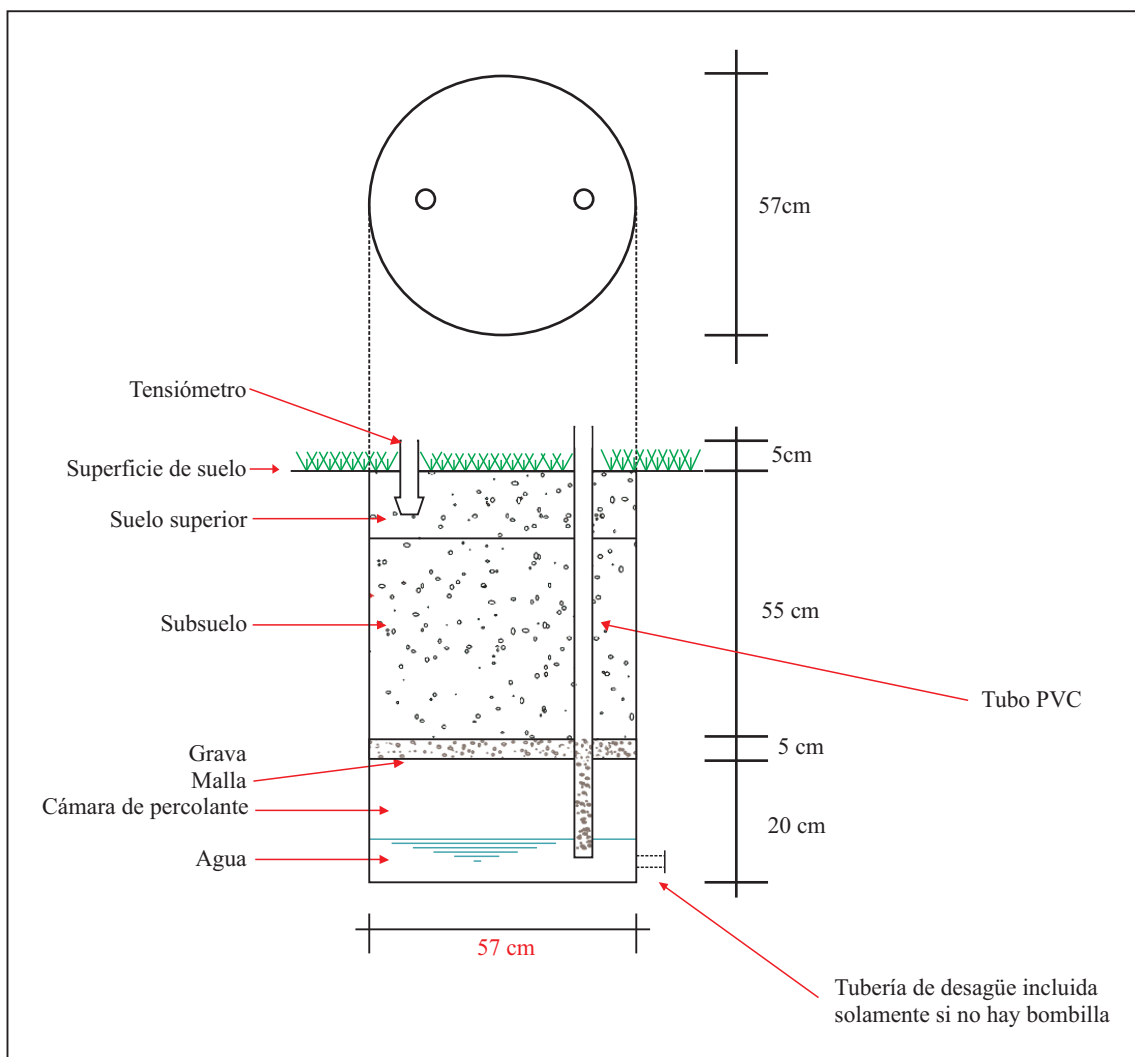
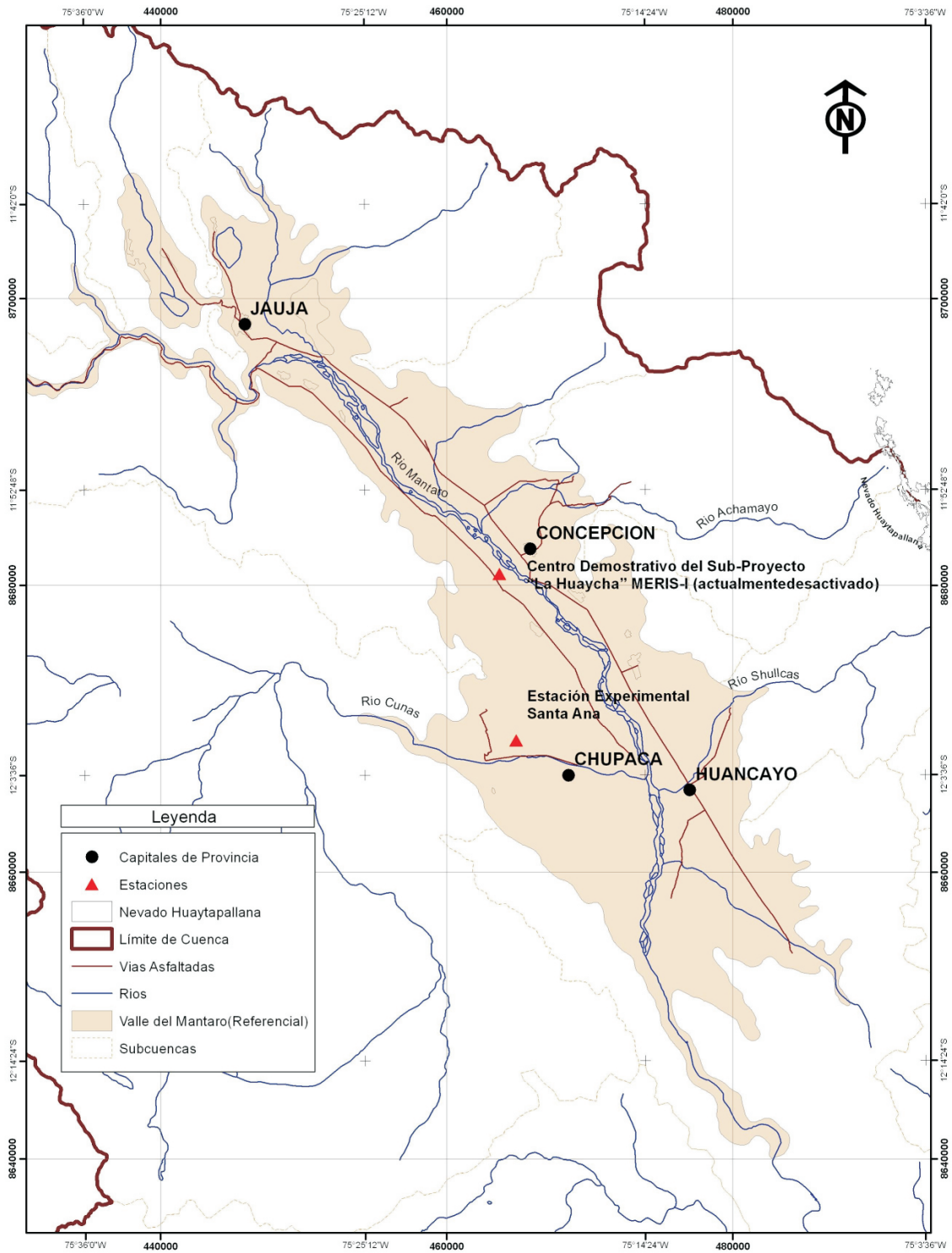
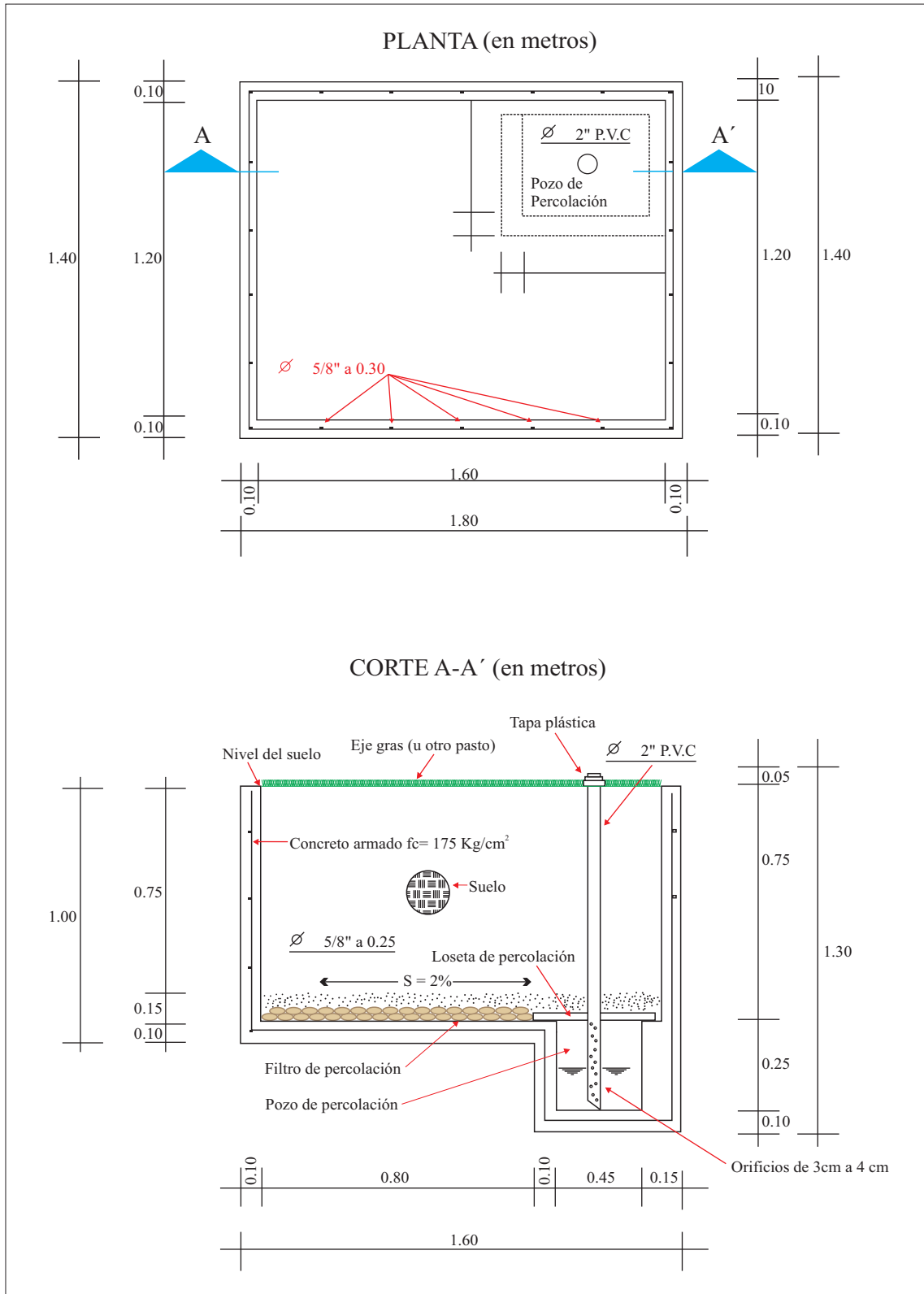


Figura 2 Mapa de localización de las zonas de estudio



Fuente: Ricardo Zubieta, Instituto Geofísico Del Perú

Figura 4 Diseño de un lisímetro de drenaje de concreto armado



3.4 Cultivos en estudio

Los cultivos estudiados fueron: papa, maíz, trigo, haba, arveja, col, acelga, cebolla, espinaca, lechuga y zanahoria.

3.5 Instalación y operación de los lisímetros

La instalación y operación de los lisímetros se realizó bajo las siguientes consideraciones:

- El borde del lisímetro sobresalió del nivel del suelo en 5cm para evitar el efecto de borde (transferencia de calor desde los alrededores hacia el interior del lisímetro, así como evitar el ingreso de agua superficial).
- Se instalaron los tensiómetros a profundidad de mayor concentración pedicular del cultivo (inicialmente a 15 cm y luego a 30 cm).
- Los riegos en los lisímetros se realizaron cuando el tensiómetro indicaba 55 centibares de tensión (2 veces por semana) para mantener el suelo aproximadamente a 50% de capacidad de campo.
- Se registraron datos por cada riego de lámina aplicada, desarrollo vegetativo, porcentaje de cobertura efectiva y demás datos climáticos.
- Habiéndose instalado los lisímetros, se empleó la siguiente relación matemática para determinar el volumen de agua a aplicar en cada lisímetro.

$$Va = (ETP \times ND \times A1) c$$

Donde:

- Va : Volumen aplicado
- ETP : Evapotranspiración potencial
- ND : Número de días que hay de un riego a otro
- A1 : Área del lisímetro
- c : Coeficiente de seguridad para efectuar el riego hasta causar percolación

Estos volúmenes así determinados se aplicaron teniendo como instrumento de medida, recipientes graduados, los niveles de agua en la cámara percolante se midió con una reglilla, dichas observaciones se hacían simultáneamente con los riegos a horas fijas, teniendo en consideración que cada vez que el nivel superaba los 18 cm, este se evacuaba con una bombilla manual, registrándose el cambio del nivel en la respectiva ficha de registro (Anexo 1) y de este modo se fueron obteniendo los respectivos datos lisimétricos.

Para determinar el balance hídrico se usó la siguiente ecuación:

$$\text{Entradas} = \text{Sumatoria (salidas)} + \Delta \text{ Cambio de almacenamiento en el sistema}$$

Esta relación para un período dado se considera como:

$$R = \text{ETA} + D + \Delta$$

Donde:

R : Agua agregada por riegos o lluvia
 ETA : Evapotranspiración actual o real del cultivo en estudio para un período considerado

D : Agua de drenaje durante el período de análisis, dada por la siguiente expresión:

$$D = N_2 - N_1$$

Siendo N2 y N1, niveles de agua en el percolante, correspondiente al último primer día de período considerado.

Δ : Variación del contenido de humedad en el sistema

En vista que los riegos se efectuaron cuando el suelo en el lisímetro estuvo a la misma humedad (tensiómetro marcaba una misma lectura) sólo fue necesario conocer la cantidad de agua agregada y el drenado para determinar ETA puesto que la variación del contenido de humedad en el sistema es igual a cero (0), por lo que la evapotranspiración real para un período bajo consideración se determinó como:

$$\text{ETA} = R - D$$

4. Resultados

4.1 Valores del coeficiente de uso consuntivo (Kc)

En la Tabla 1 se presentan los diferentes valores del coeficiente de uso consuntivo (Kc) determinados por el método lisimétrico, para los cultivos propios del área de riego del valle del Mantaro. Todos los cultivos fueron manejados casi en un 90% en la campaña mayo- diciembre de cada año, evitando de esta manera la influencia que pudieron tener las lluvias, las mismas que se presentan en mayor intensidad durante los meses de diciembre a febrero.

Tabla 1 Coeficientes de uso consuntivo (Kc*) de los principales cultivos de los Andes Centrales de Perú, determinados para varias etapas de crecimiento

Cultivos	Días desde siembra a cosecha														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	30	130	150
Papa	0,18	0,23	0,30	0,40	0,53	0,70	0,84	0,94	1,01	1,05	1,07	1,04	0,95	0,80	0,50
Maíz choclo	0,26	0,30	0,35	0,42	0,51	0,62	0,73	0,83	0,91	0,97	1,01	1,02	1,00	0,93	0,80
Haba en verde	0,24	0,30	0,36	0,44	0,54	0,67	0,77	0,86	0,93	0,96	0,99	1,00	0,96	0,88	0,76
Arveja verde	0,30	0,34	0,40	0,48	0,60	0,71	0,80	0,87	0,93	0,96	0,97	0,97	0,94	0,86	0,77
Trigo (*)	0,25	0,36	0,50	0,65	0,78	0,90	0,98	1,04	1,09	1,11	1,12	1,08	0,98	0,94	0,51
Col	0,18	0,23	0,31	0,41	0,53	0,66	0,76	0,85	0,93	0,96	0,98	0,97	0,94	0,85	0,72
Acelga (*)	0,17	0,21	0,28	0,38	0,51	0,64	0,82	0,91	0,97	1,01	1,02	0,99	0,91	0,78	x
Cebolla	0,28	0,34	0,42	0,52	0,62	0,71	0,78	0,84	0,84	0,91	0,92	0,92	0,90	0,85	0,74
Espinaca (*)	0,18	0,22	0,32	0,48	0,71	0,92	1,04	1,06	1,06	0,94	0,73	x	x	x	x
Lechuga	0,21	0,28	0,37	0,50	0,67	0,82	0,91	0,96	0,96	0,91	0,79	x	x	x	x
Zanahoria	0,34	0,41	0,51	0,60	0,70	0,81	0,90	0,97	1,03	1,07	1,09	1,09	0,96	0,96	0,80

(*) Kc obtenido en base a dos campañas

4.2 Volúmenes de agua estimados

En la Tabla 2 se presentan los volúmenes de agua estimados para los cultivos en estudio, y para todo el período vegetativo. Estos volúmenes varían principalmente sobre la base de la eficiencia de aplicación del agua de riego en nuestro medio.

Tabla 2 Volúmenes de agua estimados para los cultivos en estudio (m³/Ha), determinados por los métodos lisimétrico (L), FAO (1977) Y ASCE (1973)

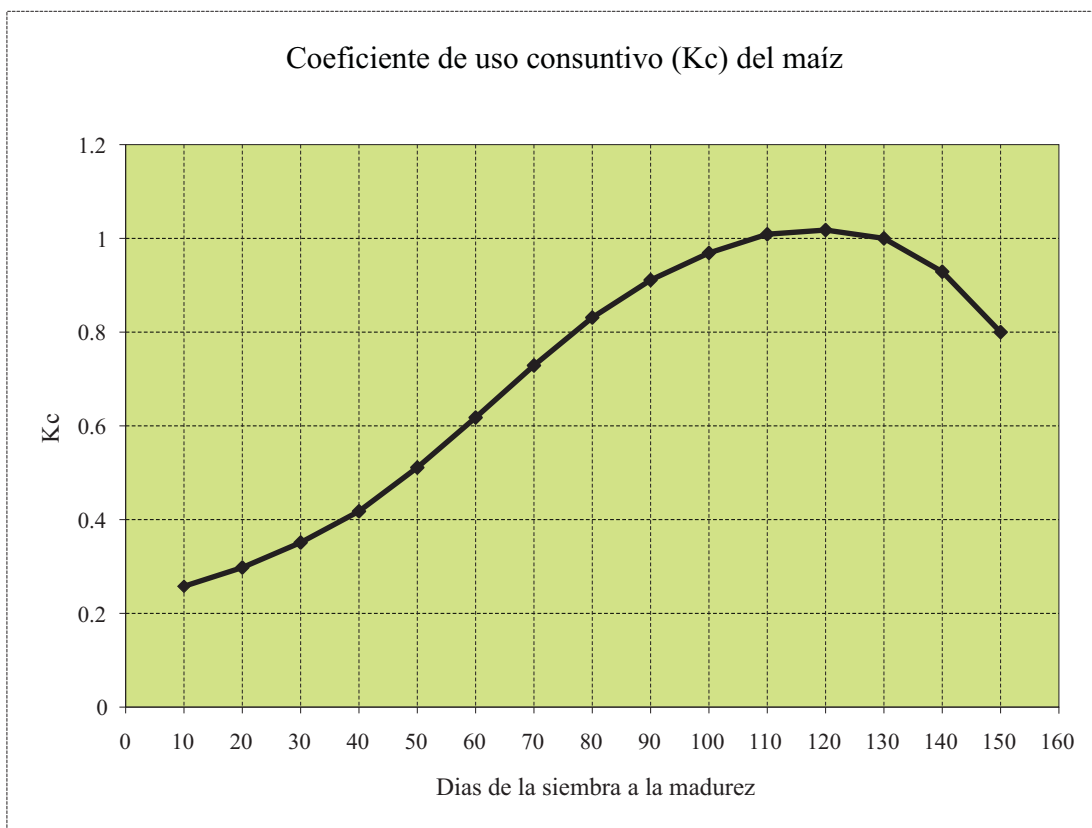
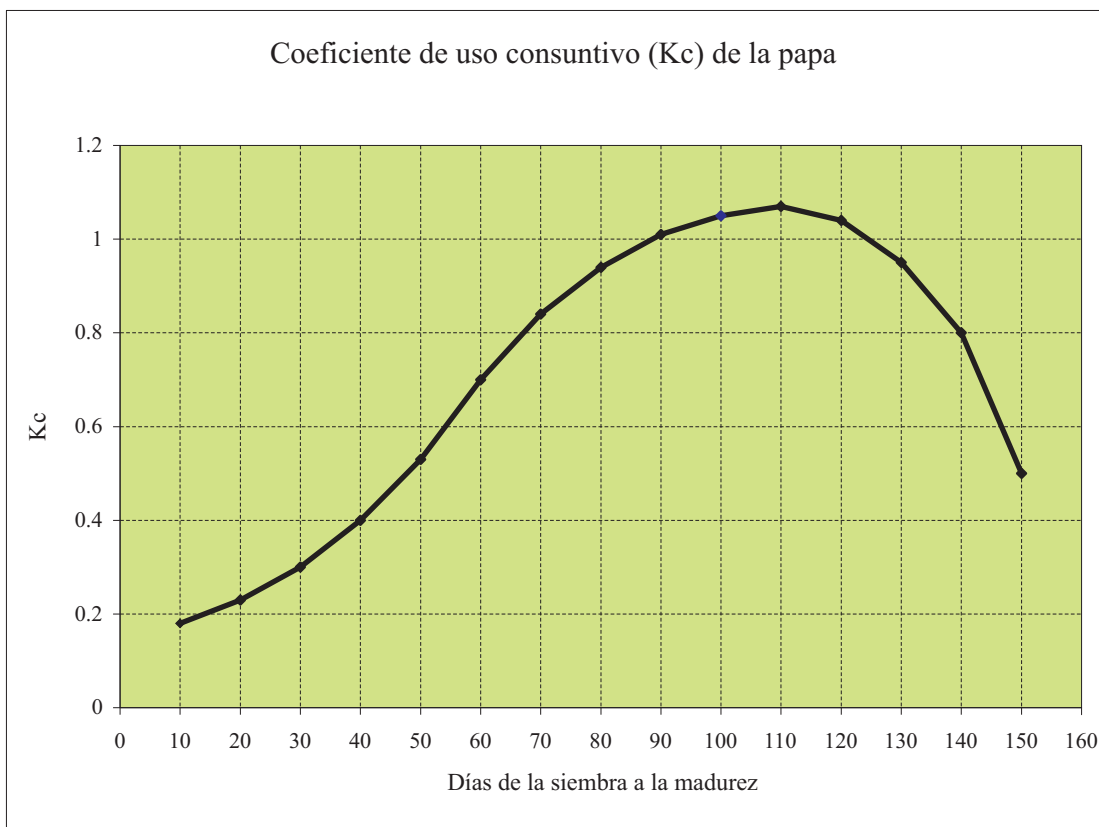
Cultivo	Métodos con 50% de eficiencia					
	L	FAO (1977)	ASCE (1973)	L	FAO (1977)	ASCE (1973)
Papa	4089	4233	3876	8178	8466	7752
Maiz choclo	4136	4415	4660	8272	8830	9320
Haba verde	4136			8272		
Arveja verde	4225		4598	8450		9196
* Trigo	4768	3604	4404	9536	7208	8808
Col	3989			7978		
* Acelga	3740			7480		
Cebolla	4109			8218		
* Espinaca	2980			5960		
Lechuga	2863			5726		
Zanahoria	4788	4167		9576	8352	

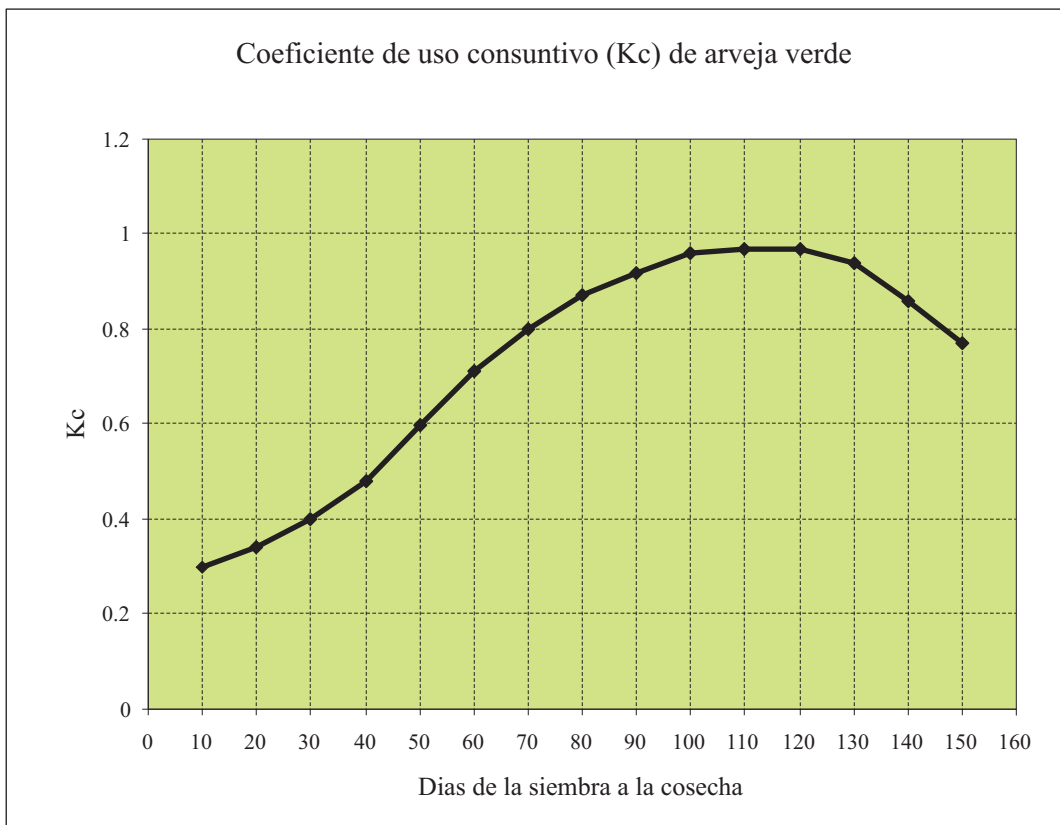
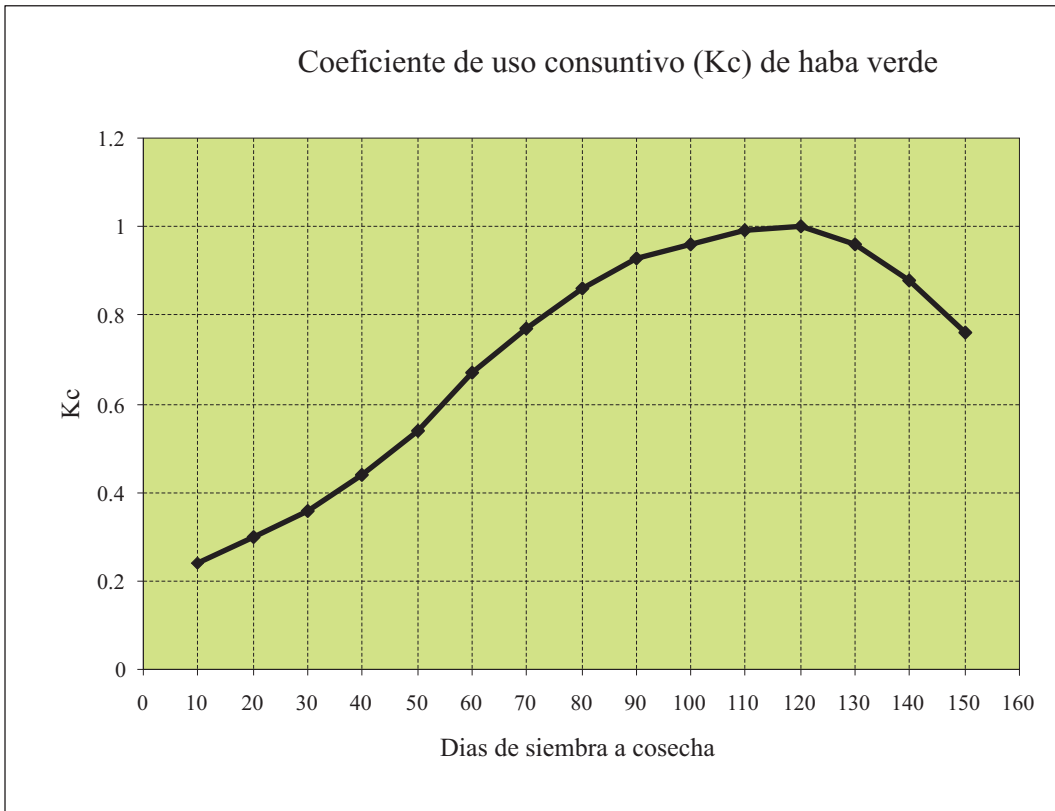
(*) Obtenido en base a dos campañas por el método lisimétrico

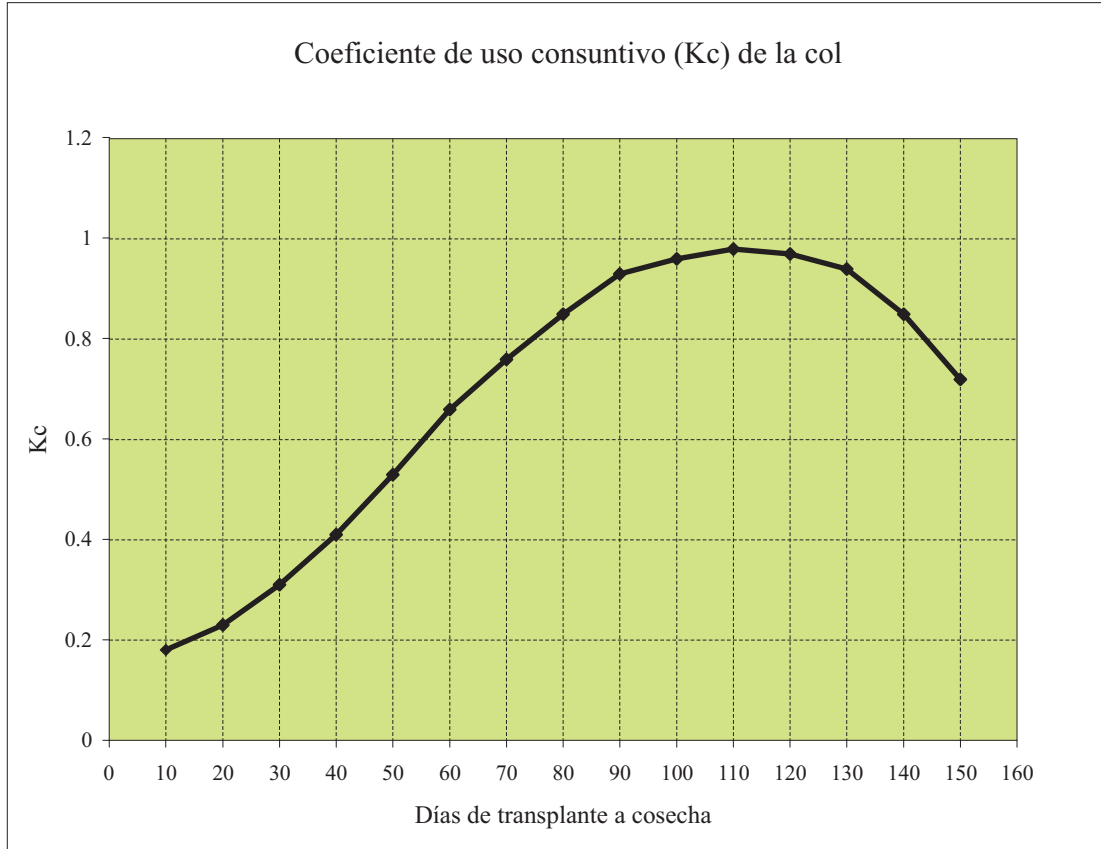
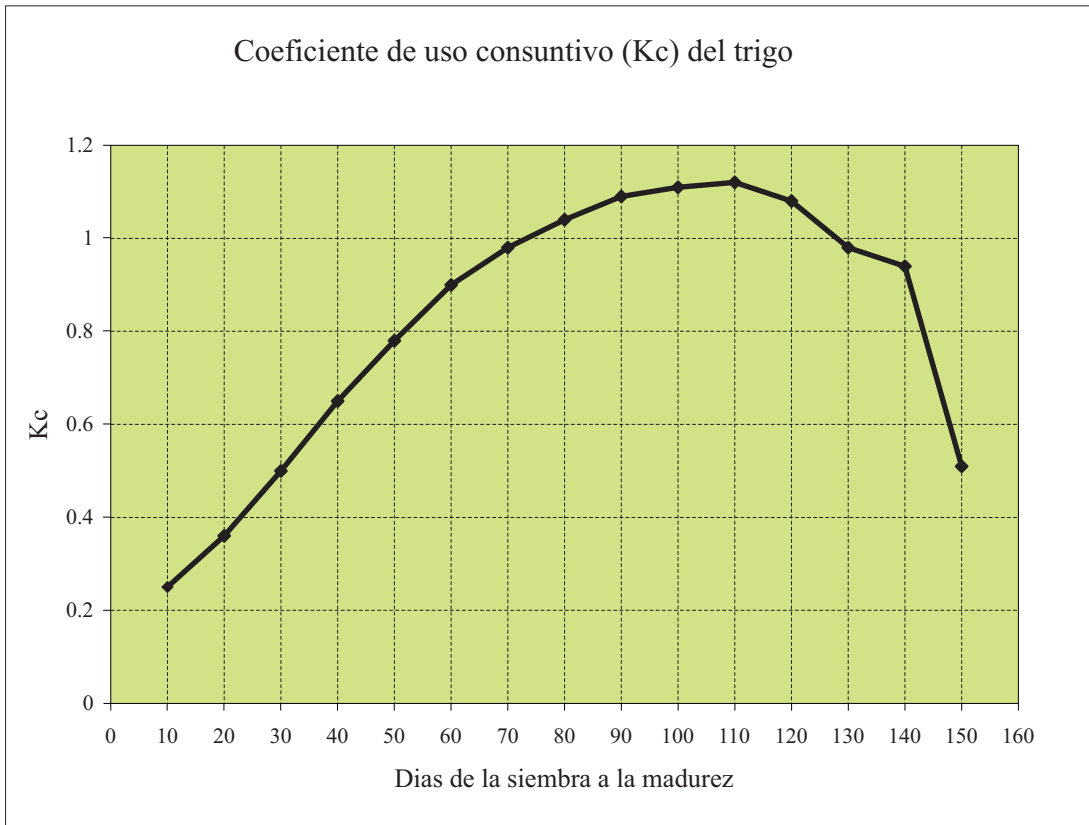
4.3 Gráficos del coeficiente de uso consuntivo (Kc) de los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos

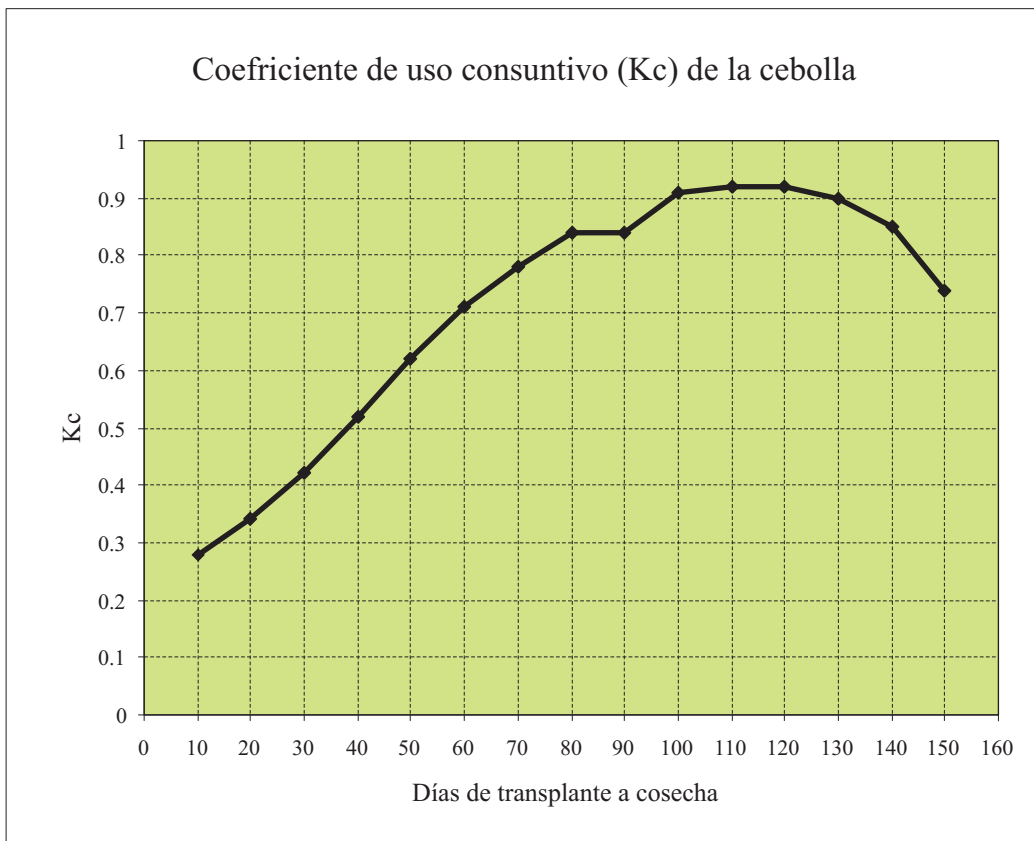
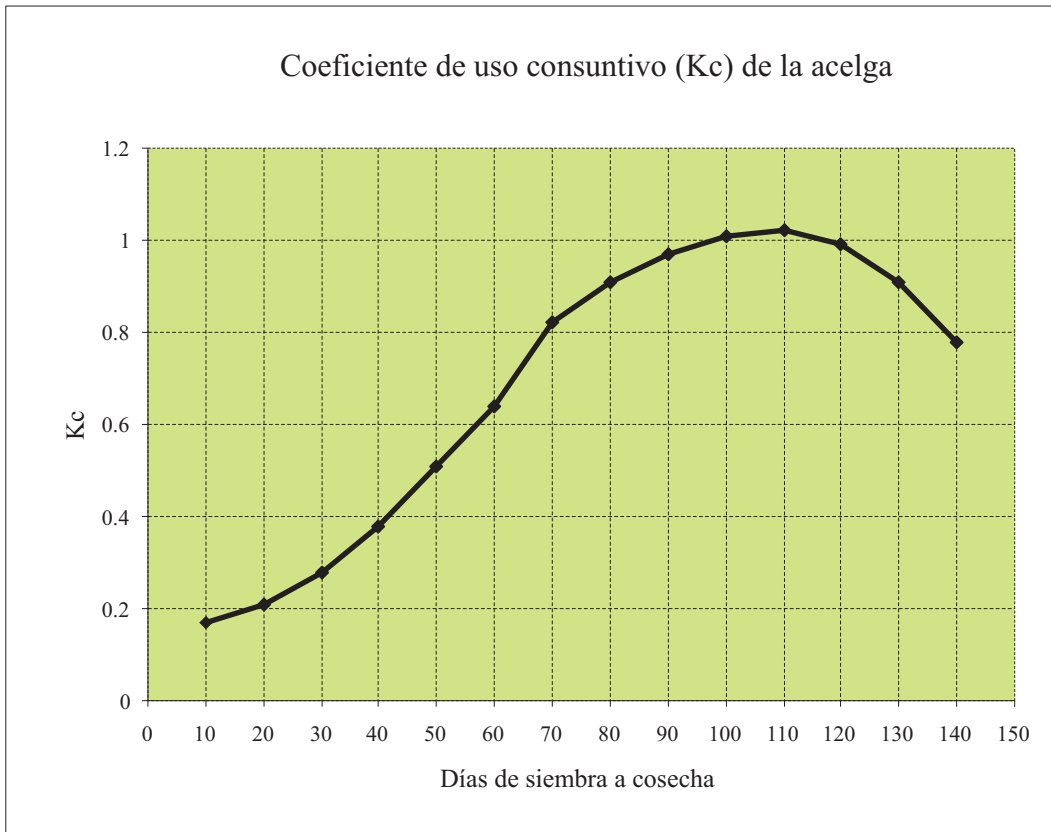
A continuación se presentan los gráficos del coeficiente de uso consuntivo del agua (Kc) para los principales cultivos de los Andes Centrales del Perú:

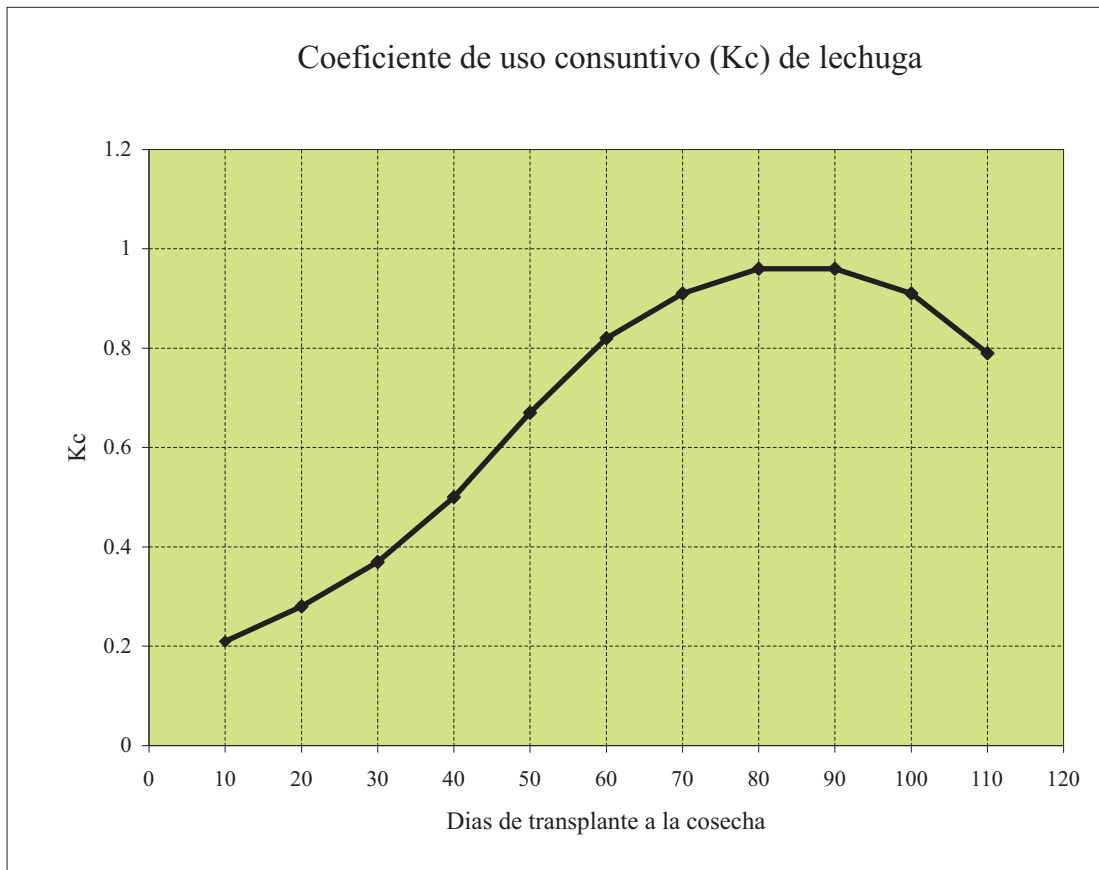
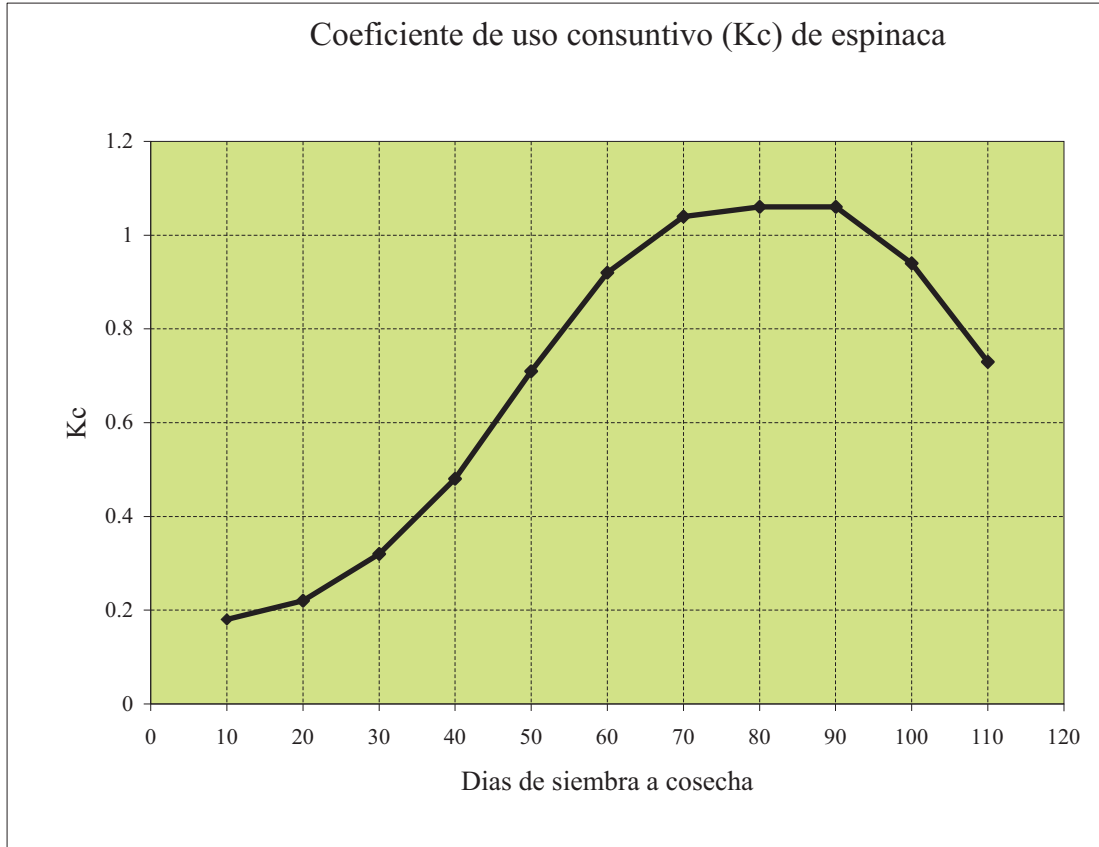
- Papa
- Maíz
- Haba verde
- Arveja verde
- Trigo
- Col
- Acelga
- Cebolla
- Espinaca
- Lechuga
- Zanahoria

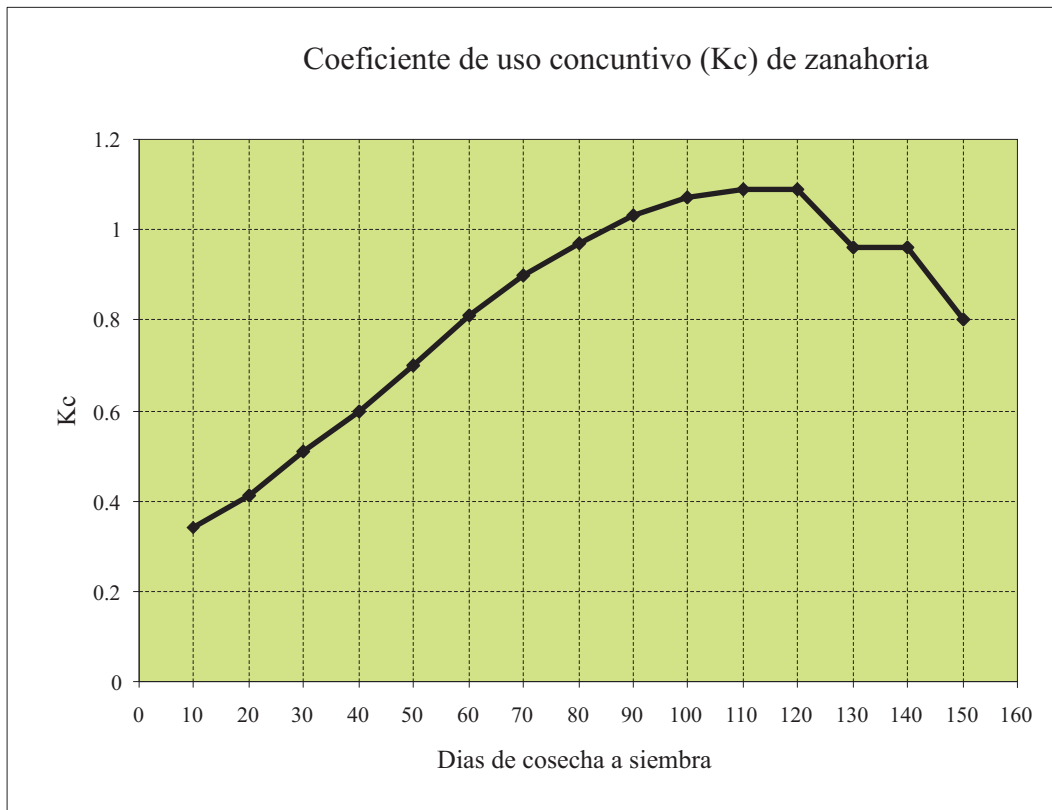












5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 La metodología utilizada para determinar los valores del coeficiente de uso consuntivo, es de fácil aplicación para realizar estudios similares al presente sin mayor dificultad en cualquier medio geográfico, y para cualquier cultivo utilizando principalmente los lisímetros de cilindro.

5.2 Los valores de K_c obtenidos, según indican los cuadros y curvas respectivas, muestran que el requerimiento hídrico de los cultivos aumentan progresivamente desde la siembra hasta los 110 ó 120 días según sea el cultivo, obteniendo valores de K_c de 0,94 a 1,12 en papa, maíz, haba, arveja y trigo; para hortalizas como: col, cebolla y zanahoria coeficientes de uso consuntivo máximos de 0,92 y 1,09, lográndose estos valores para hortalizas de período vegetativo corto (espinaca, lechuga y acelga) de 80 a 90 días después de la siembra.

5.3 Los valores máximos del K_c coinciden con la máxima cobertura efectiva de los cultivos.

5.4 Luego del período de máxima cobertura, los valores de K_c empiezan a decrecer a medida que el cultivo va completando su período vegetativo.

5.5 Los valores de K_c obtenidos según las metodologías propuestas por la FAO (1977) y la ASCE (1973), comparados con el método lisimétrico; se obtienen coeficientes más confiables con el primero de los citados, indicando este hecho que en lugares donde no se tienen valores lisimétricos, se pueden determinar los coeficientes de uso consuntivo confiables utilizando este método.

5.6 Finalmente se indica que los cultivos que han sido estudiados por dos campañas, debe cumplirse una tercera campaña, número de campañas propuestas por los autores como suficientes para contar con datos confiables en la medida en que durante el transcurso del experimento no haya ocurrido anomalía alguna que pudiese alterar los resultados del mismo.

6. Bibliografía

ASCE, 1973. Consumptive Use of Water and Irrigation Water Requirements. A Report by The Technical Committee on Irrigation Water Requirements of the Irrigation and Drainage Div. of ASCE, by Marvin E. Jensen, (editor) New York, 215 pp.

Cáritas del Perú, 2006. Manual del Cultivo de Alcachofa. Tercera Edición..

Crassi, C. J., 1967. Estimación de los Usos Consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos. Material de enseñanza N° 53. SIDITA. Mérida, Venezuela.

Doorendos, J. y W.O. Peyitt,.1982. Clima y Agricultura. Comité Regional de Recursos Hidráulicos. Gobiernos de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá. Publicación N° 145, Tegucigalpa, D,C.

FAO, 1974. Anuario de producción 1973. Roma.

FAO, 1977. International scheme for the coordination of dairy development. Arab Republic of Egypt, draft report. Document AGA/EG, Rome, pp. 33–36.

Hargreaves, G.H., 1975. Moisture availability and crop production. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 18: pp. 980-984.

Israelsen, O., y V. E. Hansen, 1975. Principios y aplicaciones del riego. Edit. Reverté S.A. 2da. Ed. España.

James, D. W., y R. K. Stutler, 1982. Investigación y demostración sobre manejo de agua a nivel predial en un clima húmedo/seco de la Región Tropical. El Salvador, Centro América, Boletín N° 1, International Irrigation Center, Utah Center State University . EE.UU.

Leroy Salazar, 1980. Guía para estudios de Evapotranspiración e instalación de parcelas demostrativas con riego por superficie. Internacional Irrigation Center. UTA State University. Logan, UTA.

Luthin, N. J., 1967. Drenaje de tierras agrícolas, teoría y aplicación. Centro Regional de Ayuda Técnica AID. México.

Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate: Geographical Review, v. 38, p. 55–94.

Anexo 1

FICHA N° 1							
DATOS DE LISIMETRO N°							
Local:		Cultivos:		Lamina	Volumen aplicado		
Elevación :		Mes :			Area del cilindro		
Latitud:				PP	Precipitación		
Lectura.	Vol. Aplic.	Lam. Aplic.	Nivel	Lam. Perc.	Tens.	H	Etp
Fecha	cc.	(mm) riego	agua	mm	CB	Riego	mm
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							