

DOCUMENTO DE TRABAJO

**EVALUACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CULTIVO
(Kc) Y EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA
(Eto) EN VALLES DE COCHABAMBA:
Análisis de la programación de riego campesina e
implicaciones en el balance hídrico de proyectos de riego**

**Alfredo Durán
Rígel Rocha
Lía Soto
Wilde Pardo**

Bolivia 2002

CONTENIDO

RESUMEN	3
ANTECEDENTES	4
METODOLOGÍA	5
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.	5
EL BALANCE HÍDRICO.....	7
ASPECTOS CONCEPTUALES	8
RESULTADOS	10
LA ETO DEL CULTIVO DE REFERENCIA	10
PRÁCTICAS DE RIEGO Y COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc)	12
<i>El cultivo de cebolla</i>	12
<i>El cultivo de maíz</i>	15
<i>El cultivo de haba</i>	18
<i>El cultivo de papa</i>	21
<i>El cultivo de zanahoria</i>	22
ANÁLISIS DE PRÁCTICAS CAMPESINAS Y SUS IMPLICACIONES EN EL BALANCE HÍDRICO .	27
LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ETO).....	27
PARÁMETROS CLIMÁTICOS Y COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc).....	27
LAS PRÁCTICAS DE RIEGO CAMPESINO.....	28
UTILIDAD PRÁCTICA DE LOS COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc) HALLADOS EN LA INVESTIGACION Y EL RIEGO DE PREPARACIÓN.....	30
CONSIDERACIONES PRÁCTICAS PARA EL BALANCE HÍDRICO.....	31
PROPUESTAS DE CAMBIO: PLANILLAS DE BALANCE HÍDRICO (PRONAR), CONSIDERACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO Y CICLOS DE CULTIVO	32
CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	41

RESUMEN

El balance hídrico en proyectos de riego es uno de los aspectos cruciales para la toma de decisiones sobre la infraestructura hidráulica, las inversiones, la gestión del sistema de riego, e incluso sobre la producción agrícola futura, al predecir lo que será la programación de riegos en el sistema.

El presente artículo discute los parámetros que se aplican en el cálculo de la demanda de agua en el balance hídrico de proyectos de riego, en el entendido de que dicho balance debería sustentarse en los criterios y prácticas de riego que realizan los agricultores, que expresados como calendarios agrícolas, cédula de cultivos, evapotranspiración de referencia, coeficientes de cultivo (K_c) y programación de riegos, representan los requerimientos de agua de los cultivos, que a su vez constituyen los parámetros de diseño para establecer la demanda de agua y que constituyen el fundamento para el dimensionamiento de la infraestructura hidráulica.

Los resultados de la investigación de balances hídricos en parcelas de agricultores muestran que los K_c de la FAO que son aplicados rutinariamente en el diseño de proyectos de riego, sobre-estiman el consumo real de agua por los cultivos y las aplicaciones que realizan los agricultores, pese a que las longitudes de los períodos vegetativos propuestos por la FAO son sensiblemente menores a los de las variedades locales. En el cálculo del balance hídrico para proyectos de riego, no se consideran las prácticas de riego y de cultivo que realizan los agricultores, y que están íntimamente vinculadas a sus estrategias de producción y a las modalidades de distribución de agua que constituyen parte central de la gestión de riego.

Es de singular importancia el riego de preparación, así como los criterios para definir los momentos y cantidades de las aplicaciones de agua que realizan los agricultores, especialmente durante las fases inicial y final, que en conjunto determinan una programación de riego diferente de las consideradas óptimas (FAO, 1976; FAO, 1998), aunque los niveles de humedad del suelo se mantengan en los límites cercanos a la humedad de reposición (50% de la capacidad de campo en este estudio), y solo en algunos momentos los cultivos están sometidos a *stress* hídrico.

El considerar las prácticas y los criterios de riego campesinos en el balance hídrico de proyectos de riego, tiene relevancia en el efecto sobre los indicadores de elegibilidad de los proyectos, que entre otros aspectos, podrían representar 1) un incremento del área bajo riego óptimo, 2) establecer programaciones de riego acorde a las necesidades de los agricultores, de manera que respondan a sus objetivos de producción agrícola y 3) exista una mayor consistencia en los planteamientos para el funcionamiento futuro del sistema de riego, al considerar de una forma más certera los requerimientos de riego para la producción agrícola, y sus implicaciones sobre la gestión y la infraestructura de riego.

ANTECEDENTES

El balance hídrico en proyectos de riego es una consecuencia del análisis entre la disponibilidad de agua y la demanda de agua de los cultivos, que es expresada a través de una programación de riegos o de oferta de agua que deben satisfacer los requerimientos de agua de los cultivos. Por tal razón, es uno de los aspectos más importantes en el diseño de proyectos de riego, pues mediante esta programación no solo se define el balance hídrico a nivel del sistema de riego, sino que se establecen criterios de elegibilidad para financiamiento como son el área incremental bajo riego óptimo e indicadores de rentabilidad del proyecto (TIR, B/C, VAN), etc.

Es también de gran importancia en el análisis de la producción agrícola, puesto que a través de esta programación se están pronosticando las tasas de aplicación de agua y los intervalos entre aplicaciones a los diferentes cultivos, que constituyen no solamente criterios de producción agrícola, sino también parámetros hidráulicos que son usados en el dimensionamiento de las obras hidráulicas de conducción y distribución de agua, que a su vez determinan modalidades de operación del sistema y permiten identificar las épocas de mayores requerimientos de mantenimiento de la infraestructura, a fin de que el sistema de riego funcione apropiadamente.

En esta perspectiva, es obvio que la programación de riego debería estar sustentada en los criterios y en las prácticas de riego que realizan los agricultores, de manera que la interacción entre la infraestructura y la gestión del sistema de riego permitan generar mejores condiciones para la producción agrícola (Durán y Hoogendam, 1998).

No obstante, los procedimientos empleados en el diseño de los proyectos de riego continúan basándose en la siguiente relación (FAO, 1976; FAO, 1998):

$$ETc = Kc * ETo \quad (1)$$

en la cual:

ETc: Evapotranspiración de cultivo (bajo riego óptimo)

Kc: Coeficientes de cultivo para las principales etapas de desarrollo de los cultivos

ETo: Evapotranspiración de referencia

En esta relación, existe incertidumbre sobre los dos parámetros centrales. Tanto los *Kc* como la *ETo* presentan dudas en los valores a considerarse. La ausencia de datos de *Kc* para condiciones locales implica que los *Kc* que usualmente se emplean son los proporcionados por la FAO, que deberían ser utilizados en condiciones similares de variedades, prácticas y calendarios agrícolas, de manera que los valores proporcionados estén plenamente ajustados a las circunstancias locales, y que además, deben ser empleados únicamente cuando se utiliza también la ecuación de Penman-Monteith modificada para el cálculo de la *ETo* (FAO, 1998). Por tanto, el empleo de otro método de estimación de la *ETo* involucra probables errores en los valores calculados de la *ETc*.

Pero además de estas fuentes de incertidumbre sobre los principales parámetros que definen el los requerimientos hídricos de los cultivos, en los balances hídricos de los proyectos de riego usualmente no se consideran ni la programación de riego, ni las prácticas de riego que realizan los campesinos, ni tampoco los ciclos fenológicos de las variedades locales, lo que implica que se aplican mecánicamente los valores de K_c obtenidos de tablas (FAO u otras entidades) y los cálculos de ET_o por cualquier método, dando como resultado un balance hídrico que puede tener escasa relación con la realidad del funcionamiento de los sistemas de riego y con las aplicaciones de agua que efectúan los agricultores.

METODOLOGÍA

Con el objetivo de generar un mayor conocimiento sobre las prácticas de riego de los campesinos y sus implicaciones en los parámetros de riego que determinan el balance hídrico y la programación de riegos, entre Julio de 1999 y Junio del 2001, se realizaron balances hídricos a nivel de parcela en predios de agricultores en las comunidades de Mallco Chapi y Sauce Rancho, municipio de Sipe Sipe del Valle Central de Cochabamba.

En las parcelas se realizó un seguimiento a las aplicaciones de riego y a las prácticas de riego en los cultivos de maíz, papa, haba, cebolla, alfalfa y zanahoria, determinándose los usos consuntivos de tales cultivos, a fin de establecer coeficientes de cultivo (K_c) obtenidos en base a la relación:

$$K_c = ET_c / ET_o \quad (2)$$

La finalidad del balance hídrico efectuado fue generar recomendaciones sobre coeficientes de cultivo (K_c 's) a través de la identificación del comportamiento de la ET_o a través del seguimiento a un cultivo de referencia (Alfalfa) a fin de recomendar métodos para determinar la ET_o que se adecuen a las condiciones de los Valles, y la cuantificación de la evapotranspiración de los principales cultivos (ET_c) en el Valle Central de Cochabamba de acuerdo con sus características fenológicas. Asimismo, para establecer criterios de riego de los agricultores orientados a analizar la forma en que deberían ser considerados en el balance hídrico de proyectos de riego.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.

El estudio se llevó a cabo en el Valle Central de Cochabamba, en 12 parcelas ubicadas en las comunidades de Mallco Chapi y Sauce Rancho, del municipio de Sipe Sipe, de la provincia de Quillacollo, departamento de Cochabamba. Esta zona se encuentra a 23 Km. de la ciudad de Cochabamba por la carretera a La Paz. La zona de estudio presenta un clima templado, siendo apto para el desarrollo normal de los cultivos de estudio. La altitud varía de 2560 a 2620 msnm. De acuerdo a datos de la estación climatológica de "Pairumani", la temperatura media anual es de 17.5°C, registrando temperaturas máximas de hasta 34°C (diciembre), y mínimas de -2°C (julio). La precipitación anual fluctúa entre los 350 y 700 mm, concentrados principalmente en los meses de noviembre a marzo. La humedad media relativa es de 50.83 %.

La zona se caracteriza por una elevada disponibilidad de agua (principalmente de pozos de riego), y este factor fue uno de los criterios para trabajar en esta zona, a su vez se acordó con los agricultores que las reposiciones de agua al suelo se realizarían cuando la humedad alcanzase el 50% del contenido de la capacidad de campo, a fin de mantener la humedad dentro de los límites considerados como riego óptimo (FAO, 1976). Estos contenidos fueron monitoreados mediante seguimientos constantes a la humedad del suelo.

Las parcelas elegidas para el seguimiento fueron codificadas de acuerdo al cultivo y al propietario de cada parcela. En la siguiente figura se observan las parcelas estudiadas y su ubicación en la zona.

Figura 1. *Ubicación de las parcelas de estudio.*



La alta aptitud agrícola de la zona permite el cultivo intensivo de: cebolla, zanahoria, maíz, alfalfa, haba, papa, avena y otros cultivos. De acuerdo a datos de Camacho (2000), los cultivos de cebolla, zanahoria, maíz y alfalfa, ocupan entre el 60 y 68 % de la superficie

total de la comunidad de Mallco Chapi, por lo que se concluye que la horticultura y la lechería son las actividades principales de los agricultores de esta zona.

Debido a que las precipitaciones pluviales no satisfacen los requerimientos hídricos de los cultivos, se hace indispensable el uso de agua para riego, para lo cual los agricultores de la zona cuentan con agua proveniente de pozos y del río Viloma. Actualmente el agua de los pozos es la más importante, debido principalmente a su alta disponibilidad a lo largo de todo el año. El funcionamiento de los pozos, varía desde las tres horas en época de baja demanda (Enero a Marzo) a 48 horas continuas con pequeños intervalos de reposo en época de alta demanda (Septiembre a Noviembre) teniendo un promedio de funcionamiento de 18 horas por día durante todo el año (Camacho, 2000).

EL BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico se sustentó en la siguiente ecuación (FAO, 1998):

$$(P + I) - (ETc + R + D) = \pm\Delta S \pm \Delta V \quad (3)$$

Donde:

P = Precipitación

I = Cantidad aportada por el riego

R = Escorrentía superficial

D = Drenaje profundo fuera de la zona radicular

ETc = Evapotranspiración del cultivo

ΔS = Variación de almacenamiento de agua en el suelo

ΔV = Variación en el contenido de agua en la planta

En la práctica, los valores de *R*, *D* y ΔV , no fueron tomados en cuenta. En el caso de la escorrentía (*R*), las parcelas elegidas presentaron una pendiente mínima (<1%) y bordos altos que impidieron la salida de agua de la parcela (ambas son prácticas comunes en los Valles). Se constató a través de las pruebas de conductividad hidráulica que, por las características de permeabilidad de los suelos de la zona, prácticamente no existía percolación profunda (*D*). Asimismo, se descartó la variación en el contenido de humedad de las plantas (ΔV) por su escasa significancia en el balance hídrico general.

De esta forma, la ecuación se redujo a:

$$ETc = \pm\Delta S + (P + I) \quad (4)$$

La precipitación se midió mediante un pluviómetro instalado en la zona, los riegos fueron seguidos en cada oportunidad y en cada una de las parcelas, el almacenamiento de humedad del suelo se determinó mediante una sonda de moderación de neutrones, y por diferencia entre estos parámetros se determinó la *ETc* de cada uno de los cultivos en estudio.

Simultáneamente, se efectuaron seguimientos a parcelas de alfalfa sin cortes, mantenida a una altura de 40 a 50 cm, con cobertura completa y bajo riego óptimo, a fin de establecer una *ETo* de referencia que al compararse con las *ETo*'s calculadas por los métodos de

Penman-Monteith, Hargreaves, Thornthwaite, Blanney Criddle y Serruto, permitiese establecer cual de estas ecuaciones se ajustaba mejor al comportamiento del cultivo de referencia.

En base a este procedimiento, se determinaron los Kc de los cultivos considerados, así como la ETo del cultivo de referencia. Los Kc se determinaron de acuerdo a la ecuación 2: $Kc = ETc/Eto$, en la cual ETo es la evapotranspiración del cultivo de referencia (Alfalfa), y la ETc la evapotranspiración de los diferentes cultivos bajo condiciones de riego óptimo (humedad de reposición al 50% de la capacidad de campo).

En base a los resultados obtenidos, se realizaron posteriormente análisis comparativos entre las aplicaciones de riego campesino y riego teórico, establecidas mediante simulaciones efectuadas en el programa CROPWAT, a fin de establecer las diferencias entre las aplicaciones teóricas y las realizadas por los agricultores.

ASPECTOS CONCEPTUALES

La hipótesis central que guió el estudio es que los Kc's son básicamente una expresión del tipo de cultivo y de las prácticas de riego locales. Es decir que mientras las prácticas de riego sean homogéneas, y no existan grandes fluctuaciones de parámetros meteorológicos, especialmente de humedad relativa y velocidad del viento, los Kc's serán también similares, variando únicamente la ETo. Por esta razón, los Kc's encontrados tendrían validez en la mayor parte de los Valles puesto que las prácticas de riego que realizan los agricultores y las condiciones meteorológicas son similares.

Para la aplicación de agua a los cultivos, los agricultores consideran varios factores, como son la disponibilidad de agua, la gestión del sistema de riego, los criterios agronómicos locales y el conjunto de las prácticas tecnológicas que ellos aplican, consecuencia de su experiencia y conocimiento (Durán, 1995; Gutiérrez, 1993).

Por ello, el cálculo del balance hídrico efectuado con fines de obtención de parámetros de riego deben tener un carácter referencial, y por esta misma razón la utilidad primordial de tales balances deben orientarse a identificar y valorar los criterios campesinos de aplicación de riego, a fin de lograr programaciones de riego más acordes con la realidad de la gestión de riego y los conocimientos campesinos referidos a la aplicación de agua a los cultivos.

En este sentido, se han identificado una serie de estrategias campesinas que definen criterios, momentos y cantidades de agua que deben ser aplicadas a los cultivos en el afán de optimizar el uso del agua (Durán, 1999). Estas estrategias productivas y de uso de agua se expresan a través de diversas prácticas, dentro las que pueden mencionarse:

- El uso combinado de dos o más fuentes de agua en zonas de alta disponibilidad de agua, que permiten la interacción entre usuarios que intercambian turnos, o permiten generar diversas formas de acceso al agua de riego.
- Estrategias de uso múltiple del agua, dado que en el ámbito de los sistemas de riego en la región andina, además del riego a los cultivos, el agua tiene para las familias de

agricultores un rol vital, pues cumple distintas funciones en lo referente a otros usos agrícolas y no agrícolas.

- Los tipos de riego campesino están en función de los criterios de aplicación de riego. Entre éstos pueden identificarse riegos complementarios, que representan la eventual aplicación de agua a los cultivos en la época lluviosa, y riegos suplementarios, que se aplican en época de estiaje y que constituye la principal y a veces única fuente de suministro de agua. Pueden identificarse además varios tipos de riego, que responden a determinados objetivos y su realización está vinculada a la oferta de agua de cada tipo de fuente. Entre estos tipos de riego se pueden citar: riegos de remojo, riegos de preparación del terreno, riegos de pre-siembra, riegos al cultivo, riegos al barbecho, lameo, riegos a bofedales, etc (del Callejo, 1997).
- Las prácticas campesinas de manejo de agua, que constituyen una expresión del conocimiento y la tecnología campesina de riego y se complementan con la realización de distintas prácticas de manejo del suelo específicas para cada cultivo, las que están enfocadas a lograr ciertas condiciones físicas en el suelo, así como determinados niveles de humedad que favorezcan el desarrollo de los diferentes cultivos (Delgadillo, 1996).
- Adecuación de variedades y sistemas de cultivo a la disponibilidad de agua, que implica decisiones respecto al área regada y la intensidad de uso de la tierra, puesto que en función a la disponibilidad de agua y la época, distintos patrones de cultivo determinan también diferentes requerimientos de riego, lo cual se expresará en cada caso en la superficie regada y la intensidad de cultivo.
- Adecuación de las áreas de cultivo a la disponibilidad de agua, que involucra decisiones respecto a la intensidad de riego que aplicarán a sus cultivos, ya que se plantean dos tipos de situaciones: por una parte, existe la opción de concentrar el riego en una superficie relativamente pequeña en la cual se producirán intensivamente algunos cultivos, con la intención de lograr la máxima producción posible de estas áreas. Por otra, es también posible expandir el agua a una mayor superficie bajo riego, con la perspectiva de lograr menores rendimientos por unidad de tierra, pero mayor producción por unidad de agua utilizada.
- Las siembras escalonadas y los cambios en el calendario agrícola, que tienen su fundamento en el hecho de que no solo los factores que influyen la producción desde el punto de vista agroecológico determinan las diversas producciones, sino también factores de disponibilidad de recursos y de mercado, tales como las variaciones de precio a lo largo del año y las épocas de mayor demanda de ciertos productos, para lo cual los campesinos deben disponer de productos para su oferta. A través de las siembras escalonadas se programan los mayores volúmenes de producción de cultivos orientados al mercado de acuerdo a las mejores condiciones de precio en una época determinada, procurando así obtener los mayores beneficios para los productos a ser comercializados. Pero especialmente, en función a la disponibilidad de agua, los agricultores pueden modificar los calendarios agrícolas; es decir, adelantar y atrasar siembras de acuerdo a las necesidades de productos y la demanda del mercado, ajustándose así a las posibilidades y requerimientos de cada época. Desde el punto de vista de uso del agua, las siembras escalonadas presentan también una serie de ventajas, pues se observa en base a datos de seguimiento al riego (Vega, 1996, Fuentes, 1998, Soto, 1997), que cuando se comparan las demandas de agua de un cultivo sembrado en forma escalonada con el mismo cultivo sembrado en una sola época, los requerimientos de riego en el caso del cultivo escalonado

se extienden a un mayor período de tiempo, pero en contrapartida, se reducen drásticamente los picos de demanda de agua (Durán, 1999).

- Siembras combinadas de diversos cultivos, que permiten obtener cosechas de distintos productos ya sea en forma simultánea, o más corrientemente, de distintos productos en forma secuencial. Asimismo, este tipo de prácticas representa utilizar de mejor manera el trabajo familiar, al realizar actividades agrícolas con múltiples objetivos.

En síntesis, las razones de los agricultores para efectuar tales prácticas en la producción agrícola bajo riego, están en función de una serie de consideraciones relacionadas a la disponibilidad de agua, los objetivos económicos de la producción, la tecnología de riego de cada región, las condiciones de producción existentes: mano de obra, tierra, clima, etc. Por tanto, las decisiones productivas que asumen durante cierta campaña agrícola involucran también determinados requerimientos de agua de riego, que pueden expresarse a través de programaciones de riego que reflejan las demandas de agua mínimamente suficientes para cumplir con sus estrategias y objetivos de producción.

En esta perspectiva, los seguimientos parcelarios y el análisis de los parámetros del balance hídrico en condiciones de riego campesino, constituyen criterios concretos para reconsiderar las características de la programación campesina de riego, y replantear a su vez los conceptos para estimar el balance hídrico en procesos de diseño.

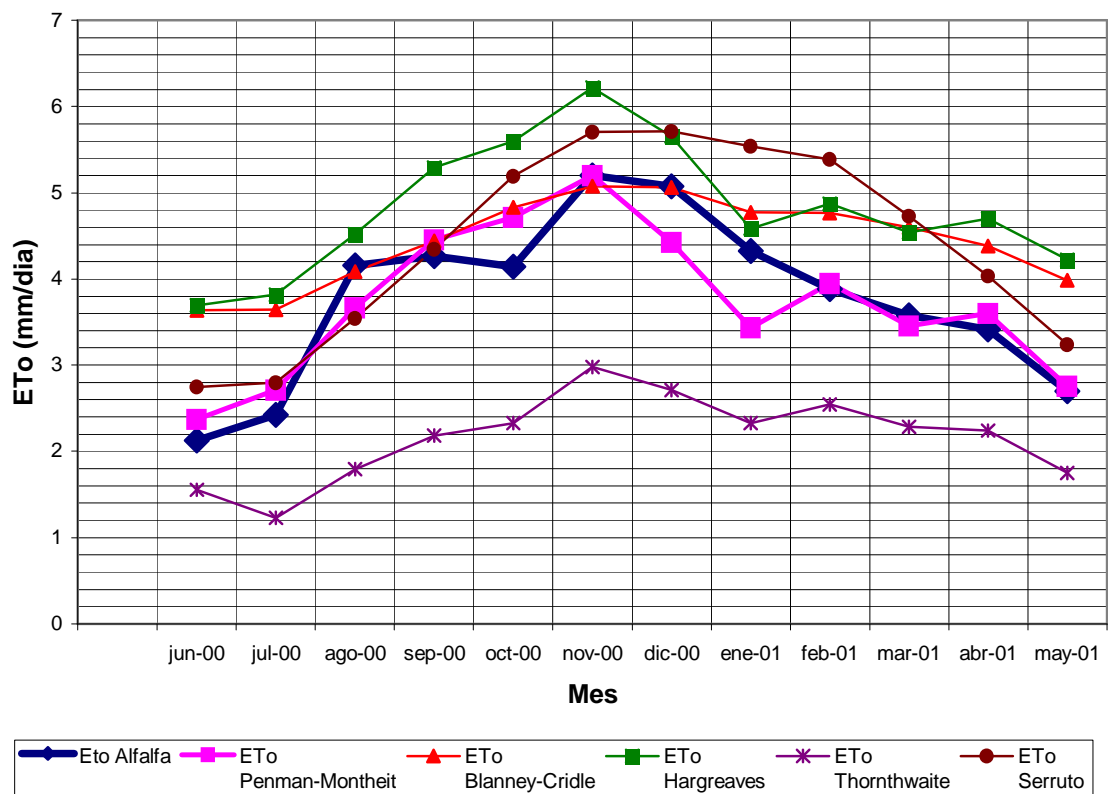
RESULTADOS

LA ETO DEL CULTIVO DE REFERENCIA

En nuestro país la falta de datos climáticos ha obligado a los técnicos a utilizar el método de cálculo de evapotranspiración de referencia que se ajuste a la información disponible, siendo algunos de los más frecuentemente utilizados los métodos de Hargreaves, Blanney Cridle, Thornthwaite y Serruto, siendo pocas veces utilizado el método de Penman Monteith por la cantidad de datos requeridos. Con el objeto de contar con datos locales de evapotranspiración de referencia (ETo), y considerando que en nuestro medio el Ray Grass tiene muy poca difusión, se optó por considerar a la alfalfa como cultivo de referencia.

Los resultados del análisis comparativo entre la Alfalfa como cultivo de referencia para la determinación de la ETo, respecto a los métodos empíricos con que ésta fue comparada, muestran los siguientes resultados:

Figura 2. Comparación de los valores de Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) mensual por los diferentes métodos calculados.



Se observa en el gráfico que el comportamiento de la ETo de la Alfalfa se asemeja a la ETo de Penman Monteith durante la mayor parte del año, excepto durante los meses entre Diciembre y parte de Febrero, en los cuales Penman-Monteith muestra valores menores, lo cual puede atribuirse al incremento de la humedad relativa en dicha época, así como a la disminución en la intensidad de los vientos, que incidirían en una subestimación del valor real de la ETo durante este período. Por el contrario, en Octubre existe una menor humedad almacenada en el suelo, lo que ocasiona una menor tasa de ETo en esta época. No obstante esta y otras variaciones son del orden de décimas de milímetros por día, por lo cual no tendría mayor significado en un balance mensual.

Por otra parte, la ETo de Hargreaves, aunque sobre-estima en un 10 a 20 % la ETo de Penman-Monteith o de la Alfalfa, presenta un comportamiento muy similar durante el año, razón por la cual la FAO (1998), propone un procedimiento de ajuste de la ETo de Hargreaves en relación a Penman-Monteith, con la finalidad de utilizar los Kc's recomendados por la FAO para esta última ecuación.

Los restantes métodos no guardan mayor relación con el comportamiento a lo largo del año de la ETo de referencia, excepto Serruto durante la época de estiaje, que puede ser adecuado para programaciones de riego para esta época.

PRÁCTICAS DE RIEGO Y COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc)

El cultivo de cebolla

La preparación del terreno empieza una a dos semanas antes del transplante con la rotavateada, luego de esta práctica y un día antes del transplante realizan la nivelación del terreno, finalizan la preparación del terreno con la formación de eras. El transplante realizan en terreno seco, el primer riego o riego de transplante es aplicado el mismo día, una vez que concluyen con el transplante. A un mes del transplante y después del cuarto riego hacen la primera carpida o “chhipida”, cuya finalidad es la de desencostrar y nivelar el terreno. Después del sexto riego a dos meses del transplante hacen la segunda carpida o “thamida”, y antes de cada carpida fertilizan el terreno con urea y guano. Dependiendo de las condiciones de fitosanidad de los cultivos, hacen entre una y dos aplicaciones de fungicidas e insecticidas.

La cebolla cosechada en verde recibe entre 10 a 11 riegos, y la cebolla cabeza recibe alrededor de 15 riegos. Al comparar las láminas de riego aplicadas al cultivo y las láminas calculadas por el CROPWAT, considerando los mismos ciclos de cultivo, las características climáticas y edafológicas, y una eficiencia de aplicación del 70% (estimada en campo), los resultados muestran en el caso de cebolla verde y cebolla cabeza, que las tasas de riego aplicados por los campesinos difieren tanto en las láminas como en los intervalos.

Figura 3. Comparación de láminas de riego aplicada y calculada en forma óptima (CROPWAT) en el cultivo de cebolla verde (CJE-1)

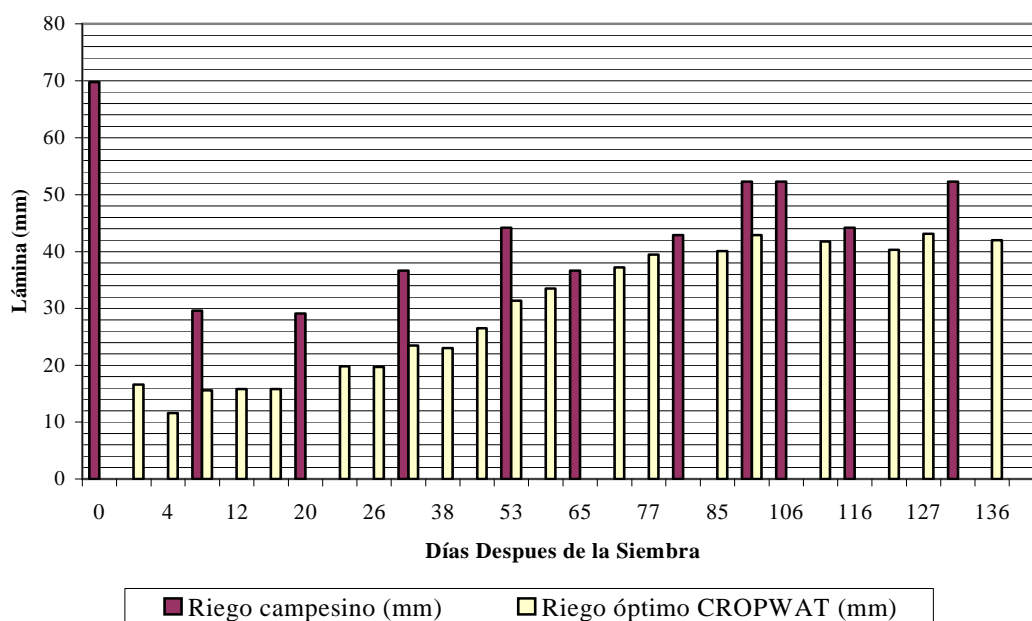
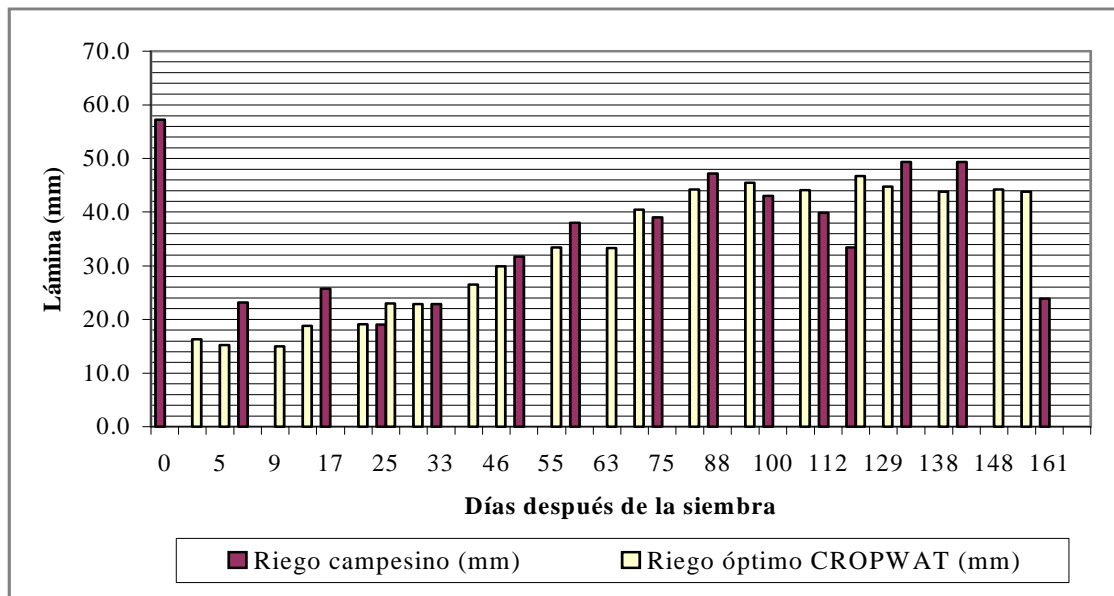


Figura 4. Comparación de láminas de riego aplicada y calculada en forma óptima (CROPWAT) en el cultivo de cebolla cabeza (CNR-1)



En ambos casos, el riego de trasplante constituye la mayor aplicación de agua en el riego campesino. Pese a las diferencias en las tasas e intervalos de aplicación de riego, los Kc's calculados según FAO con relación a los obtenidos con la ETo de referencia tienen valores similares.

En las figuras siguientes se realiza una comparación de los valores de Kc obtenidos en el presente estudio (con ETo de referencia), con los Kc's de la FAO (1998) ajustados a las condiciones de las parcelas de estudio. En el caso de las dos cebollas (CJE-1 cebolla verde y CNR-1 cebolla cabeza), los Kc's difieren en las etapas inicial y final, durante la etapa media los Kc's son similares produciéndose pequeñas diferencias.

Figura 5. *Coefficientes de cultivo (Kc) para cebolla verde en la parcela CJE-1, en comparación con el coeficiente de cultivo FAO (1998) ajustado*

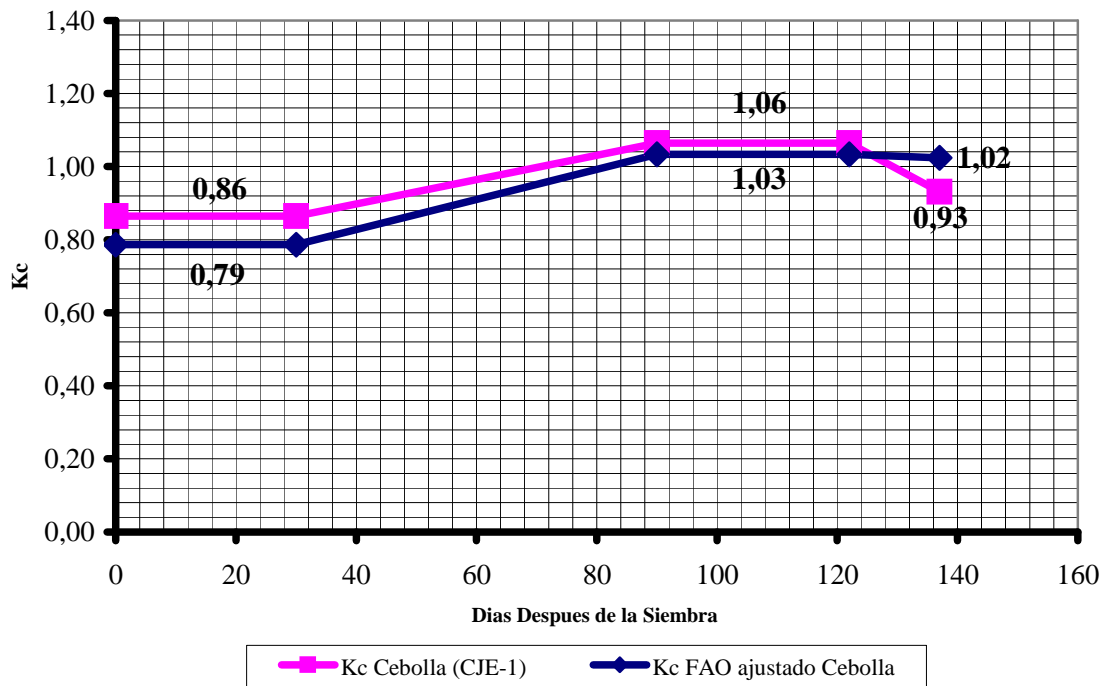
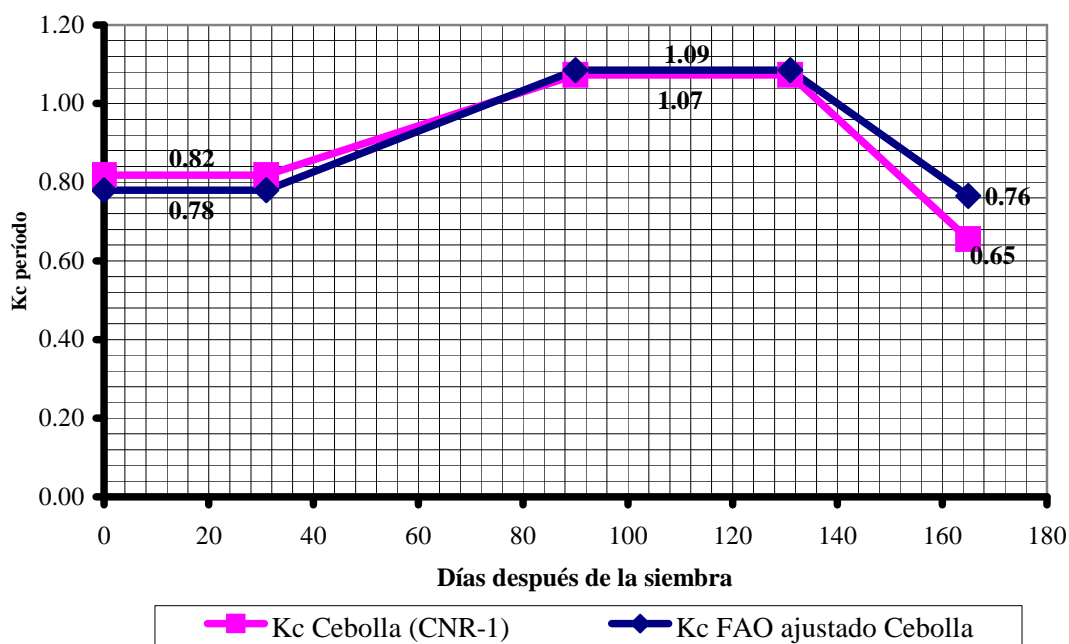


Figura 6. *Coefficientes de cultivo (Kc) de cebolla cabeza en la parcela CNR-1, en comparación con el coeficiente de cultivo FAO (1998) ajustado*



En la etapa inicial los Kc's determinados presentan valores superiores a los Kc's FAO ajustados, producto de la elevada lámina de riego aplicada en el trasplante por los agricultores, teniendo como criterio asegurar el prendimiento de los plantines y el desarrollo de los mismos. En la fase final la diferencia es mayor, porque en nuestro medio se reduce drásticamente la aplicación de agua en esta fase, produciéndose además la práctica del pisoteo de las hojas con el objeto de producir un mayor desarrollo del bulbo.

El cultivo de maíz

Dependiendo de las condiciones del suelo (contenido de humedad, compactación) la preparación del terreno se puede iniciar con el riego de preparación para luego recibir una arada; otra modalidad para preparar el terreno consiste en hacer primero la arada y luego aplicar el riego de empanto, ambas modalidades de preparación culminan con la rastreada o mullido del terreno, la preparación la pueden realizar uno o medio mes antes de la siembra.

El maíz es sembrado durante la primera quincena del mes de agosto, al mes y medio de la siembra aplican el primer riego y antes de esta aplicación hacen el aporque. El requerimiento hídrico del cultivo en algunos casos (la minoría) hace que apliquen el primer riego antes de aporcar el terreno. El maíz en la zona recibe hasta siete riegos, luego de los cuales cosechan el producto (choclo) a los 5 meses después de la siembra.

Figura 7. Comparación de láminas de riego aplicada y calculada en forma óptima (CROPWAT) en el cultivo de maíz choclo (MFG-1)

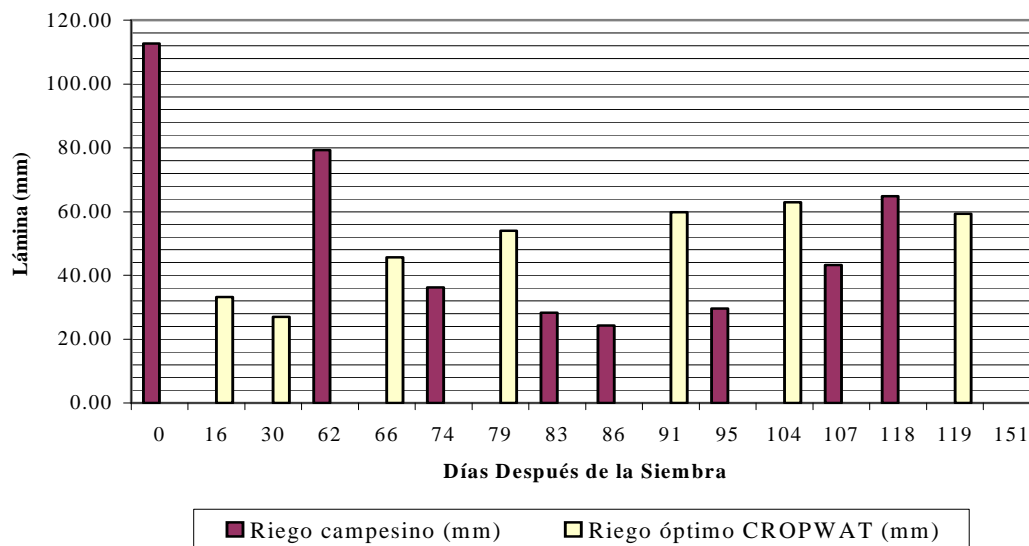
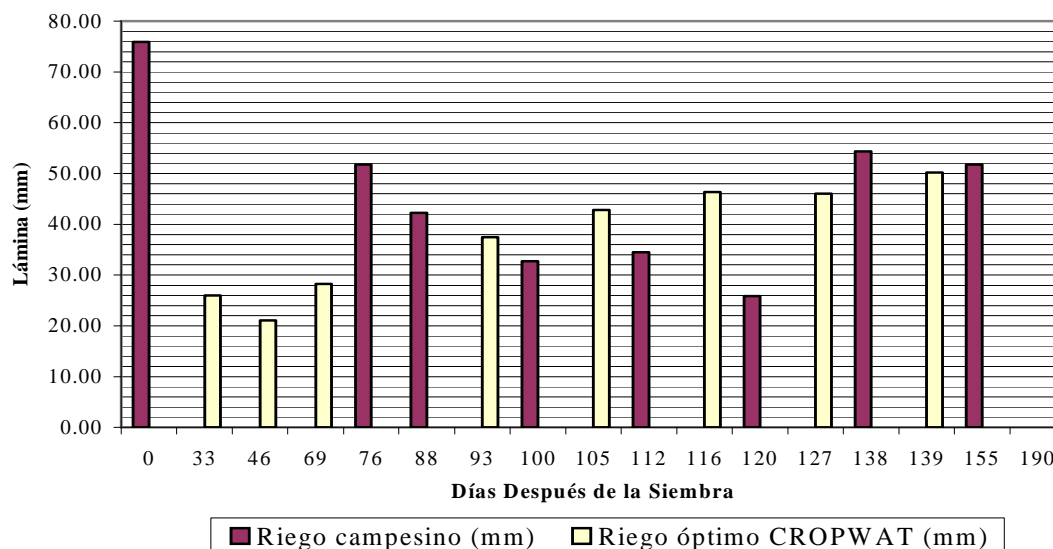


Figura 8. Comparación de láminas de riego aplicada y calculada en forma óptima (CROPWAT) en el cultivo de maíz choclo (MRV-1)



Las aplicaciones de agua al maíz efectuadas por los agricultores muestran amplias diferencias en relación a la programación de CROPWAT, especialmente durante la fase inicial. Es importante considerar el rol del riego de preparación y la posterior fase inicial sin ninguna aplicación de riego al cultivo, que según criterio de los agricultores se debe a favorecer que el maíz tenga una sólida emergencia para evitar ataque de patógenos y eventual acame. Asimismo, durante las fases media y de desarrollo del cultivo las aplicaciones, aunque distintas de las teóricas, representan en cantidad y frecuencia un comportamiento similar entre ambas programaciones de riego.

En las figuras siguientes se comparan los valores de Kc's ajustados de la FAO con los valores de Kc's de maíz obtenidos en el presente estudio, en los cuales no se ha considerado el riego de preparación, puesto que se efectuaron con bastante anterioridad a la siembra. En ambos casos, los Kc's de la fase inicial obtenidos son considerablemente menores que los Kc's FAO ajustados. En esta fase la FAO sobreestima el requerimiento hídrico del maíz cultivado en las condiciones locales, esto se debe principalmente a que la FAO considera la aplicación de riego en esta etapa, y en nuestro medio los requerimientos hídricos del maíz se cubren con el riego de preparación cuya lámina es elevada, y que mantiene el cultivo hasta su primer riego, coincidente con el inicio de la segunda fase del cultivo. En las fases media y final los coeficientes ajustados de la FAO son también mayores que los obtenidos, sin embargo las variaciones son sensiblemente menores que las registradas en la fase inicial.

Figura 9. *Coefficientes de cultivo (Kc) para maíz choclo en la parcela MRV-1, en comparación con el coeficiente de cultivo FAO (1998) ajustado.*

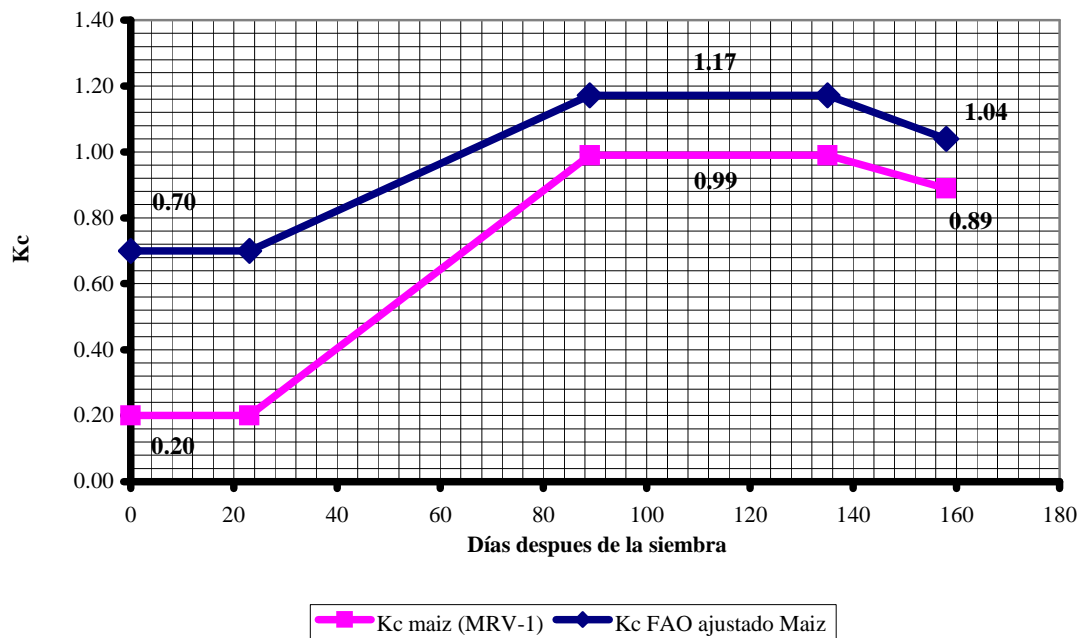
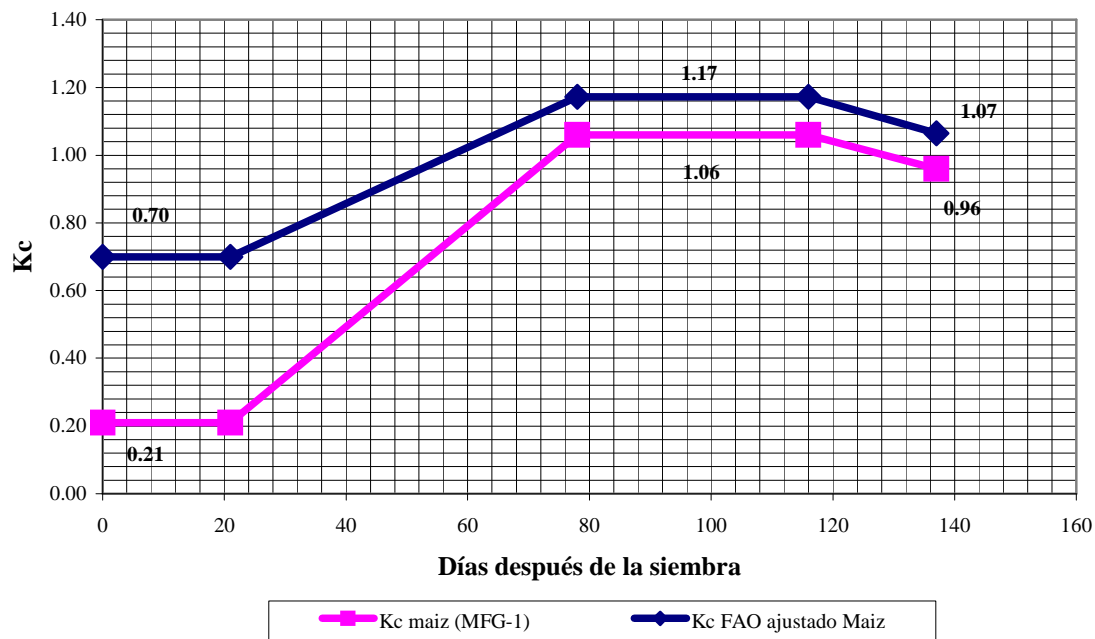


Figura 10. *Coefficientes de cultivo (Kc) para maíz choclo en la parcela MFG-1, en comparación con el coeficiente de cultivo FAO (1998) ajustado.*



El cultivo de haba

La preparación del terreno en haba es realizada medio mes antes de la siembra, la misma consiste en la arada seguida del riego de preparación, finalizando con la rotavateada. El haba es sembrada entre los meses de mayo a junio, durante el ciclo del cultivo no realizan ninguna labor agrícola, solo hacen un control fitosanitario. Este cultivo recibe entre 6 y 7 riegos, cosechan en dos oportunidades, y la cosecha es a 4.5 o 5 meses después de la siembra.

Figura 11. Comparación de láminas de riego aplicada y calculada en forma óptima (CROPWAT) en el cultivo de haba (HRV-1)

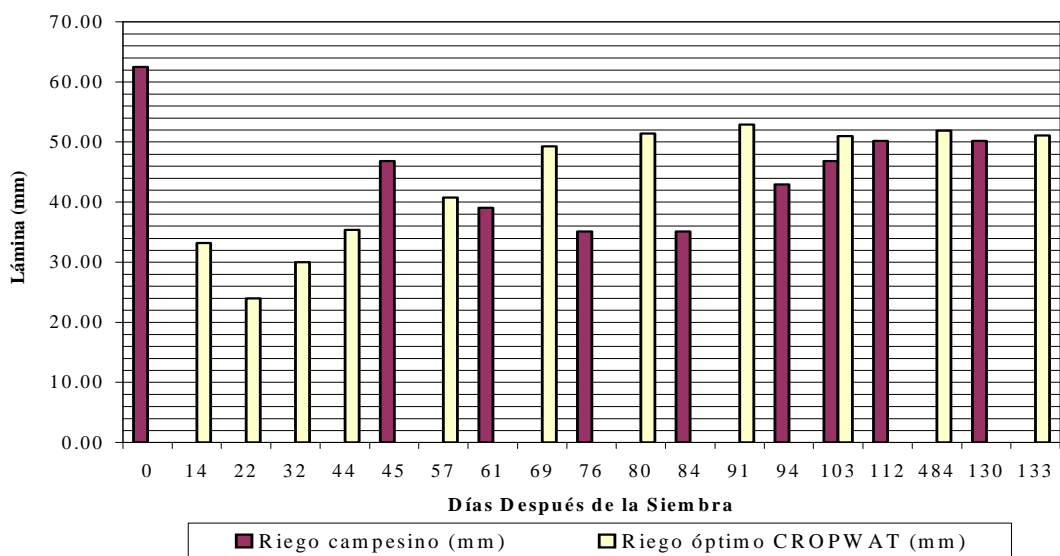
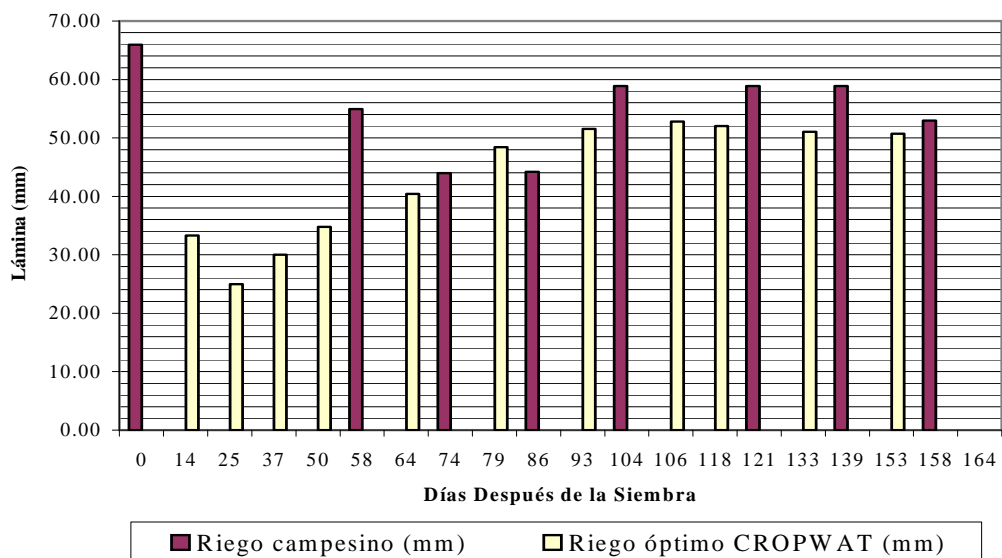


Figura 12. Comparación de láminas de riego aplicada y calculada en forma óptima (CROPWAT) en el cultivo de haba (HLR-1)



Se observa, al igual que en el caso del maíz, un período inicial sin ninguna aplicación de riego, que sin embargo es compensado por la lámina aplicada durante la preparación del terreno. Durante el resto del ciclo del cultivo, existe cierta similitud en las aplicaciones de riego, en relación a la programación teórica. Comparando los coeficientes de cultivo determinados para las parcelas HRV-1 y HLR-1, con los Kc's de Penman Montheit ajustado a condiciones locales, se tiene que en la fase inicial los Kc's determinados son similares a los Kc's FAO ajustados, disminuyendo en las etapas media y final.

Figura 13. *Coefficientes de cultivo (Kc) para haba en la parcela HRV-1, en comparación con el coeficiente de cultivo FAO (1998) ajustado.*

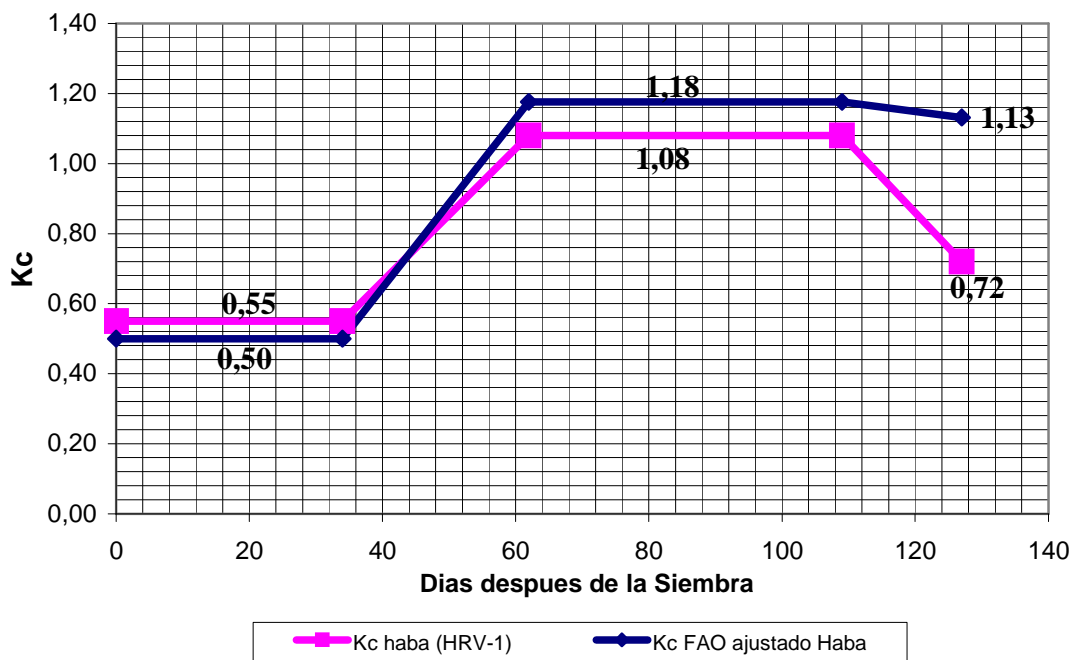


Figura 14. *Coefficientes de cultivo (Kc) para haba en la parcela HLR-1, en comparación con el coeficiente de cultivo FAO (1998) ajustado.*

