

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**“REQUERIMIENTO HÍDRICO Y PROGRAMACIÓN DE RIEGO,
DE LOS CULTIVOS DE *Pisum sativum* L, *Brassica oleracea* L
y *Allium cepa* L, EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL CANAAN
(INIA) a 2,760 m.s.n.m. - AYACUCHO”**

Tesis para obtener el Título Profesional de

INGENIERO AGRÓNOMO

Ignacio, NOA ORÉ

Ayacucho – Perú

2011

“REQUERIMIENTO HÍDRICO Y PROGRAMACIÓN DE RIEGO, DE LOS CULTIVOS DE *Pisum sativum L.* *Brassica oleracea L.* y *Allium cepa L.*, EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL CANAAN (INIA) A 2,760 m.s.n.m. – AYACUCHO”

Recomendado : 13 de abril de 2011
Aprobado : 06 de mayo de 2011



M.Sc. ING. RUBÉN ALFREDO MENESES ROJAS
Presidente del Jurado



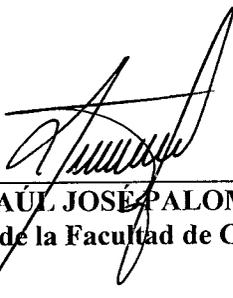
M.Sc. ING. SANDRA DEL AGUILA RÍOS
Miembro del Jurado



ING. WALTER AUGUSTO MATEU MATEO
Miembro del Jurado



ING. JUAN BENJAMÍN GIRÓN MOLINA
Miembro del Jurado



M.Sc. ING. RAÚL JOSÉ PALOMINO MARCATOMA
Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias

DEDICATORIA

Con eterna gratitud y reconocimiento a mis padres:

PETRONILA ORÉ que en paz descanse y **DAVID NOA**
por su abnegada colaboración incondicional en el logro
de mi profesión.

A mis hermanos: **OLINDA, CIRIACO Y WILFREDO**
por su apoyo incondicional en todo momento y darme
el aliento de avanzar en el camino de la superación.

Con mucho cariño a **ABIGAIL MABEL, MARY**
por ser fuente inagotable de amor, aliento y comprensión

AGRADECIMIENTO

Expreso mis sinceros agradecimientos:

A la Universidad Nacional de san Cristóbal de Huamanga; mi alma Mater, por haberme acogido y formado profesional.

A los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias por compartir sus conocimientos y experiencias.

Al Ing Sandra Del Aguila Ríos por el asesoramiento y valioso aporte que brindó en el presente trabajo de investigación.

Al Instituto de Innovación Agraria (INIA) por darme la oportunidad de realizar el presente trabajo de investigación, en sus ambientes ubicados en Canaán - Ayacucho.

Al Ing. Herbert Núñez Alfaro por su colaboración en la instalación y conducción del presente trabajo de investigación.

A todas aquellas personas que desinteresadamente contribuyeron en la culminación del presente trabajo de investigación.

INDICE	PAG
LISTA DE SIMBOLOS	
INTRODUCCION	
I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	: 4
1.1 CONCEPTOS GENERALES	: 4
1.1.1 Evapotranspiración	: 4
1.1.2 Factores que afectan la Evapotranspiración	: 6
1.1.3 Métodos para determinar la (ET)	: 6
1.1.4 Evapotranspiración de referencia (ETo)	: 11
1.1.5 Evapotranspiración de Cultivo (ETc.)	: 15
1.1.6 Evapotranspiración Real o Actual (ETr)	: 16
1.1.7 Coeficiente del Cultivo (Kc)	: 17
1.1.8 Fases de desarrollo de los cultivos	: 18
1.2 AGUA EN EL SUELO	: 19
1.2.1 Formas en que se encuentran el agua en el suelo	: 19
1.2.2 Coeficientes hídricos o constantes de humedad	: 20
1.2.3 Humedad total utilizable o humedad disponible	: 21
1.2.4 Explotación del agua disponible en el suelo	: 22
1.2.5 Movimiento del agua en el suelo	: 23
1.3 AGUA EN LA PLANTA	: 24
1.3.1 Movimiento del agua en el Sistema planta – atmósfera	: 24
1.3.2 Efectos fisiológicos de la eficiencia de agua	: 25
1.3.3 Periodo crítico de consumo de agua por los cultivos	: 26
1.3.4 Eficiencia de utilización de agua para el rendimiento de Cosecha	: 27
1.3.5 Rendimiento del cultivo.	: 27
1.4 NECESIDAD DE RIEGO DE LOS CULTIVOS	: 29
1.4.1 Definición de riego	: 29
1.4.2 Necesidad de Riego de los Cultivos	: 29
1.4.3 Programación de riego	: 29
1.4.4 Eficiencia de riego	: 32

1.4.5 Precipitación efectiva	: 33
1.4.6 Estado de desarrollo de los vegetales condiciona la práctica de Riego	: 34
1.4.7 Riego y rendimiento	: 37
1.4.8 Rendimiento de los cultivos en riego superficial	: 38
1.4.9 Régimen de riego	: 38
1.5 DESCRIPCIÓN DE LAS PLANTAS CULTIVADAS	: 40
1.5.1 Cultivo de pasto (<i>Lolium perenne L.</i>)	: 40
1.5.2 Cultivo de Cebolla (<i>Allium cepa L.</i>)	: 41
1.5.3 Cultivo de Col (<i>Brassica oleracea L.</i>)	: 43
1.5.4 Cultivo de Arveja (<i>Pisum sativum L.</i>)	: 45
1.6 REPORTE DE OTROS TRABAJOS SIMILARES	: 46
II MATERIALES Y METODOS	: 50
2.1 DESCRIPCION DEL TRABAJO DE INVESTIGACION	: 50
2.1.1 Ubicación	: 50
2.1.2 Características climáticas	: 50
2.1.3 características del suelo	: 52
2.2 ORGANIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	: 54
2.2.1 Factores en estudio	: 54
2.2.2 Diseño Experimental	: 57
2.2.3 Características de la parcela experimental	: 57
2.3 MATERIALES Y EQUIPOS	: 59
2.3.1 Materiales	: 59
2.3.2 Equipos	: 59
2.3.3 Insumos	: 59
2.4 METODOLOGIA	: 60
2.4.1 Trabajo de campo	: 60
2.4.2 Trabajos de laboratorio	: 69
2.4.3 Parámetros de evaluación	: 69
III RESULTADOS Y DISCUSIONES	: 76
3.1 Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET _o)	: 76
3.2 Requerimiento de agua de los cultivos	: 87

3.3 Determinación del coeficiente del cultivo (Kc)	: 93
3.4 Etapa crítica de consumo de agua de los cultivos	: 98
3.5 Resultados de programación del riego	: 102
3.6 Rendimiento de los cultivos	: 111
3.7 Análisis e interpretación estadística	: 113
3.7.1 Diseño estadístico completamente Randomizado	: 113
3.7.2 Diseño estadístico Bloque completamente Randomizado	: 114
IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	: 116
4.1 CONCLUSIONES	: 116
4.2 RECOMENDACIONES	: 118
V BIBLIOGRAFIA	: 120
VI RESUMEN	: 123
VII ANEXOS	: 126

LISTA SIMBOLOS EMPLEADOS

ETo	: Evapotranspiración potencial o de cultivo de referencia
ETc	: Evapotranspiración de cultivo
Eta	: Evapotranspiración actual o real del cultivo
Kc	: Coeficiente o factor de cultivo
UC	: uso consuntivo
L	: Lámina de agua disponible en el suelo
Ln	: Lámina neta
Lb	: Lámina bruta
CC	: Capacidad de Campo
PMP	: Punto de marchitez permanente
HFU	: Humedad Fácilmente Utilizable
HTU	: Humedad Total utilizable
ETan	: Evapotranspiración del Tanque Evaporímetro Clase "A"
KTan	: Coeficiente del Tanque Evaporímetro clase "A"
HR	: Humedad Relativa (%)
HRmed	: Humedad Relativa media (%)
A/B	: Cobertura y Extensión
C	: Factor de ajuste para f fórmula de Penman
F	: Factor de ponderación de la ecuación de Penman
Rn	: radiación neta total
F (u)	: Función del tiempo
Ea	: Presión de vapor de agua a saturación
Ed	: Presión de vapor de agua ambiente
Ra	: Radiación Extraterrestre
Tm	: Temperatura media diaria (°C)
TD	: Diferencia de temperatura diaria, promedio (°C)

INTRODUCCION

Una de las preocupaciones actuales más importantes en la agricultura, es la dotación adecuada de agua a los cultivos; con el único propósito de economizar el agua que en nuestro medio es el más escaso. Es evidente que el agua juega un papel preponderante en el crecimiento de las plantas, siendo la tensión hídrica que afecta prácticamente a cada uno de los aspectos del crecimiento de la planta, modificando la anatomía, la morfología, fisiología y la bioquímica.

El requerimiento hídrico o demanda de agua de los cultivos, exige realizar trabajos en lisimetría, principalmente para estudios de evapotranspiración y el manejo de agua para fines de riego, los que junto con los estudios modelo y simulación permita una mejor comprensión de la relación agua – suelo – planta – atmósfera.

La pérdida de agua hacia la atmósfera por evaporación más la transpiración de las plantas se denomina evapotranspiración, éste más el agua utilizado para la formación de los tejidos de la plantas se denomina uso

consuntivo del cultivo.

Es así la evapotranspiración es uno de los factores más importantes que interviene en el balance hídrico, ya sea que éste se analice a nivel de cuenca, región o proyecto; siendo este último el que realmente interesa para efectos del cálculo de la demanda de agua o requerimiento hídrico de los cultivos.

En la actualidad las estimaciones del consumo de agua de los cultivos son realizadas en forma empírica basadas en la información meteorológica, debido a la dificultad de obtener mediciones directas y exactas en condiciones reales.

De acuerdo a lo descrito, el presente trabajo de investigación se orienta a la evaluación y cuantificación de la evapotranspiración (ET_o); y el requerimiento hídrico de los cultivos, mediante el método lisimétrico para las condiciones de la Estación Experimental Canaán (INIA), Ayacucho, para hacer un uso racional y eficiente del agua a fin de evitar riesgos en excesos o en deficiencia.

Por las consideraciones descritas se planteó el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos:

- 1.- Evaluar la Evapotranspiración de cultivo de referencia (ET_o), empleando el cultivo; Rye grass inglés (*Lolium perenne* L.)
- 2.- Determinar los valores de los coeficientes de *evapotranspiración de los cultivos (K_c) experimentales para los cultivos: Pisum sativum, Brassica oleracea, Allium cepa.*
- 3.- Determinar la etapa crítica de consumo de agua de los cultivos: *Pisum*

sativum, *Brassica oleracea* y *Allium cepa* y recomendar la programación de riego.

CAPITULO I

REVISION BIBLIOGRAFICA

1.1 CONCEPTOS GENERALES

1.1.1 EVAPOTRANSPIRACION

a) Evaporación

Blair (1957), menciona que la evaporación es un fenómeno físico por virtud del cual el agua pasa a la atmósfera en estado de vapor. Este fenómeno, sin embargo, se reduce considerablemente a medida que la humedad del suelo decrece por debajo de la capacidad de campo.

El movimiento del agua es muy lento cuando su contenido de humedad está dentro de los límites del agua capilar. Por esta razón la energía del agua de la superficie del suelo es muy escasa en las tierras con drenaje interno normal.

b) Transpiración

García (1992), dice que la transpiración es la pérdida de agua por la planta fundamentalmente a través del sistema foliar. El agua es captada del suelo por absorción del sistema radicular, que circula por la estructura de la

planta y es emitida por las hojas en forma de vapor de agua para ser reintegrada a la atmósfera.

Israelsen (1965), define como la velocidad del movimiento de agua a través de la planta, que varía ampliamente de 0.3 – 1.8 m por hora, pero en condiciones de temperaturas altas

Atmósferas secas y tiempo ventoso esta velocidad puede aumentar enormemente. Las plantas retienen sólo una pequeña parte del agua que absorben las raíces cuando el agua se transforma en vapor y vuelve a la atmósfera procedente de las plantas son necesarias 540 calorías para transformar 1cm³ de líquido de vapor.

c) Evapotranspiración

Luque (1981), menciona que cuando la evaporación ocurre en superficie cubierta con vegetación activa, el proceso se conoce como evapotranspiración, ya que se combinan ambos conceptos de “evaporación” del terreno o superficie de agua almacenada y el de “transpiración” del vegetal, desde el tejido o mesófilo.

García (1992), menciona que la pérdida de agua hacia la atmósfera, por evaporación de cualquier superficie evaporante (suelos húmedos, superficies de agua, etc.) y transpiración de la vegetación (campos de cultivo, bosque, praderas, etc.) existente en dicha superficie o medio. Como constituye la cantidad de agua que pasa hacia la atmósfera desde la superficie terrestre, es importante para el estudio de pérdida de agua desde regiones más o menos extensas, es importante, además, en el estudio del Balance Hídrico de una región.

1.1.2 Factores que afectan la evapotranspiración

Dentro de las condiciones naturales, la velocidad con que se cumple el proceso de la evapotranspiración depende esencialmente de:

- a) Disponibilidad de humedad.
- b) Estado de desarrollo (crecimiento) y cobertura de vegetación.
- c) Naturaleza y tipo de suelos.
- d) Elementos climáticos tales como:
 - Radiación solar
 - Velocidad del viento
 - Temperatura del aire
 - Humedad relativa

Temperatura de la superficie evapotranspirante. Estos factores mencionados pueden operar solos o combinados y sus efectos no necesariamente son constantes, ya que pueden variar de un año a otro así como de un lugar a otro.

1.1.3 Métodos para determinar la Evapotranspiración (ET)

Existen numerosos métodos para calcular la ET. Básicamente estos métodos se pueden clasificar en tres categorías:

1) Métodos directos:

- Muestreo de la humedad del suelo.
- Método del lisímetro.
- Método del balance de agua.

– Método de integración.

2) Métodos indirectos

Los métodos indirectos, son métodos más teóricos y empíricos para calcular la ET. Son métodos muy en auge hoy día y basados en el balance de energía, métodos de turbulencia, correlación de Eddy o combinación.

Emplean la micrometeorología y como principales limitaciones se han apuntado la influencia de la colocación de los instrumentos y la sensibilidad a la advención (vientos cálidos procedentes de parcelas colindantes). Cuando llega aire caliente a la parcela en la cual se está midiendo la ET, el error con alguno de estos métodos pueden llegar al 45% (García 1992)

3) Métodos matemáticos de estimación

Como ya se ha indicado, el agua del suelo se pierde en procesos de evaporación y transpiración. La intensidad del intercambio del agua a la planta a la atmósfera depende principalmente del clima. En los modelos matemáticos de la estimación de la ET o métodos estadísticos, se relaciona el consumo con las principales variables del clima. Todas estas fórmulas tienen generalmente dos componentes: una componente energética relacionada con la radiación solar y la temperatura del aire y una componente aerodinámica relacionada con la humedad relativa y la velocidad del viento. Estas fórmulas estiman con gran precisión el consumo de agua.

En este apartado se incluye otros métodos experimentales como los tanques evaporímetros. Existen diferentes formas de clasificar los métodos

estadísticos. Una de ellas se basa en clasificarlos en función de las variables climáticas que se emplean.

Métodos basados en la temperatura: THORNTHWAITE, BLANEY – CRIDDLE, HARGREAVES.

Radiación: JENSEN – HAISE, MAKKINK, TURC.

Humedad: IVANOV, PAPADAKIS.

Combinación: VAN BAVEL- BUSINGER, PRIESTLY- TAYLOR, PENMAM, PENMAN –MONTEITH.

1) Métodos directos:

En los métodos directos, la evapotranspiración puede ser conocida a partir del balance de agua, determinando la cantidad de agua del suelo a partir de medidas gravimétricas o midiéndola directamente en lisímetros.

a) Estudios de humedad del suelo

Determinación de la humedad del terreno, antes y después de cada riego, en la zona radical del cultivo, ya sea con muestreo y secado de muestras del suelo.

b) Método del lisímetro

Vásquez (1992), dice que es la forma directa y exacta de medir la ETo, el que consiste en efectuar un balance de entradas y salidas de humedad durante un periodo de tiempo determinado.

En el interior del lisímetro se encuentra el cultivo patrón (pasto) que es materia de análisis de la cantidad de agua evapotranspirada. Cuando los lisímetros se construyen adecuadamente y en lugares representativos, pueden proveer las medidas más exactas del uso de agua por los cultivos;

sin embargo, estas instalaciones son de alto costo de operación y se utilizan sólo con fines de investigación, en estaciones experimentales.

b.1) Definición del lisímetro

Gurovich (1999), dice que los lisímetros consisten en una versión sofisticada de estanques, donde es posible cuantificar la percolación profunda y el escurrimiento superficial, a través de un sistema que recolecta el drenaje, donde el escurrimiento es nulo.

El término "lisímetro" deriva de las palabras griegas "lysis" y "metron" que significa disolver y medir respectivamente. (FAO 1974).

Los lisímetros son recipientes de gran volumen rellenos de suelos, de superficie desnuda o cubierta, representando las condiciones ambientales del campo en donde están ubicadas, utilizados para determinar la evapotranspiración ya sea de un cultivo de desarrollo, de una cubierta vegetal de referencia o la evaporación del suelo desnudo.

No existe ninguna duda de que un lisímetro es el mejor sistema para conocer la ET de un cultivo en unas condiciones determinadas, por ello se emplean para calibrar otros métodos. Su principal desventaja es el costo. Para muchos cultivos es posible emplear microlisímetros cuyo costo es más reducido.

b.2) Medición con el sistema lisimétrico

El sistema lisimétrico es una forma más simple, incluye la medida volumétrica de todas las aguas que entran y salen de un recipiente conteniendo una masa aislada de suelo con cubierta vegetal.

La ecuación del balance hidrológico aplicada al caso de los lisímetros

es:

$$ET= LL+R-P+/-dW \quad Ec \ 1.1$$

Dónde:

ET : Evapotranspiración (mm/día o mm/mes)

LL : Lámina proporcionada por la lluvia (mm)

R : Lámina proporcionada por la lluvia (mm)

P : Percolación profunda (mm)

dW : Cambio de humedad del suelo en el periodo considerado.

La precipitación (LL) y el riego (R) pueden por la evapotranspiración pueden ser medidos mediante pluviómetros y métodos volumétricos convencionales

Para medir el agua que percola por la masa del suelo (p), son utilizados una cámara de drenaje y un recipiente de volumen conocido.

Los cambios en el contenido de agua en la masa del suelo (dW) representan las cantidades de agua almacenada en el suelo después de una lluvia o irrigación o la cantidad de agua extraída del suelo por la evapotranspiración de las plantas en el lisímetro, la medida de este parámetro (dW) ofrece mayores complicaciones.

En la mayoría de los casos se determina la cantidad de agua extraída durante el periodo comprendido entre dos ocurrencias de drenaje.

Inmediatamente después del drenaje, la masa del suelo contiene una definida cantidad de agua conocida "capacidad de campo": después de un adecuado riego o lluvia, el agua extraída es respuesta e inmediatamente después del drenaje se encuentra nuevamente a capacidad de campo. La

evapotranspiración ocurrida entre las dos ocurrencias de drenaje puede ser calculada según la siguiente expresión.

$$ET=LL+R-P \qquad \text{Ec 1.2}$$

Esta ecuación supone que no existe escurrimiento superficial y la percolación profunda o el drenaje es evaluado.

c) Evapotranspirómetro

García (1994), menciona que son dispositivos similares a los lisímetros, diferenciándose sólo en la humedad del suelo, la cual se mantiene en condiciones 'óptimas y está cubierto de grama (césped) con una altura uniforme de 8 a 15 cm debe estar instalado dentro de una extensa superficie cubierto también de grama. Por lo tanto estos instrumentos permiten medir la Evapotranspiración Potencial o Evapotranspiración de referencia.

1.1.4 La Evapotranspiración Potencial o de Cultivo de Referencia (ETo)

Representa la evapotranspiración que ocurría desde una superficie muy extensa completamente húmeda cubierta de plantas, esto es, una superficie con suministro continuo de agua, depende mayormente del elemento climático.

Estas definiciones indican que la evapotranspiración potencial constituye la máxima cantidad de agua que puede pasar a la atmósfera. Sin embargo, realizadas con evapotranspirómetros y lisímetros (evapotranspiración real con agua disponible) indican que no siempre la ETo es mayor que la evapotranspiración real (ETr) ya que en las fases e intenso

desarrollo del cultivo, sin déficit de agua, ocurre lo inverso. Esto dio origen al término Evapotranspiración de Referencia o Cultivo de Referencia; Como menciona García (1992)

Es la cantidad de agua evaporada y transpirada por un cultivo de tamaño corto (generalmente pasto) que cubre la superficie en estado de crecimiento activo y con un suministro adecuado y continuo de agua.

La evapotranspiración potencial representa el volumen de agua que las plantas consumirán en una localidad dada y si dicho volumen estuviera disponible en el suelo, como menciona Vásquez (1992).

La evapotranspiración potencial es la cantidad de agua potencialmente necesaria para satisfacer las necesidades de evapotranspiración de unas zonas vegetativas de modo tal que la producción vegetal no quede limitada por falta de agua.

La evapotranspiración potencial “es la tasa de evaporación (mm/día) de una extensa superficie de pasto (grama) verde, de 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, que sombrea completamente la superficie del suelo y que no sufra escasez de agua.”, como sostiene Doorenbos & Pruitt (1976).

En 1977, la FAO (Organización de las naciones Unidas para la agricultura y la alimentación), propuso cuatro métodos para medir la evapotranspiración de referencia (ETo), estos métodos emplean la temperatura; método de Blaney – criddle. La temperatura y radiación; método de radiación (basado en Makkink). Temperatura, radiación humedad relativa y recorrido del viento; método de Penman y empleando la evaporación; método del tanque de clase A.

La elección básica de uno u otro método de cálculo dependerá de la disponibilidad de datos climáticos. A mayor número de variables en el modelo más preciso será el cálculo de la ET, pero no debemos olvidar que todos los modelos tienen sus limitaciones y que la diferencia entre la estima del consumo por un método u otro es, a veces, muy pequeña. Es mucho más importante usar adecuadamente el método elegido.

La primera limitación que se ha señalado para estos cuatro métodos procede del propio análisis estadístico de las ecuaciones.

Avidan (1994), menciona que los métodos para medir la ETo se basa en el Balance Hídrico, el cual se determina mediante lisímetros; la -

Mayoría de los métodos indirectos para estimar la ETo emplean fórmulas, los cuales reflejan los procesos físicos del clima, o fórmulas aproximadas, desarrolladas por métodos de regresión sobre resultados de la experimentación.

a) Método del Tanque Evaporímetro clase "A"

Este método permite estimar los efectos integrados del clima (la radiación, la temperatura, el viento y humedad relativa del aire) en función a la evaporación de una superficie de agua libre de dimensión estándar.

A fin de relacionar la evaporación de la cubeta (ETan) con la ETo, se sugiere unos coeficientes obtenidos empíricamente y que tienen en cuenta el clima, el tipo de cubeta y su medio circundante.

$$ETo = Etan * Ktan \quad Ec \quad 1.3$$

Dónde:

ETo : Evapotranspiración potencial (mm/día o mm/mes)

Etan : Evaporación media diaria del tanque Clase "A" (mm/día)

Ktan : Coeficiente del tanque Clase "A"

b) Método Penman – Monteith (modificado por la FAO)

Avidan (1994), esta ecuación estima el uso consuntivo del cultivo de referencia (pasto o grama) y predice la ETo, no sólo en las regiones frías, sino también en las zonas calientes y áridas. En zonas áridas, el factor aerodinámico o adventivo (humedad y viento) predomina sobre el término energético (radiación). El método de Penman distingue entre la influencia del viento durante las horas del día, U día y la del viento durante las horas de la noche U noche.

Por lo tanto el método de Penman modificado por la FAO incluye un factor de ajuste (c) basado en la H° relativa máxima, la radiación solar, y la relación entre la velocidad del viento durante las horas del día y de la noche.

$$ETo = (c) * \{w*(Rn) + (1-w)*[f(u)*(ea-ed)]\} \quad Ec 1.4$$

Dónde:

ETo : Evapotranspiración Potencial (mm/día o mm/mes)

(c) : Factor de ajuste

W : Factor de ponderación

Rn : Radiación neta total (mm/día)

F(u) : Función del viento

ea : Presión de vapor de agua a saturación (mbar)

ed : presión de vapor de agua al ambiente (mbar)

El procedimiento del cálculo para obtener la ETo puede parecer bastante complicado, debido a que la fórmula contiene unos elementos que

pueden derivarse previamente de los climáticos conocidos y relacionados cuando no se dispone de mediciones directas .

c) Método de Hargreaves

La siguiente fórmula fue desarrollada por Hargreaves (Hargreaves G.L, Hargreaves G.H& Riley J.P – 1985) y (Hargreaves G.H& Samani Z.A -1991); a base de mediciones realizadas con los lisímetros de la Universidad de California – Davis – plantados con pasto festuca, como menciona Adivan (1994).

$$ETo = 0.0023 * Ra * (Tm + 17.8) * \sqrt{TD} \quad Ec \ 1.5$$

Dónde:

ETo : Evapotranspiración Potencial (mm/día o mm/mes)

Ra : Radiación extraterrestre (mm/día)

Tm : Temperatura media diaria (°C)

TD : Diferencia de temperatura diaria en el periodo considerado, promedio (°C)

El valor de la radiación extraterrestre, es decir, la radiación al tope de la atmósfera, Ra, se obtiene de la tabla del anexo; tabulada por meses y por latitud en el periodo correspondiente.

1.1.5 La Evapotranspiración de los cultivos (ETc)

Gurovich (1999), dice que es llamado también Uso Consuntivo, se define la cantidad de agua usada por cada cultivo o vegetación natural en la formación de tejidos, en la transpiración a través de las hojas y en la evaporación directa desde de la superficie del suelo, más aquella cantidad de agua que se reintegra a la atmósfera debido a la evaporación del agua

(lluvia o riego) que intercepta la superficie foliar de la planta.

Doorenbos & Pruitt (1976), señala que se refiere a la evapotranspiración de un cultivo exento de enfermedades que crece en un campo extenso, en condiciones óptimas de suelo, incluida una fertilidad, agua suficiente en el que se llega al potencial de plena producción de ese cultivo con arreglo al medio vegetativo dado.

1.1.6 La Evapotranspiración Real o actual (ETr)

García (1992), sostiene que es la que realmente ocurre desde superficies húmedas con vegetación. En ello se incluye la evaporación desde suelos húmedos y la transpiración a través de las plantas.

En términos de cultivo, la evapotranspiración, es definida como la pérdida de agua desde campos de cultivo y bajo las condiciones climatológicas reinantes. En ciertas circunstancias es igual a la evapotranspiración potencial.

Avidan (1994), dice que en la práctica se desarrollan en condiciones de humedad muy lejanas de las óptimas. Por este motivo el manejo de riego se ha de basar en la evapotranspiración real la cual toma en consideración el agua disponible en el suelo y las condiciones ambientales en las cuales se desarrollan un cultivo determinado.

Siempre y cuando el cultivo en consideración disponga de agua en abundancia (tras de un riego o una lluvia intensa) y en condiciones de buena aireación del suelo – ETr equivale a la evapotranspiración, ETc.

En este caso: ETr = ETc

La ETr nunca será mayor que ETc al aumentar la tensión del agua en

el suelo, disminuye la capacidad de las plantas para obtener el volumen de agua requerido al ritmo impuesto por las condiciones del ambiente. Bajo estas condiciones disminuye la transpiración del cultivo; por lo tanto ETr es inferior a ETc.

En este caso: ETr < Etc

1.1.7 Factor o Coeficiente del Cultivo (Kc)

Vásquez (1992), dice que depende de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de los cultivos y expresa la variación de su capacidad para extraer agua del suelo durante su ciclo vegetativo.

Es un factor que indica el grado de desarrollo o cobertura del suelo por el cultivo del cual se quiere evaluar su consumo de agua.

El coeficiente de cultivo (Kc) expresa la relación entre el uso consuntivo del cultivo en consideración (ETc) y la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo).

Avidan (1994), menciona que el coeficiente se determina empíricamente comparando al uso consuntivo del cultivo, con el cultivo de referencia; bajo idénticas condiciones, de acuerdo a las características del cultivo y de las fases de desarrollo.

$$Kc = \frac{ETc \text{ (mm/día)}}{ETo \text{ (mm/día)}} \quad Ec \quad 1.6$$

Dónde:

ETo : Evapotranspiración Potencial (mm/día)

ETc : Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Kc : Coeficiente de cultivo.

El factor del cultivo no es constante durante las fases de su desarrollo:

Inicialmente el Kc es bajo; empero, con el desarrollo vegetativo de las plantas el Kc aumenta hasta alcanzar un máximo, posteriormente y con la senectud del cultivo disminuye.

Factores que afectan los valores de Kc

- Características del cultivo.
- Fecha de siembra
- Ritmo de desarrollo del cultivo
- Duración del ciclo vegetativo
- Condiciones climáticas
- Frecuencia de lluvia o de riego.

1.1.8 Fases de desarrollo del cultivo

La FAO divide el ciclo de vida de los cultivos en cuatro etapas:

- **Fase inicial:** Comprende el periodo de germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta apenas o nada del cultivo, y el cultivo cubre un 10% de la superficie.
- **Fase de desarrollo del cultivo:** desde el final de la fase inicial hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva completa del orden del 70 – 80%.
- **Fase de Medios del periodo (Maduración):** desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración, que se hace evidente por la decoloración o

caídas de las hojas.

Durante esta etapa el cultivo el máximo uso consuntivo.

- **Fase final del ciclo vegetativo:** Desde el final de la fase anterior hasta que se llega la plena maduración o recolección. Durante esta etapa el consumo de agua disminuye paulatinamente.

1.2 AGUA EN EL SUELO

1.2.1 Formas en que se encuentra el agua en el suelo

Serruto (1999), sostiene que dentro de esta clasificación, los límites entre una y otra forma de humedad, no son bien definidos ni están asociados en forma directa con el desarrollo fisiológico vegetal.

- a) Agua gravitacional.-** es el agua superflua con drenaje rápido. Es aquella que influenciada por la fuerza de gravedad tiene la tendencia de dirigirse hacia abajo, no pudiendo ser retenida por el suelo. se produce cuando el suelo ha llegado al límite máximo de saturación, expulsa al aire de los poros y hace imposible la vida de las plantas.
- b) Agua capilar.-** es el agua Aprovechable por las plantas que se encuentra retenida en los microporos predicándose un drenaje lento. Es aquella que no se encuentra influenciada por la fuerza de gravedad sino por la fuerzas de la capilaridad o fuerza de tensión superficial. Son verdaderas corrientes de agua que puesta en contacto con las raíces de los vegetales, son las que se nutren de la humedad necesaria y de esta manera evitar su marchitamiento.
- c) Agua higroscópica.-** Es el agua inútil para las plantas y en el cual no existe drenaje es la que se encuentra alrededor de las partículas del

suelo. Formando una película de espesor molecular. Está constituida por la primera humedad que se suministra al suelo, inprovechable por la vegetación debido a su gran fuerza de adherencia.

1.2.2 Coeficientes hídricos o constantes de humedad

a) Capacidad de Campo.- denominado también capacidad Hídrica, capacidad normal de humedad o límite superior de agua disponible; es la cantidad de agua retenida en el suelo, después de que se drene el exceso de agua gravitacional y después de que el flujo de agua prácticamente disminuye. Después de que se ha regado un suelo o caído una precipitación pluvial que ha saturado el suelo, el agua comienza a distribuirse en el perfil debido a la existencia de gradientes de energía. Inicialmente el flujo de agua es mayor y disminuye progresivamente hasta que este movimiento se hace tan lento.

b) Punto de marchitez permanente.- denominado también porcentaje de marchitamiento o límite inferior de agua disponible, es el contenido de la humedad del suelo, al cual las plantas no pueden obtener el agua para sus funciones vitales, sufren marchitez y no vuelven a recobrar su turgencia en una atmósfera saturada.

Las fuerzas que retienen el agua en el suelo aumentan al disminuir el contenido de humedad, o sea que las plantas ya no tienen la fuerza suficiente para extraer el agua del suelo y así hay un punto de succión total en el que el agua no pasa ya de la tierra de las raíces; entonces las pérdidas por transpiración sobrepasan al índice de absorción y el follaje se marchita.

c) Porcentaje de agotamiento del agua disponible (%agot.)

Lazo (2006), indica que el porcentaje de agotamiento, es un término muy importante para la operación del riego. Es el nivel hasta el cual podemos permitir el descenso de la humedad del suelo, partiendo de la capacidad de campo, sin que altere el desarrollo normal de la planta.

Depende del tipo de cultivo, porque muchos de ellos son bastante

Sensibles a la escasez del agua o a los altos niveles de humedad que otros.

Cuadro porcentaje de agotamiento sugeridos de acuerdo a ETo y al cultivo

TIPO DE CULTIVO	ETo (Baja) de 2 a 5 (mm/día)	ETo (Media –Alta) De 6 a 10 (mm/día)
Hortalizas	30 - 40	15 - 25
Frutales	40 - 50	20 - 35
Pastos	50 - 70	30 - 45
Cereales	60 - 70	40 - 55
Oleaginosas	60 - 70	40 - 55
Caña de azúcar	60 - 70	40 - 55
Tabaco	60 - 70	40 - 55

Fuente : Avidan, A. 1994

1.2.3 Humedad total utilizable o humedad disponible

Serruto (1999), sostiene que también denominado capacidad de agua disponible o disponibilidad de agua para la planta, es la cantidad de agua aprovechable por la planta que se encuentra retenida por un suelo en su zona radicular, cuyo volumen se determina entre sus límites superior e inferior de agua disponible, o sea entre su Capacidad de Campo y su Punto de marchitez Permanente (PMP).

La humedad fácilmente disponible, es un parámetro importante que se

emplea en los proyectos de riego. Es baja en suelos gruesos, más elevada en suelos arcillosos y máxima en suelos francos y limosos.

La cantidad de agua disponible, se expresa como porcentaje de humedad, el cual puede ser traducido a cantidades en metros cúbicos por un área determinada y para una capa de suelo de determinada profundidad.

$$L = \frac{(CC - PMP) * pa * Prof}{100} \quad Ec \quad 1.7$$

Dónde:

L : Lámina de agua disponible en el suelo (mm "o cm)

CC : Capacidad de campo (%)

PMP : Punto de Marchitez permanente (%)

pa : Densidad aparente del suelo

$$V = A * L \quad Ec \quad 1.8$$

Dónde:

V : Volumen de agua disponible (m³/Ha)

A : Área de terreno (Has)

L : Lámina de agua disponible en el suelo

1.2.4 Explotación del agua disponible en el suelo

Winter (1981), menciona que el suelo es como un depósito de agua de capacidad finita; a la capacidad de campo, el depósito está lleno al nivel de saturación se desborda, mientras que en el punto de marchitamiento permanente está vacío (de hecho, en el punto PMP el suelo contiene todavía una cantidad apreciable de agua, sólo se puede extraer por medios drásticos tales como del calentamiento, las plantas no la pueden absorber

para su crecimiento)

1.2.5 Movimiento del agua en el suelo

Desde el punto de vista de riego de los cultivos y del drenaje, la percolación del suelo y de interés a ser analizada en la zona radical; en el sentido, el proceso de entrada de agua del suelo a la zona de raíces ya sea proveniente de la lluvia, el riego o ascensión capilar, así como el proceso de salida ya sea mediante la transpiración, evaporación o percolación, constituye los casos de importancia del movimiento del agua en el suelo.

El movimiento del agua hacia las raíces, en un suelo no saturado, está presente en todo momento, ya que es una respuesta al proceso de evapotranspiración mismo. Es de remarcar que se puede presentar simultáneamente ascenso capilar y percolación. En forma general, se puede decir que el agua se mueve de un punto de mayor potencial a uno de menor potencial.

Los factores más importantes que influyen en el movimiento del agua en el suelo, son los siguientes:

El gradiente hidráulico o fuerza matriz, que es igual a la diferencia de potencial del agua entre dos puntos del suelo, dividido por la distancia que separa ambos puntos.

El grado de facilidad con el suelo permite el flujo de agua, llamado también como la capacidad del movimiento de agua en el suelo (conductividad hidráulica).

Todo lo anterior depende del tamaño y de la porción de los poros del

perfil del suelo plenos de agua, y que los suelos no saturados, donde una parte de los poros están con agua y el resto está contenido de aire, sobre todo los poros más grandes y no contribuyen al movimiento del agua en el suelo, como cita Vásquez (1992).

1.3 EL AGUA EN LA PLANTA

1.3.1 El movimiento del agua en el sistema planta - atmósfera

El fenómeno de la absorción consiste en el desplazamiento de agua desde el suelo hasta la raíz. Este desplazamiento de agua ocurrirá si existe una diferencia de potenciales entre la raíz y el suelo es decir, si el potencial de agua en el suelo es mayor que el potencial en la raíz. Cuando el agua disponible disminuye mucho y consecuentemente el potencial o tensión se incrementa grandemente se hace más negativo, pudiendo en algunos casos ser menor que el potencial de la raíz en estas condiciones ya no podrá realizarse la absorción de agua.

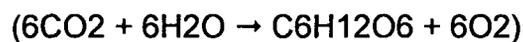
La absorción de agua del suelo. Se efectúa principalmente a través de la zona pilífera (zona próxima al ápice de las raíces principales o secundarias), llamada así por tener gran cantidad de pelos absorbentes, que son largos y delgados, poseen una elevada relación superficie/volumen y pueden introducirse incluso en los poros más pequeños del suelo.

Los pelos absorbentes incrementan así el área de contacto entre la raíz y el suelo, la capacidad de exploración del suelo y consecuentemente la capacidad de absorción cuando el agua ha entrado en contacto con la superficie de la raíz seguirá con dirección centrípeta desde la periferia de la raíz hasta los vasos xilemáticos del cilindro central, debido

fundamentalmente a la diferencia de potencial entre ambos, como sustenta Vásquez (1992).

1.3.2 Efectos fisiológicos de la deficiencia de agua.

Blair (1957), menciona que una deficiencia de agua en el suelo disminuye la intensidad de la fotosíntesis. Esto no se debe, como se podría pensar a la acción directa del agua en el mecanismo fotosintético, pues las células vivas de las plantas superiores siempre tienen suficiente cantidad de agua para satisfacer las exigencias de la reacción química de la fotosíntesis.



El efecto de la falta de agua es indirecto y se debe principalmente a su acción sobre la apertura de los estomas.

- a) **Nutrición mineral.**- La absorción de los minerales por las raíces es también menor cuando hay deficiencia de agua en el suelo. Esto se debe en parte a la poca disolución de los minerales del suelo y en parte a la menor permeabilidad de las células de las raíces a estos minerales cuando el suelo se encuentra relativamente seco. En casos más severos ocurre la muerte de los pelos absorbentes, perjudicando naturalmente la absorción tanto de minerales y del agua.

Cuando hay deficiencia de agua, hay una deficiencia de nitrógeno es por eso en sequías prolongadas muchas plantas muestran síntomas de deficiencia de nitrógeno (clorosis general de todas las plantas).

- b) **Crecimiento.**- Cuando hay menor cantidad de agua las vacuolas no se expanden y las células quedan con un tamaño reducido, esto se

refleja naturalmente en toda la planta la cual queda relativamente pequeña, con hojas pequeñas y generalmente gruesas, entrenudos cortos, Etc. Estas alteraciones morfológicas son provocadas por deficiencia de agua se conoce generalmente como "xeromorfismo" se debe recordar que el que la produce esto está íntimamente relacionado a su área foliar como la deficiencia que reduce el área foliar la fotosíntesis total que queda naturalmente reducido y perjudicando la producción como menciona Blair (1957).

1.3.3 Periodo crítico en el consumo de agua

Kramer (1974), dice que el efecto de la deficiencia de agua en el rendimiento final depende del momento del ciclo de crecimiento de la planta en que se produce.

Mencionado por Kramer (1974) que Van der Paauw (1949) realizó un experimento con avena, y halló que, si la sequía temporaria ocurría en el momento en que las de mayor esterilidad de las flores y mayor reducción en el rendimiento del grano que si se la producía en cualquier otra etapa. Por lo tanto el momento crítico en lo que concierne el efecto de la sequía es el comienzo de la formación de la espiga.

El concepto de periodo crítico de necesidad de agua fue perfeccionado en Rusia. Al estudiar los primeros trabajos, hechos sobre todo con cereales, Maximov (1929) concluyó que una sequía temporaria reduce al mínimo el rendimiento final del grano si ocurre durante el periodo de alargamiento rápido del inter nódulos, que precede a la formación de las espigas. Este autor explicaba la especial sensibilidad de la planta a falta de

agua en este periodo puesto que las mayores necesidades de agua en este periodo puesto que las mayores necesidades de agua para la expansión de los tejidos ocurren durante el periodo de máximo alargamiento. Toda deficiencia de agua en este periodo disminuye el tamaño de las células.

1.3.4 Eficiencia de utilización de Agua para el rendimiento de cosecha.

Doorenbos & Kassan (1979), menciona que se expresa también como el rendimiento cosechado por unidad de agua (Kg/m^3 o lit/Kg de materia Seca) y la sensibilidad del rendimiento al déficit de agua. Se dice que la máxima producción de materia seca tiene lugar con la máxima evapotranspiración (Etc.).

En general las variedades de alta producción son también las más sensibles en su respuesta al agua, a los fertilizantes y otros insumos agrícolas. Por otro lado las variedades de baja producción, con poca respuesta al agua pueden ser más adecuadas para la producción de cultivos de secano en zonas que son propensas a la sequía. Para alcanzar altos rendimientos bajo riego es necesario utilizar variedades de gran producción y que den la mayor respuesta al agua, de modo que se obtenga una alta eficiencia de utilización de agua de la producción (E_y).

1.3.5 Rendimiento del Cultivo

a) Rendimiento Máximo (Y_m)

El rendimiento máximo de un cultivo se define como el rendimiento cosechado de una variedad de gran producción, bien adaptada al ambiente vegetativo de que se trate, incluyendo el tiempo disponible para llegar a su madurez, en condiciones tales que su rendimiento no esté limitado por el

agua, los nutrientes, las plagas y las enfermedades.

Los factores climáticos que determinan Y_m . Son la temperatura, la radiación y duración de la estación vegetativa total además de las necesidades Específicas del cultivo, en cuanto a la temperatura y duración del día, para su desarrollo del cultivo.

b) Rendimiento real (Y_r)

Cuando el suministro de agua no cubre las necesidades de agua del cultivo ($E_{Tr} < E_{Tc}$), se desarrolla una penuria de agua en la planta que afecta adversamente el crecimiento del cultivo y finalmente a su rendimiento. El efecto de la penuria de agua sobre el crecimiento y rendimiento depende, por una parte de la especie y la variedad del cultivo y por otra parte de la magnitud y del tiempo en que tenga lugar el déficit de agua.

Cuando la necesidad de agua del cultivo se atiende plenamente mediante el suministro disponible ($E_{Tr} = E_{Tc}$), mientras cuando no se atiende las necesidades de agua del cultivo, el déficit de agua en la planta puede llegar hasta el punto de que se vean afectados el crecimiento del cultivo y su rendimiento.

El rendimiento real (Y_r) será igual al rendimiento máximo (Y_m) cuando se atiende todas las necesidades de agua; mientras cuando no se atiende todas las necesidades de agua mediante el suministro del agua disponible $Y_r < Y_m$ (Doorenbos & Kassam 1979).

1.4 NECESIDADES DE RIEGO DE LOS CULTIVOS

1.4.1 Definición de riego

Gurovich (1978), define como la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil de suelo para reponer en éste el agua consumida por los cultivos entre dos riegos consecutivos, se puede ver que debemos regar el suelo y no las plantas y almacenamos agua en el suelo y no regamos la superficie del suelo sino el perfil en profundidad ya que es dentro de este perfil donde se encuentra la raíz de las plantas.

Un buen riego no es aquel que moja uniformemente la superficie del suelo .

Un buen riego no es aquel que moja uniformemente la superficie del suelo si no es aquel que moja adecuadamente el perfil del suelo hasta donde se encuentra la gran masa de las raíces de un cultivo.

1.4.2 Necesidad de riego de los cultivos

La ETr es la cantidad de agua que requiere la planta para satisfacer sus necesidades fisiológicas, sin embargo, dentro de un ambiente la planta no se encuentra aislado sino forma parte de su microclima, sujeto a entradas y salidas y por lo tanto susceptible a efectuar un balance hídrico en la que las entradas están dadas por todo los aportes hídricos y la salida por el proceso de agotamiento de la humedad del suelo ocasionado por la ETr.

1.4.3 Programación de riego.

López (2001), enuncia que la programación de riego permite decidir cuándo regar cuanto tiempo aplicar el agua y cuánta agua aplicar para cubrir las necesidades de los cultivos, y su importancia se pone en

manifiesto cuando el agua es escasa.

Es necesario realizar una programación adecuada del sistema de riego, asegurando el agua en la cantidad necesaria y en el momento adecuado.

Los factores tomados en cuenta para la programación son: necesidades de agua del cultivo (costumbres de riego), tipo de suelo (cantidad de agua disponible, capacidad de infiltración), clima (precipitación, vientos, evaporación), calidad de agua (física, química).

Lámina neta de riego (Ln)

Lazo (2006), define como la cantidad de agua que tiene que aplicarse durante el riego, para reponer el agua que ha sido extraído por la planta.

Para su estimación, se utiliza la relación siguiente:

$$Ln = \frac{(CC - PMP) * Da * Pr * Pa * Am}{100} \quad \text{Ec. 1.9}$$

Dónde:

Ln : Lamina neta de riego [mm, cm, m],

CC : Capacidad de campo (%),

PMP : Punto de marchitez permanente (%)

Da : Densidad aparente (gr/cm³)

Pa : Porcentaje de agotamiento del agua disponible (%)

Pr : Profundidad efectiva de raíces [mm, cm, m].

Am : Área mojada (%)

- **Lámina bruta de riego (Lb)**

Para efectos de cálculo de volúmenes de agua y los caudales de aplicación es necesario conocer la lámina bruta, la cual se calcula en función a la eficiencia de aplicación, para su cálculo se utiliza la siguiente relación:

$$Lb = \frac{Ln}{Er} \quad Ec \quad 1.10$$

Dónde:

Lb : Lamina bruta de riego (mm, cm, m),

Ln : Lamina neta de riego (mm, cm, m),

Er : Eficiencia de riego (%)

- Frecuencia de riego (Fr)

Este término está referido al tiempo que debe transcurrir, de un riego a Otro.

Teóricamente se calcula utilizando la relación siguiente:

$$Fr = \frac{Ln}{ETc} \quad Ec \quad 1.11$$

Dónde:

Fr : Frecuencia de riego (días),

Ln : Lamina neta de riego (mm, cm, m),

ETc : Evapotranspiración del cultivo (mm.día-1).

d) Tiempo de riego (T)

El tiempo de riego es el periodo que debe durar el suministro de agua al Campo, hasta alcanzar la capacidad de campo.

Teóricamente se calcula utilizando la relación siguiente:

$$T = \frac{Ln}{Ib} \quad Ec \quad 1.12$$

Dónde:

T : Tiempo de riego (horas),

Ln : Lamina neta de riego (mm),

Ib : Infiltración básica (mm/hora).

1.4.4 Eficiencia de riego

Vásquez (1992), sostiene que la operación de todo sistema de riego, se presenta pérdidas de agua tanto en la red de distribución y conducción, así como en el riego de la parcela misma. Por ello en el diseño de un sistema de riego se deben tomar en cuenta dichas pérdidas, a fin de asegurar el abastecimiento adecuado y oportuno de agua para el riego de los cultivos.

Llamada también eficiencia de riego del proyecto, sirve para determinar o responder a la pregunta ¿cuál es la demanda del proyecto?

La eficiencia de riego está dada por la relación entre el volumen de agua evapotranspirada por las plantas y evaporada del suelo de una determinada unidad de área, más la cantidad de agua necesaria a fin de mantener una concentración adecuada de sales en el perfil enraizado del suelo de dicha área, menos la precipitación Efectiva (PE) que puede ocurrir en la zona, por un lado, y el volumen de agua por unidad de área que es derivado o extraído de la fuente de abastecimiento que puede ser río, reservorio o pozo, para ser usado en el riego.

La eficiencia de riego se puede dividir básicamente en cuatro

componentes:

- Eficiencia de conducción
- Eficiencia de distribución
- Eficiencia de aplicación
- Eficiencia de almacenamiento

Cuadro Eficiencia de riego para diferentes métodos de riego

METODO DE RIEGO	EFICIENCIA DE RIEGO (%)
Riego por surco	50 - 70
Riego por inundación (arroz)	30 - 40
Riego por aspersión	65 - 85
Riego por goteo	75 - 90

Fuente: Olarte, W. 2002

Cuadro porcentaje de área bajo riego para diferentes métodos de riego

SISTEMA DE RIEGO	PORCENTAJE DEL AREA BAJO RIEGO De - a
Aspersión	100
Goteo	30 - 70
Microaspersión	50 - 75

Fuente: Avidan A. 1994

1.4.5 Precipitación Efectiva (PE)

Vásquez (1992), sostiene que al producirse una lluvia sobre un terreno cultivado, parte de esta precipitación total será interceptado por la fitomasa del cultivar, y otra parte se depositará sobre la superficie del suelo. De ésta, un porcentaje puede escurrir superficialmente y el resto se infiltrará. Una porción de lluvia que infiltra en el suelo quedará retenida

pudiendo llegar a estar disponible en un espesor de este previamente definido, en la zona ocupada por las raíces activas de las plantas y , el resto, pasará las capas más profundas del mismo.

Es el volumen parcial de lluvia utilizada por las plantas para satisfacer sus correspondientes necesidades hídricas para su normal desarrollo.

Existen metodologías diferentes para determinar la precipitación efectiva, en este caso se adopta el criterio empírico del Water Power Resources Service (WPRS – USA), que considera a la distribución de la precipitación efectiva de la siguiente manera.

Cuadro precipitación efectiva según WPRS – USA

Incremento de la Precipitación (mm)	% de la Precipitación Efectiva
5	0
30	95
55	90
80	82
105	65
130	45
155	25
más de 155	5

FUENTE: El Riego – Principios Básicos. 1992

1.4.6 El estado de desarrollo de los vegetales condiciona la práctica del riego

Israelsen (1965), menciona que el desarrollo de los vegetales puede dividirse, en lo que respecta al riego, en tres periodos: Vegetativo, de floración y de fructificación.

Se expresa la relación que existe entre la evapotranspiración y los tres periodos de desarrollo. A lo largo del periodo vegetativo la evapotranspiración aumenta progresivamente, alcanzando esta 'ultima su máximo durante el periodo de floración. Durante la fructificación la

evapotranspiración disminuye, de modo que la transpiración cesa prácticamente en los últimos estadios de la formación del fruto seco.

El periodo de fructificación puede ser dividido en dos partes: el estadio de formación de fruto carnoso, que sigue a la floración, y el fruto seco posteriormente. En el estadio de fruto seco, senectud. La evapotranspiración disminuye hasta que la transpiración cesa y se produce la muerte del vegetal.

Los Volúmenes de agua aplicada y la frecuencia de los riegos deben ajustarse a la evapotranspiración real del cultivo en particular, a la capacidad retentiva del suelo y la profundidad del enraizamiento.

a) Riegos durante el desarrollo

A lo largo de todos los estadios del desarrollo vegetativo es preciso que las plantas dispongan de humedad en abundancia, así como de nitrógeno. Los riegos deben ser frecuentes y ligeros, en general, porque es necesario que el sistema radicular que es superficial o profundo encuentre una humedad abundante en el terreno.

En el caso de caso de los cultivos perennes, como la alfalfa, que tiene un sistema radicular profundo, los riegos se dan más distanciados, pero deben ser más intensos. Es conveniente regar con frecuencia, siempre que las temperaturas sean altas, para refrescar el terreno y las plantas. Cuando una hortaliza, como la lechuga, se cultiva en zona donde el máximo de evapotranspiración alcanza los 10mm diarios, es muy beneficioso seguir la práctica de riego frecuente, por razones de refrescar y mantener un nivel de humedad alto en el terreno.

b) Riego durante la floración

Puesto que la evapotranspiración alcanza su máximo en torno a la floración, hay que humidificar, sin embargo, el aumento de la evapotranspiración es frenado por el incremento normal de profundidad de las raíces. Cuando estas profundizan, la zona radicular se establece a niveles más bajos y en consecuencia el agua utilizable es mayor, por lo que la relación evapotranspiración a la profundidad de extracción de un sistema radicular en expansión permanece sorprendentemente constante.

Está comprobado que las producciones más altas se obtienen cuando los cultivos se riegan convenientemente durante los periodos vegetativos y de floración.

c) El riego durante la fructificación

En el periodo de fructificación el sistema radicular ha llegado a la profundidad máxima y la evapotranspiración ha empezado a disminuir, por lo que las necesidades hídricas de las plantas son menores y no es necesario dar riegos demasiados seguidos. En el tránsito del fruto fresco a seco no se dan riegos, puesto que las pequeñas necesidades del cultivo se satisfacen plenamente por el agua almacenada en el terreno. El 'último riego intenso debe darse, en términos generales, durante el periodo de formación de fruto fresco, para que las raíces profundas tengan agua suficiente al final del desarrollo del fruto.

En algunos casos en lo que se riega en exceso durante el periodo de fructificación, se estimula el crecimiento vegetativo, pero la fructificación es menor. Por ejemplo, el algodón que se siembra anualmente, si hay humedad

en exceso en el terreno, se convierte en perenne e iniciará un periodo vegetativo en los momentos en que el algodón se encuentra en condiciones de ser recogido.

1.4.7 Riego y rendimiento

Gurovich (1999), menciona que cuando el agua no es el factor limitante para la máxima actividad fotosintética de la planta, las relaciones riego - rendimiento de los cultivos permiten alcanzar el potencial productivo de estos 'últimos, sin restricciones a la operación o diseño de los sistemas de riego.

La relación riego- rendimiento se torna crítica cuando la disponibilidad de agua en el suelo no es suficiente para equilibrar la demanda evaporativa de la atmósfera y la planta pone en actividad el mecanismo fisiológico de cierre estomático, como una adaptación que le permite evitar la deshidratación de sus tejidos. El cierre parcial o total de los estomas de la hoja reduce el ritmo de intercambio gaseoso, de tal manera que la concentración de CO₂ en la cavidad sub- estomática se convierte en el factor limitante de la fotosíntesis.

Para crecer y producir correctamente, la planta necesita mantener un adecuado nivel hídrico interno, nivel dado por el balance resultante entre el contenido inicial de agua, los aportes que recibe y las pérdidas que experimenta, impuestas por el medio ambiente circundante, en un determinado lapso de tiempo. Desde el mismo momento que la demanda evaporativa de la atmósfera es de carácter continuo, mientras que los aportes al sistema (lluvias y el riego) son discretos en el tiempo, toda la

planta frecuente mente es sometida a condiciones de “estrés hídrico” al que responde utilizando sus reservas de agua y restringiendo su actividad fisiológica, lo que se ve inevitablemente reflejado en diversos aspectos fisiológicos, morfológicos y finalmente productivos.

1.4.8 Rendimiento de los cultivos en riego superficial

Gurovich (1999) sostiene que la mayor parte de los cultivos se desarrolla bajo condiciones de riego superficial, con diferentes niveles de tecnificación.

En principios, sería posible lograr los rendimientos máximos correspondientes a una situación en que los cultivos no estuvieran sometidos a condición de estrés hídrico, en ningún momento y en ningún lugar en la unidad de riego.

El efecto de la uniformidad en la infiltración a lo largo de la unidad de riego, corresponde a la causa por la cual es muy difícil lograr; en riego superficial el rendimiento máximo (corresponde a la situación $ET_{m\acute{a}x} = E_{Tr}$.) no se trata de sistemas de riego inherentemente menos adecuado para la producción, sino que su tecnificación para lograr altos rendimientos de los cultivos tiene costos demasiados altos; si la disponibilidad de agua para el cultivo es el factor limitante, generalmente resultará más económico, como una visión de 10 ó más años, invertir en riego localizado presurizado.

1.4.9 Régimen de riego

Avidan (1994), Para la determinación del régimen de riego (planificación de un sistema de riego) debe satisfacer los siguientes interrogantes:

¿Por qué regar? Beneficio a obtener del sistema de riego, ¿Cuánto regar? se refiere a la cantidad de agua que se debe captar desde la fuente de abastecimiento del proyecto, teniendo en cuenta la eficiencia de operación de la infraestructura de riego y la eficiencia de aplicación del agua a los cultivos, la que a su vez está ligada a la potencialidad de los recursos humanos y técnicos disponibles para el manejo de agua de riego.

El fraccionamiento adecuado del requerimiento hídrico de los cultivos.

¿Cuándo regar? Se refiere a la frecuencia o intervalo de riego y su respuesta está condicionada a las características del suelo, al uso consuntivo de las plantas, profundidad de su sistema radicular.

¿Cómo regar? Está relacionado directamente con la forma de aplicar el agua dentro del método de riego seleccionado.

Para determinar el régimen de riego adecuado para un cultivo una cédula de cultivo influye varios factores tales como:

a) Factores que influyen en el régimen de riego

Suelo y sus propiedades físicas

Potencial hídrico del suelo

Tiempo o periodo vegetativo del cultivo o periodo de la cédula de cultivo.

Requerimiento de agua de los cultivos.

Las condiciones climáticas

El sistema de riego.

b) Datos requeridos para la determinación del régimen de riego

Para determinar el régimen de riego de un cultivo, se requiere datos iniciales sobre el clima, cultivo, suelo, parcela, la fuente de agua y el sistema de

riego.

b.1. Clima.- temperatura (máx., mín., y media), Humedad Relativa (máx., mín., y media), Precipitación (cantidades mensuales y distribución anual), Evaporación diaria (valor mensual, promedio del tanque evaporímetro Clase "A"), viento (velocidad y horas de viento), porcentaje de horas luz.

b.2. Cultivos.- especie y variedad, etapas de desarrollo, coeficiente del cultivo, máximo aprovechamiento de agua permisible para el cultivo, profundidad de zona radicular efectiva del cultivo.

b.3. Suelo .- Textura (tipo de suelo), HCc(%) porcentaje de humedad a capacidad de campo HPm(%) porcentaje de humedad en punto de marchitez permanente, peso específico aparente (gr/cm^3) por capa, infiltración básica (mm/hora) por capa.

b.4. Parcela.- área (Has), dimensiones, topografía, linderos, obstáculos en el terreno.

b.5 Fuentes de agua de riego.- pozo, río, presa, etc., volumen de agua a disposición del proyecto, localización de la fuente de agua, descarga horaria (caudal), presión de la fuente de agua, etc.

b.6 Sistema de riego.- Método de riego, características del emisor, espaciamiento entre emisores y laterales, eficiencia de riego.

1.5 DESCRIPCION DE LAS PLANTAS CULTIVADAS

1.5.1 Cultivo de pasto Ray grass inglés (*Lolium perenne*)

RAÍZ.- Esta planta 2 tipos de raíz:

Raíces embrionarias o seminales.- Que se originan directamente del embrión, están cubiertas por la coleorriza que es el órgano de protección,

que es el encargado de absorber el agua y las sales minerales.

Raíces caulinares o adventicias.- Aparecen de 4 a 6 días de la germinación que nacen del pericelo de los nudos basales, son abundantes y ramificados.

TALLO O CAÑA.- Formados por nudos y entrenudo cilíndrico algo comprimidos y hueco en su base presenta el nudo caulinar de porte erecto.

HOJAS.- Es de color verde oscuro, desprovisto de pilocidades de prefoliación convulata

INFLORESCENCIA.- Es una espiga terminal dística, las espiguillas son sésiles caedizas, provistas de dos glumelas: lemma y palea pose una sola gluma.

FLOR.- Es hermafrodita de comportamiento chasmógama favoreciendo la polinización cruzada (alógama) realizado por el viento.

FRUTO.- Es una cariósipide aristado de 4mm de largo y de color parduzco, como menciona Ruíz (1989)

1.5.2 Cultivo de cebolla (*Allium cepa*)

Valadez (1994), menciona que la cebolla es una planta monocotiledónea bianual, de polinización cruzada, que en la primera temporada se desarrolla a partir de una semilla hasta formar un bulbo maduro. En la segunda temporada se produce el borricón del bulbo formándose los tallos florales en cuyas umbelas se desarrollan las semillas.

La cebolla es una planta que requiere temperaturas bajas a moderadas (14 a 17°C) hasta la formación del bulbo y de temperaturas altas (20°C) para el crecimiento y maduración de los bulbos.

La cebolla se adapta bien a un amplio rango de suelos, sin embargo

los suelos demasiados arcillosos y salinos producen rendimientos bajos.

Raíz.- Las raíces se elongan de la base del cotiledón de la raíz principal, comienza su crecimiento hacia abajo en tanto que el cotiledón continúa elongándose para formar un codo, el cual ejerce presión para emerger por sobre la superficie del suelo.

Las raíces son fibrosas reducidas en número, que puede alcanzar una profundidad de 40 a 45 cm. del suelo, lateralmente se extiende hasta unos 30Cm, además son fasciculadas y blancas.

Tallo.- Está constituido por una masa caulinar llamado disco de entrenudo muy cortos situado en la base del bulbo del cual nacen las raíces y las hojas. El tallo permanece con esta forma durante toda la temporada inicial, pero en la segunda en la yema sale un escapo floral hueco de sección cilíndrica, alcanzando hasta una altura de 1.5 a 2.0 cm. y en su extremo se forma la inflorescencia llamada umbela.

Hojas.- Está constituido de dos partes fundamentales una inferior o una vaina envolvente y uno superior o foliolo. El conjunto de las vainas envolventes forman un órgano hinchado llamado botánicamente un bulbo tunicado.

Las hojas son de color verde cenizo, tubulares, semicilíndricas, una planta adulta llega a formar de 8 a 30 hijas con una longitud de 40 a 60 Cm.

Flores.- Las flores se agrupan en umbelas simples en el extremo de los tallos florales, que son huecas cilíndricas y algo más gruesas en su parte media de cada bulbo forman entre 01 a 20 tallos florales.

Fruto.- El fruto o semilla es relativamente pequeño de forma trilobular, color negro, redondeados con ciertos aplastamientos, cuando madura tiene forma arrañada y mide unos 4mm de largo por 2mm de ancho.

Suministro de agua y rendimiento del cultivo

La cebolla al igual la mayoría de los cultivos hortícolas, es sensible al déficit de agua, para lograr un rendimiento elevado, el agotamiento del agua del suelo no debe exceder del 25% del agua disponible en el suelo. Cuando el suelo se mantiene relativamente húmedo, el desarrollo de las raíces se reduce y esto favorece el aumento del bulbo. El riego se debe interrumpir cuando el cultivo se aproxima a la madurez para dejar que se sequen las partes superiores y también para evitar un segundo crecimiento de las raíces.

El cultivo es muy sensible al déficit de agua durante el periodo de formación de la cosecha (tercera fase), especialmente durante el periodo de rápido crecimiento del bulbo, que tiene lugar unos 80 días después del trasplante.

Absorción de agua

El cultivo tiene un sistema radical somero, con raíces concentradas en la capa superior del suelo de 0.30 m de profundidad. En general el 100% de absorción de agua tiene lugar en la primera capa de suelo de 0.30 a 0.50 m de profundidad.

1.5.3 Cultivo de col (*Brassica olerácea*)

Maroto (1986) y Tamaro (1983); menciona que la col es una planta bianual, con una raíz pivotante provista de abundantes raicillas laterales,

tallos florales erguidos poco ramificados que adquieren una consistencia leñosa.

Hoja de color verde gris o rojizo de bordes ligeramente aserrados de forma más o menos ovalada, anchas de costillas, nervaduras gruesas grandes lampiñas recubiertas de un estrato o barniz céreo, secreción epidérmica que también se denomina pruina. Como consecuencia de la hipertrofia de la yema vegetativa germinal y de la disposición abrazadora de las hojas superiores, se forman unos cogollos o pellas de hojas muy apretadas en las que la planta acumula reservas nutritivas y en- casos de no ser recolectadas en el primer año del cultivo, estas reservas se movilizan en la alimentación de la planta durante el segundo año del cultivo, en el que en condiciones normales emitirá el tálamo floral; las pellas de las hojas son más apretadas en los repollos de las hojas lisas que en las coles de Milán.

La inflorescencia es en racimo de flores amarillas o blancas con el cáliz de cuatro sépalo, la corola de cuatro pétalos iguales, con seis estambres tetradínamos y el ovario con cuatro filas de óvulos. El fruto es una silicua de 4 – 6 cm de largo que contiene muchas semillas de colores oscuros y redondeados que conserva su poder germinativo por seis años.

Suministro de agua y rendimiento del cultivo

Las necesidades de agua varían de 380 a 500 mm, dependiendo del clima y de la duración del periodo vegetativo. La respuesta al suministro de agua aumenta con el desarrollo del cultivo, durante el desarrollo lento del periodo vegetativo (primera fase), el déficit de agua influye poco en el rendimiento del cultivo. Una vez que se llega a un crecimiento rápido durante

el periodo de formación de cosecha (tercera etapa) el efecto de un suministro limitado de agua sobre la disminución del rendimiento se hace cada vez más pronunciado hasta el final del periodo vegetativo.

Absorción de agua

La col tiene un sistema radical extendido y somero, la mayoría de las raíces se encuentra en la capa superior del suelo de 0.40 a 0.50m de profundidad, con una disminución rápida de la densidad de raíces al aumentar la profundidad. Normalmente el 100% del agua se extrae de esta capa.

1.5.4 Cultivo de la arveja (*Pisum Sativum*)

Origen

Mateo (1961), afirma que el cultivo de la arveja es originario de las regiones templadas del Asia central, Cercano oriente, Noreste de la India y el Mediterráneo. Su distribución inicial fue a través de Europa y Asia, para después difundirse en el norte de EE.UU y sur de Canadá; extendiéndose por ambos hemisferios en las zonas tropicales y templadas.

Características botánicas

Mateo (1961) Define a la arveja como una planta anual herbácea de tallos relativamente delgados, huecos y angulosos y un hábito trepador, rastrera y/o erecta variando de tamaño de acuerdo a su habitat de crecimiento. Los cotiledones son hipogeos.

Las hojas son pinnadas compuestas que consta de 1 – 4 pares de foliolos con bordes dentados o enteros terminados en zarcillos de cuyos terminales se valen para sostener o trepar.

Las flores son amariposadas de color blanco púrpura y/o violeta con

alas algo más oscuras que el estandarte, de inserción axilar sostenidas por un pedúnculo para cada uno, dos en la axila de las estipulas que son acorazonados y de bordes en la base.

El fruto de la arveja es un legumbre llamada vaina, la cual puede ser verde o amarilla variando en forma y tamaño; en su interior encierra semillas de diversas formas siendo generalmente redondeados de superficie lisa y /o arrugada, el color y tratamiento varía de acuerdo a los cultivares.

La planta de arveja es autógama ocurriendo muy poco cruce natural, la cantidad de cruzamiento entre cultivares no es uniforme calculándose que no pasa del 3%.

Faiguenbaum (1990) menciona que las épocas importantes en cuanto a las necesidades hídricas; es la época de floración y cuando las vainas está en medio engrosar.

1.6 REPORTE DE OTROS TRABAJOS SIMILARES

- 1) Para determinar la ETo el comité técnico sobre el requerimiento de Riego de la Sociedad Americano de Ingenieros Civiles (ASCE), en 1973 ha utilizado a la alfalfa como pasto estándar, (Hargreaves 1976)
- 2) El Ing. Hargreaves G.H. Realizó mediciones con lisímetros en la Universidad California Utilizando pasto festuca para determinar la ETo,(Avidan 1994)
- 3) Pruitt W.O. en 1966 realizo mediciones de la evapotranspiración en Davis sembrando con pasto, (Dorenbos & Pruitt 1976).
- 4) La organización para la alimentación y agricultura (FAO) de las Naciones Unidas en 1975 resume varios métodos para estimar la ETo

basados en la evapotranspiración de pasto, (Dorenbos & Pruitt 1976)

- 5) Magali García et. al (1989 – 1990) en una investigación realizada en el altiplano boliviano (Patacamaya a 170 15' LS, 670 55' LO, 3786 m.s.n.m.), localidad representativa del altiplano central, determinación de la evapotranspiración de Referencia (ET_o en Rye Grass y Evapotranspiración del Cultivo en Quinoa, Usando un sistema de 02 lisímetros con dimensiones de 2x2x0.90 m. Donde la Evapotranspiración de referencia calculada utilizando la ecuación de Penman Monteith.
- 6) En el Proyecto Majes – Arequipa en 1990 se realizó una investigación para determinar el Uso Consuntivo o Demanda de agua para cuatro cultivos que continuación se detallan:

CULTIVOS	VARIEDAD	UC (mm/camp)
Arveja	Azul	646.6
Girasol	Hales best jumbo	318.5
Melón	Spunknik	1286.0
Kiwicha	Oscar blanco	957.5

Fuente Tesis Ingeniero Agrícola UNA La Molina.

7) Morillo – Velarde, reporta las necesidades Hídricas en Remolacha ET para 09 Provincias de Castilla- León calculados a base de datos meteorológicos históricos (1961 – 1990) registrados en esa zona para calcular la evapotranspiración potencial utilizada el método de Penman Monteith, los resultados se reportan a continuación:

Necesidades Netas (ETc) para remolacha Azucarera, para dos fechas y sin considerar las precipitaciones (mm/campaña).

PROVINCIAS	SIEMBRA 01 DE MARZO	SIEMBRA 10 DE ABRIL
Ávila	636.0	619.0
Burgos	575.0	563.0
León	615.0	598.0
Salamanca	674.0	645.0
Segovia	595.0	579.0
Soria	579.0	564.0
Valladolid	698.0	682.0
Zamora	659.0	671.0

Fuente www.aimicra.com

8) Yance, R (1999) y Chipana, W (2001) reportan resultados sobre los requerimientos de agua estudiados en lisímetros para condiciones de Pampa de Arco a 2761 msnm en la campaña de 1999 y determinan la evapotranspiración de referencia utilizando los cuatro métodos recomendados por la FAO.

CULTIVOS	USO CONSUNTIVO (mm/campaña)
Cebada	958.49
Clavel	1287.31
Tomate	910.34
Maíz	1281.56

Fuente: Raúl Yance V. Tesis Ingeniero Agrónomo – UNSCH

CULTIVOS	USO CONSUNTIVO (mm/campaña)
Papa	827.38
Fresa	489.29
Arveja	938.15
Trigo	779.20

Fuente: Walter Chipana B. Tesis Ingeniero Agrónomo – UNSCH

9) Cuba, J (2002) reportan resultados sobre los requerimientos de agua estudiados en lisímetros para condiciones de Pampa de Arco a 2760 msnm en la campaña de 2001 y determinan la evapotranspiración de referencia utilizando pasto Rye gras inglés utilizando el método lisimétrico.

Año	Meses	ETo mm/mes	ETo mm/día
2001	Febrero	143.05	5.11
2001	Marzo	154.90	5.00
2001	Abril	157.76	5.26
2001	Mayo	171.95	5.55
2001	Junio	156.41	5.21
2001	Julio	176.86	5.71

Fuente: Jaime Cuba S. Tesis Ingeniero Agrónomo - UNSCH

CULTIVO	USO CONSUNTIVO (mm/campaña)
Avena	1237.19
Cebolla	540.37
Col	693.60

Fuente: Jaime Cuba S. Tesis Ingeniero Agrónomo - UNSCH

10) Núñez, H (2009) reportan la evapotranspiración de referencia (ETo) evaluados en lisímetros en cultivo de pasto festuca para condiciones de la Estación Experimental INIA Canaán a 2760 msnm en la campaña de 2009

Año	Meses	ETo mm/mes	ETo mm/día
2009	Mayo	169.54	5.47
2009	Junio	161.17	5.37
2009	Julio	171.38	5.33
2009	Agosto	173.45	5.60
2009	Setiembre	179.54	5.98
2009	Octubre	179.04	5.78
2009	Noviembre	179.81	5.99
2009	Diciembre	168.15	5.42
2009	Enero	162.74	5.25

Fuente: Herbert Núñez A. Tesis Ingeniero Agrícola – UNSCH

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

2.1.1 Ubicación

El trabajo se condujo en los ambientes de la estación experimental del Instituto Nacional de Investigación Agraria Canaán - Ayacucho (INIA)

Ubicación Política:

Departamento : Ayacucho
Provincia : Huamanga
Distrito : Ayacucho
Lugar : Estación Experimental Canaán Inía – Ayacucho.

Ubicación geográfica:

Latitud : 13° 09' 28" S.
Longitud : 74° 14' 53" W.
Altitud : 2760 m.s.n.m

2.1.2 Características Climáticas

Según los registros meteorológicos reportados por la estación meteorológica

instalados en la estación experimental INIA Canaán Ayacucho y estación meteorológica de Pampa del Arco UNSCH, se detalla los siguientes parámetros climáticos:

a.- Precipitación.- De acuerdo a los registros de la estación meteorológica instalado en la estación Experimental INIA - Canaán Ayacucho y la estación meteorológica del Pampa del Arco UNSCH; las precipitaciones inician desde el mes de octubre o noviembre y llegando a mayores láminas de precipitación en los meses de enero a marzo y el resto de los meses constituyen épocas secas con bajas precipitaciones y ocasionales.

Durante el tiempo de ejecución de trabajo (Diciembre del 2009 a Julio 2010) se reportó una precipitación máxima de 110.23 mm, en el mes de febrero y una mínima de 0.6 mm en el mes de Julio; precipitación registrada en la estación meteorológica instalado en la estación experimental INIA Canaán (parcela experimental) que presenta una ligera variación con los datos registrados en la estación del Pampa del Arco. Ver ANEXO Cuadro 6.11

b.- Temperatura.- La temperatura varía de acuerdo a los meses, y durante el año se puede apreciar que los meses con altas temperaturas son de setiembre a diciembre y los meses con temperaturas frías en los meses de mayo y agosto.

La temperatura promedio mensual máxima es de 21.45 °C y la mínima promedio mensual de 5.53 °C, presentando un promedio anual mensual de 13.490C registrado durante los últimos 10 años. Ver ANEXO Cuadro 6.11

c.- Humedad relativa.- La humedad relativa experimenta variaciones siendo los meses de invierno lo más secos y los de verano los más húmedos (enero

– marzo), siendo el promedio anual de 59%. Ver anexo cuadro 6.11

d.- Viento.- Es muy importante porque influye directamente en la evapotranspiración, el viento al desplazar la masa de aire que están siendo saturadas con vapor, actúan aumentando la evaporación.

En Ayacucho la velocidad media mensual varia de 0.4 a 1.0 m/s, con dirección noroeste – sur, presentándose también vientos esporádicos de direcciones muy variables.

e.- Horas sol.- presenta una distribución desuniforme durante todo el año con cielo despejado en algunos meses y en otros meses con nubosidad alta. La máxima insolación por día llega hasta 11 horas y la mínima de 01 hora.

2.1.3 Características del suelo

El terreno donde se condujo el experimento presenta una profundidad de 15 a 35 cm. de capa arable, al cual continua una capa dura de caliche que es considerado como roca semi dura, con una pendiente superficial de 2 – 3%.

El análisis físico - químico y físico del suelo de la Estación Experimental INIA Canaán se realizó en el laboratorio “Nicolas Rouler” – UNSCH. El resultado se muestra a continuación.

a) Características químicas del suelo de la Estación Experimental INIA

Canaán

Elemento	Resultado	Interpretación
N – total	0.04%	Muy pobre
P – disponible	27.3 ppm	Alto
K – disponible	45.1 ppm	Bajo
Materia Orgánica	0.90%	Muy pobre
PH	7.56	Alcalino

Fuente: L Herbert Núñez A. Tesis Ingeniero Agrícola – UNSCH – 2009

b) Características físicas del suelo de la Estación Experimental INIA

Canaán

Clase Textural	: Franco arcilloso
Arcilla	: 37.6%
Limo	: 22.4%
Arena	: 40%
Densidad aparente (0 - 0.20 m prof)	: 1.16 gr/cm ³
Densidad aparente (0.20 – 0.35 m prof.)	: 1.14 gr/cm ³

Fuente: Herbert Núñez A. Tesis Ingeniero Agrícola – UNSCH – 2009

c) Características hídricas del suelo de la Estación Experimental INIA

Canaán

Capacidad de campo (0 – 0.20 m prof)	: 37.20%
Capacidad de campo (0.20 – 0.35 m prof)	: 46.80 %
Punto de Marchitez permanente (0 -0.20 m prof)	: 20.20%
Punto de Marchitez permanente (0.20 – 0.35 m prof)	: 25.40 %

Fuente: Herbert Núñez A. Tesis Ingeniero Agrícola – UNSCH – 2009

d) Velocidad de infiltración básica del suelo de la Estación Experimental INIA Canaán

Nº Prueba	Clase textural	infiltración básica
01	franco arcilloso	: 6.41 mm/hora
02	franco arcilloso	: 5.26 mm/hora
03	franco arcilloso	: 7.57 mm/hora

Fuente: Herbert Núñez A. Tesis Ingeniero Agrícola – UNSCH – 2009

2.2 ORGANIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

2.2.1 Factores en estudio

a) Evaluación de la Evapotranspiración potencial de cultivo de referencia empleando los lisímetros.

ESPECIE	NOMBRE COMUN	FECHA DE SIEMBRA	CICLO VEGETATIVO
<i>Lolium perenne. L</i>	<i>Rye gras inglés</i>	15/ 11/2009	Perenne

b) Uso consuntivo o consumo de agua de los cultivos estudiados (ETc)

ESPECIE	VARIEDAD	PERIODO VEGETATIVO
<i>Allium cepa L.</i>	Roja arequipeña	166 días
<i>Brassica oleracea L.</i>	Jersey Wakefield.	124 días
<i>Pisum Sativum L.</i>	Remate	110 días

CUADRO 2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS CULTIVOS EXPERIMENTADOS

Cultivo	Especie	Variedad	Distanciamiento (cm)		N° de Lisímetros	N° de Plantas/golpe	Fecha de Siembra y/o trasplante	Periodo Vegetativo
			Surcos	Plantas				
Cebolla	<i>Allium cepa L.</i>	Roja arequipeña	60	20	03	02	02/12/2009	166 días
Col	<i>Brassica oleracea L.</i>	Jersey Wkefield	60	40	03	01	02/12/2009	124 días
Arveja	<i>Pisum sativum L.</i>	Remate	70	40	05	02	02/12/2009	110 días

2.2.2 Diseño experimental

En el presente experimento se utilizó el Diseño Bloque Completamente Randomizado considerando parcelas de tres cultivos de periodo vegetativo estacional cada uno con 03 repeticiones y una parcela de cultivo de pasto con 03 repeticiones.

2.2.3 Características de la parcela experimental

A continuación se detallan las dimensiones del campo experimental.

Parcelas:

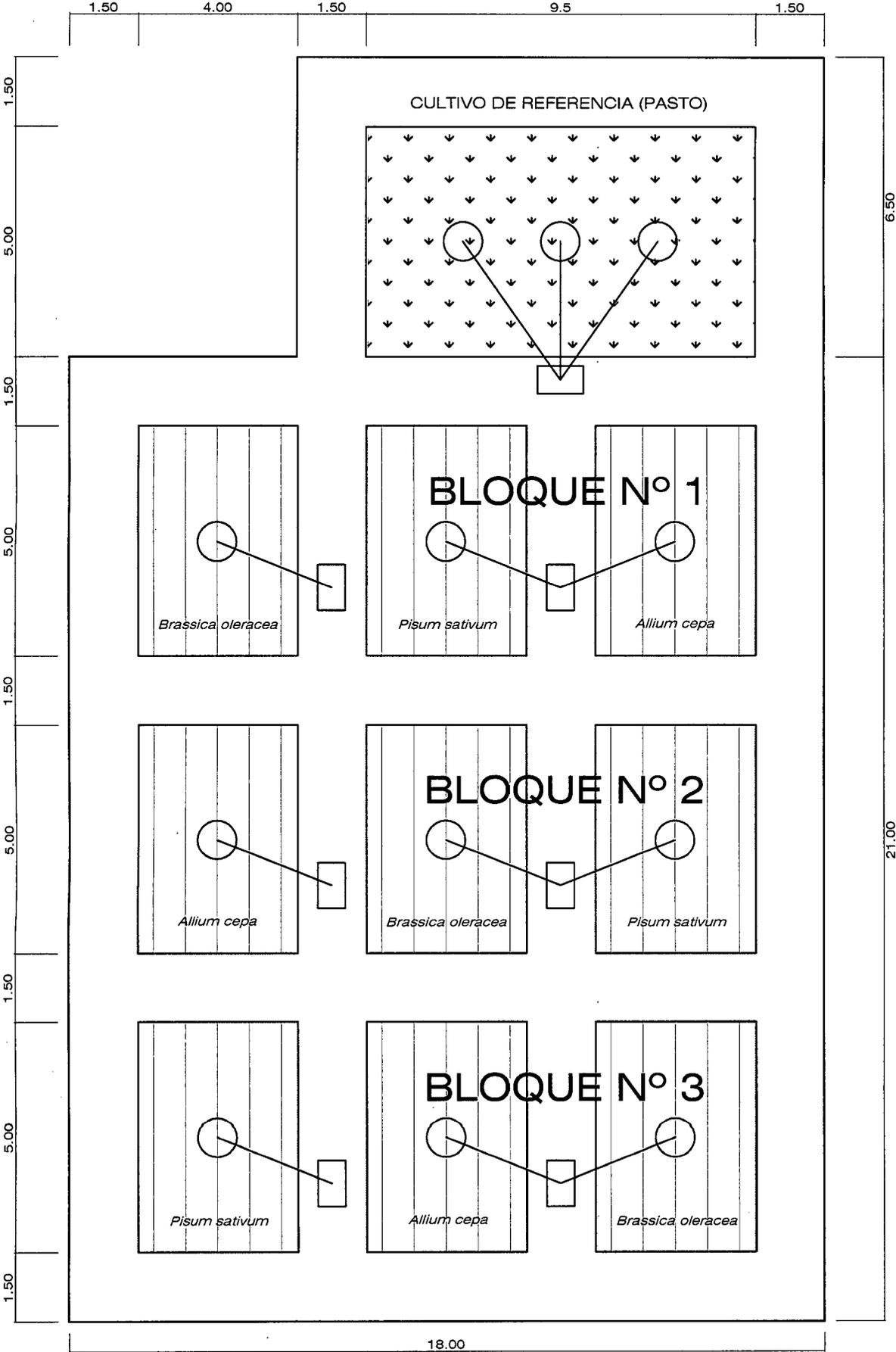
DE LOS CULTIVOS ESTACIONALES (arveja, col y cebolla)

Número de parcelas	: 09
Ancho de la parcela	: 4.0 m
Largo de la parcela	: 5.0 m
Área de las Parcelas	: 20 m ²
Ancho de las calles	: 1.50 m

DEL CULTIVO REFERENCIAL (Rye gras inglés)

Número de parcela	: 01 unid
Ancho de la parcela	: 5.0 m
Largo de la parcela	: 9.50 m
Área de la parcela	: 47.50 m ²
Ancho de la calle	: 1.50 m
Área efectiva del experimento	: 227.50 m ²
Are total del experimento	: 459 m ²

CROQUIS DE DISTRIBUCION



2.3 MATERIALES Y EQUIPOS

2.3.1 Materiales

- a) 08 unidades de tubos PVC 3/4"
- b) 1/8 galón pegamento PVC
- c) 12 unidades de unión y codo de PVC 3/4"
- c) 0.5 galones de Thiner
- d) 05 Kilos de brea sólida
- e)) 02 galones pintura esmalte
- f) 12 unidades de recipiente de 3.3 Lt de capacidad
- g) 0.46 m³ grava y 0.28 m³ gravilla
- h) 3.06 m² de esponja laminar de 2.5 cm de espesor
- i) 4m² de plástico tipo hule
- j) 01 unidad de probeta graduada de 500 ml
- k) 01 unidad de probeta graduada de 1000 ml
- l) balde graduada de 4 y 8litros
- m) Manguera de 30m
- n) cordel, wincha y nivel de mano
- o) Estacas.

2.3.2 Equipos

12 unidades de lisímetros de 0.57 metros de diámetro

01 pluviómetro estándar

Estación meteorológica de INIA Canaán

2.3.3 Insumos

Fertilizantes

Urea

Superfosfato triple de calcio

Cloruro de potasio

Semillas y /o plántulas

Rye grass inglés (*Lolium Perenne L.*)

Cebolla (*Allium cepa L.*)

Col (*Brassica oleracea L.*)

Arveja (*Pisum sativum L.*)

2.4 METODOLOGIA

2.4.1 Trabajo de campo

1. Planeamiento del trabajo experimental

Antes de la ejecución del presente trabajo de investigación se hizo un estudio preliminar para definir principalmente los siguientes: seleccionar los cultivos a estudiar, escoger el lugar adecuado donde se pueda contar con suficiente información meteorológica, la metodología y qué importancia y aportación práctica tenía la presente investigación.

2. Reconocimiento de la parcela experimental

Se realizó el reconocimiento del terreno, para ubicar el campo experimental y proceder con las actividades siguientes:

3. Fabricación de los lisímetros

Por la naturaleza del presente trabajo de investigación se construyó los lisímetros que a continuación se detalla:

Lisímetros con cultivo de pasto (Rye gras inglés) con la finalidad de evaluar la tasa de evapotranspiración de este cultivo como cultivo de referencia; con

las siguientes dimensiones: 57 cm de diámetro por 80 cm de altura.

Lisímetros para los cultivos de periodo vegetativo estacional, con la finalidad de evaluar el requerimiento de agua de cada cultivo, con las siguientes dimensiones: 80 cm de altura por 0.57 Cm de diámetro.

4.- Limpieza del terreno

Una vez delimitado el campo experimental se realizó la limpieza y desbroce de malezas dentro y en el contorno de la parcela experimental.

5.- Trazo y replanteo

Se realizó el trazo y el replanteo haciendo el uso de las estacas y el cordel según el croquis de distribución, considerando un distanciamiento entre surcos de 70cm para el cultivo de arveja y 60 cm para el cultivo de la cebolla y col.

6. Movimiento de tierras (hoyos, zanja y trinchera de registro)

Se realizó la apertura de los diferentes componentes del sistema lisimétrico como:

Apertura de hoyos circulares para los lisímetros con las dimensiones siguientes: 57 cm de diámetro con una profundidad de 70 cm para los cultivos de periodo vegetativo estacional y cultivo de referencia (pasto); haciendo un total de 12 lisímetros.

Apertura de zanja para la instalación de la tubería de drenaje con longitudes variables con un ancho de 40 cm por 70cm de profundidad.

Apertura de trincheras de registro, con las siguientes dimensiones: 1.0m de largo por 70cm de ancho y una profundidad de 1.0m 'estas se excavaron más profundas que al de los hoyos de los lisímetros con la finalidad de darle

pendiente para que fluya el agua drenada, estas trincheras están ubicadas al pie de los lisímetros (ver croquis de distribución).

Total de trincheras de registro: 07 unidades.

7. Instalación de los lisímetros

La instalación de los lisímetros se realizó en los primeros días del mes de diciembre las cuales se instalaron en los hoyos, con mucho cuidado. Se colocó el lisímetro dejando un bordo libre de 10cm. Por encima del nivel del suelo para evitar efectos de la escorrentía superficial de los lisímetros y el ingreso de agua de riego al momento de regar los cultivos acompañantes.

8. Colocación de tuberías de drenaje

Se instalaron tuberías de PVC diámetro $\frac{3}{4}$ " desde la base del lisímetro (Fo Go) hasta la abertura de los recipientes de drenaje con una pendiente ligera de 2% que luego serán enterrados en todo su recorrido, estas tienen la función de transportar el agua drenada de los lisímetros después de un riego localizado o una lluvia, hacia la trinchera de registro donde son almacenados en recipientes de drenaje para luego ser registrados y evaluados.

Como la unión es de una tubería de Fo Go la tubería de PVC fue necesario utilizar cintas de jebe (teflón) para lograr una eficiente fijación y así evitar fugas de agua.

9. Prueba hidráulica

Antes de realizar el tapado y nivelado del terreno se realizó la prueba hidráulica para verificar el buen funcionamiento de todos los componentes del sistema lisimétrico y que no presente ninguna fuga de agua en las

uniones.

10. Preparación del terreno

Luego de tapar las zanjas se realizó la preparación y nivelado del terreno para sembrar los cultivos acompañantes, lo que consistió en voltear el suelo con dos pasadas con pico y una pasada de rastrillo para dejarlos bien mullido y nivelado.

11. Preparación y colocación del sustrato en los lisímetros

En la base del lisímetro se colocó una capa de mortero con una pequeña inclinación 5cm seguido por una capa de grava 10 cm , una capa de gravilla 4cm más una lámina de esponja de 1cm de espesor; todo esto con la finalidad de evitar taponamientos posteriores en la tubería de drenaje y también lavado de nutrientes del suelo agrícola.

En los últimos 50 cm se colocó el suelo agrícola con las mismas condiciones de fertilidad de suelo de los cultivos acompañantes, dejando 10cm de bordo libre.

12. Instalación de los recipientes de drenaje en las trincheras de registro

La trinchera de registro son hoyos que sirven para realizar registros del agua drenado; en cuyo interior están ubicados los recipientes de drenaje que son recipientes de 3.3 litros de capacidad, para cultivos de periodo vegetativo estacional y cultivo de referencia (pasto) donde que estos recipientes en la parte superior están conectados a través de un codo para evitar la evaporación del agua drenado y el ingreso de agua de lluvia.

Estos se colocaron antes de realizar el riego pesado 02 días antes de la

siembra y/o trasplante tiempo que dura para obtener un suelo a capacidad de campo en el momento de la siembra y/o trasplante.

13. Segunda prueba hidráulica

Esta prueba se realizó con el lisímetro instalado con sus componentes (mortero, grava, gravilla, esponja y suelo agrícola: antes de realizar la siembra, para verificar que el lisímetro y todo sus componentes funcionen perfectamente.

14. Riego a capacidad de campo

Dos días antes de realizar la siembra se realizó un riego pesado al sustrato de los lisímetros hasta obtener un suelo saturado y de esta manera después de 48 horas conseguir un suelo a capacidad de campo (CC) al momento de la siembra de igual manera se realizó para los cultivos en la parcela.

15. Instalación de la estación meteorológica.

En la Estación Experimental INIA Canaán se instaló la estación meteorológica: un pluviómetro estándar y otro pluviómetro automatizado para evaluar el margen de error y luego registrar la precipitación diaria, durante el tiempo que duró la investigación, cuyos datos serán necesarios para realizar los cálculos de la evapotranspiración de los cultivos. El cual fue instalado el 01 de noviembre del 2009. Convenio con SENAMHI – INIA.

16. Siembra

Cuadro 2.3 Densidad de siembra y nivel de abonamiento

CULTIVO	DENSIDAD DE SIEMBRA	NIVEL DE ABONAMIENTO		
		N	P	K
Rye grass inglés (pasto)	25Kg/ha	60	80	60
Cebolla	83,333 pl/ha	100	80	120
Col	41,667 pl/ha	160	140	60
Arveja	120 Kg/ha	90	170	40

I.-Siembra y/o trasplante

En cada uno de los lisímetros se colocaron la misma cantidad de semillas en el caso de Rye grass inglés como la arveja y plántulas para el caso de la cebolla y la col. El sistema de siembra, distanciados entre surcos 60 cm en el caso de la cebolla y col, 70cm entre surcos en el cultivo de la arveja y distancias variables entre plantas o golpes dependiendo de la densidad de siembra.

II.- Rye Grass inglés (*Lolium perenne L*)

Se sembró este pasto para evaluar la evapotranspiración potencial como cultivo de referencia. Para dicha evaluación se requiere que el cultivo esté en crecimiento intenso como menciona las bibliografías, se realizó la siembra el 15 de Noviembre del 2009 tanto en los lisímetros y en el terreno como cultivos acompañantes, teniendo así en los lisímetros cultivo aislado con las mismas condiciones edáficas e hídricas.

Durante la conducción de la investigación se realizaron cortes frecuentes manteniendo el cultivo de pasto con una altura constante de 8

a 15 cm, para evitar que el tallo y las hojas del cultivo se tumbe y presente áreas descubiertas que no es conveniente para este tipo de investigación; se empezó a evaluar cuando el cultivo estaba en crecimiento intenso desde el 02 de Diciembre del 2009 juntamente con los cultivos de periodo vegetativo estacional.

III.- Cebolla (*Allium cepa*)

En este cultivo se realizó el trasplante el 02 Diciembre del 2009 cuando las plántulas tienen una altura de 15 cm colocando 02 plántulas en cada lisímetro y el terreno como cultivo acompañante a ambos lados del surco distanciados a 20 cm entre plantas.

IV.- Col (*Brassica oleracea*)

Se realizó el trasplante el 02 de Diciembre del 2009, cuando las plántulas desarrollaron la cuarta hoja, colocando una plántula en cada lisímetro y en los cultivos acompañantes, distanciados a 40 cm entre plantas o golpes.

V.- Arveja (*Pisum sativum*)

Se realizó la siembra el 02 de Diciembre del 2009, colocando 03 semillas en cada lisímetro y los cultivos acompañantes, distanciados a 40 cm entre plantas o golpes.

17. Labores Agrícolas

I.- Deshierbo

Para evitar la competencia principalmente de gaza por ser éste factor en estudio, se realizó deshierbos frecuentes tanto en los lisímetros como en

los cultivos acompañantes.

II.- Aporque

En el cultivo de col se realizó un solo aporque 50 días , cebolla 60 días después de realizar el trasplante y en la arveja 40 días después de la siembra.

III.- Riego

En los lisímetros se aplicó un riego localizado con una eficiencia de aplicación de 100% y una frecuencia de 02 veces por semana, con volúmenes conocidos y que fueron registrados en formatos elaborados para este fin; después de cada riego para realizar el balance hídrico.

En los cultivos acompañantes se realizó riego por gravedad y por surcos con la misma frecuencia.

IV.- Control fitosanitario

Durante el periodo de conducción del experimento, no se ha presentado problemas fitosanitarios significativos, y lo poco que afectó en el cultivo de la arveja fue la Chupadera *Rhizoctonia Fusarium*, y *Mildeu Peronospora destructor* al cultivo de la cebolla a la cuales se controlaron con un fungicida Protexin con una dosis de 8ml por una mochila de 15 lit. , Ridomil con una dosis de 1.5 Kg/ha respectivamente.

18.- Registro de la precipitación en la Estación pluviométrica de INIA

Las láminas de precipitación fueron registradas diariamente en el pluviómetro instalado en la parcela experimental.

La información meteorológica ha sido complementada por los registros de la estación meteorológica de Pampa del Arco (Estación Huamanga) para

efectos de cálculo por el método indirecto o por fórmulas empíricas y para comparar los datos obtenidos directamente en campo.

19.- Registro del flujo hídrico

Los registros se realizaron 2 veces por semana (miércoles y sábado), durante todo el periodo vegetativo del cultivo en estudio, tanto para el pasto y los cultivos estacionales.

Se registraron y evaluaron el flujo de entrada y salida de agua del sistema lisimétrico. Las entradas representa el riego localizado más el aporte de la precipitación y la salida es el agua drenada o el agua no aprovechada por la planta que son registrados en los recipientes de drenaje, utilizando una probeta graduada en la que se registran volúmenes conocidos tanto de la entrada y salida.

20.- Evaluación del crecimiento de los cultivos

Durante el periodo vegetativo de cada uno de los cultivos: *Allium cepa*, *Brassica oleracea* y *Pisum sativum* se evaluó la fenología (etapas de crecimiento y desarrollo), para determinar las fases o etapas de desarrollo de los cultivos.

21.- Cosecha de los cultivos

Cebolla

A los 166 días después del trasplante, se realizó la cosecha cuando la planta de cebolla llegó a la madurez comercial, y esto se reconoció cuando la parte aérea de la planta empezó a secarse.

Col

La cosecha se realizó cuando las plantas de col habían formado la parte

comestible (cabeza - madurez comercial), al que se verificó presionando con la yema de los dedos suavemente, se realizó el corte con un cuchillo desde la base de la planta a los 124 días después del trasplante.

Arveja

Se realizó la cosecha a los 110 días después de la siembra, cuando las vainas están completamente llenos (madurez comercial - grano en verde).

2.4.2 Trabajos de laboratorio

Determinación de las características físicas y químicas del suelo

Se sacó muestras del suelo en puntos representativos para determinar las características físicas y químicas del suelo.

Determinación de rendimiento del cultivo

Luego de haber cosechado los cultivos por parcelas se pesó la parte comercial para determinar el rendimiento por parcela para luego extra polar el rendimiento por hectárea.

2.4.3 Parámetros de evaluación

a) Determinación de la Evapotranspiración potencial (experimental)

Se realizó la evaluación de la entrada y salida de agua de los lisímetros sembrado con Rye Grass inglés (*Lolium perenne*), la que representa la tasa de evapotranspiración del cultivo de pasto o la Evapotranspiración potencial o del cultivo de referencia (ET_o) evaluados durante los 06 meses (Diciembre a Mayo).

Con los datos ordenados semanal y mensual en milímetros de lámina de agua se calculó la evapotranspiración potencial (ET_o), en una hoja de

cálculo desarrollado por el investigador en base a la Ecuación 2.1.

$$ETo = Pe + I - D \qquad \text{Ec.2.1}$$

Dónde:

ETo : Evapotranspiración potencial (mm/día o mm/mes)

Pe : precipitación efectiva (mm)

I : Riego localizado (mm)

D ; Percolación profunda o drenaje de agua (mm)

De las láminas de precipitación total que se registró en la estación pluviométrica de la Estación Experimental INIA Canaán; se determinó la Precipitación efectiva (Pe) por el método empírico del Water Power Resources Services (WPRS – USA)., esto porque no toda la precipitación es captada por los lisímetros y también se presenta una evaporación del agua de lluvia desde las hojas

El cultivo se mantuvo en crecimiento intenso y una altura de planta de 8 a 15cm.donde el consumo de agua es relativamente constante en todo tiempo que duró el experimento.

El riego localizado (I) se efectuó con una frecuencia tres días y una eficiencia de aplicación de 100%, el Agua Drenada (D), que se registró en los recipientes de drenaje ubicados en la trinchera de registro, se registraron en formatos después de cada registro en volúmenes expresados en litros, lo que para efectos de cálculo se transformaron a la lámina de agua en milímetros utilizando la Ecuación 2.2

$$1\text{mm} = 1\text{lt}/\text{m}^2 = 10\text{m}^3/\text{Ha}$$

Ec 2.2

b) Determinación de la Evapotranspiración Potencial (Método recomendado por la FAO)

Para comparar los resultados obtenidos de la evaluación de la tasa de evapotranspiración de Pasto (ET_o) en condiciones de campo (Estación Experimental Inía Canaán Ayacucho); empleando la información de datos meteorológicos de la Estación Meteorológica de Pampa del Arco (Estación Huamanga) se realizó los cálculos para determinar la ET_o, con los cuatro métodos empíricos recomendados por la FAO.

El método del tanque evaporímetro clase "A" permite estimar la ET_o integrado el clima (la radiación, la temperatura, la velocidad del viento y la humedad relativa del aire) con la evaporación de una superficie de agua libre de dimensiones estándar.

El método de Blaney – Criddle (Mod. Por la FAO), toma en cuenta la temperatura media del periodo considerado y las horas luz de día, expresado como porcentaje del total de hora luz.

El método de Penman Monteith, toma en consideración la humedad relativa y la radiación solar y distingue entre la influencia del viento durante las horas del día y de la noche.

El método de Hargreaves, considera el valor de radiación extraterrestre, es decir la radiación del tope de la atmósfera (R_a) y la diferencia de temperaturas, media diaria TD.

Cuadro 2.4 Datos meteorológicos mínimos que se requiere para cada uno de los métodos empíricos

	Métodos			
	Hargreaves	Penman – M.	Tanque “A”	Blaney – C.
Temperatura	1	1	-	1
Humedad	-	1	2	2
Viento	-	1	2	2
Insolación	2	1	-	2
Radiación	2	3	-	-
Evaporación	-	-	1	-

1 datos medidos, 2 datos estimados (tablas FAO 1994), 3 cuando puede disponerse de ellos, pero no son indispensables

c) Determinación de la Evapotranspiración del cultivo (ET_c) o uso consuntivo

Llamado también requerimiento de agua del cultivo, necesidad de agua del cultivo o uso consuntivo.

El método directo para medir el requerimiento de agua del cultivo se basa en el balance hídrico por método lisimétrico estudiado; utilizando el principio lisimétrico

(Ecuación 2.1) mencionado anteriormente.

Se determinó la precipitación efectiva afectado por un coeficiente de precipitación, de acuerdo al grado de desarrollo del cultivo, el que es mínimo en la etapa inicial, porque el área que cubre y la absorción por las raíces del cultivo es mínimo y será mayor en la etapa de mediados del

cultivo, cuando el cultivo cubre parcial o totalmente al lisímetro, este coeficiente varía desde un 90% hasta un 50% de efectividad dependiendo de la especie del cultivo.

El riego Localizado y el drenaje son evaluados de la misma manera que para la determinación de ETo.

d) Calculo del coeficiente del cultivo (Kc) (experimental)

El coeficiente de evapotranspiración del cultivo (Kc) expresa la relación entre el Uso consuntivo del cultivo (ETc) y la Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo), evaluados experimentalmente bajo idénticas condiciones climáticas y edáficas del lugar del experimento.

$$Kc = \frac{ETc \text{ (mm/día)}}{ETo \text{ (mm/día)}} \quad Ec \quad 2.3$$

Dónde:

ETo : Evapotranspiración Potencial (mm/día)

ETc : Evapotranspiración del Cultivo (mm/día)

Kc : Coeficiente de Evapotranspiración del Cultivo

Coeficiente de cultivo se determinó para cada cultivo (Arveja, Cebolla, Col), para cada mes durante el periodo vegetativo del cultivo en estudio; considerando el consumo de agua del cultivo del mismo mes que del cultivo de referencia.

Vásquez (1994), sostiene que cuando dentro de un mismo ambiente se miden simultáneamente la evapotranspiración tanto del pasto de referencia como del cultivo, durante un determinado tiempo, entonces

existirá una relación entre ambos valores de la evapotranspiración, cuya cuantificación estará dada por un factor de proporción al que se denomina Coeficiente del Cultivo (K_c); como es de suponer, este coeficiente tendrá valores distintos de acuerdo al punto de referencia (cultivo pasto) que se utiliza.

e) Cálculo de coeficiente de cultivo (K_c) recomendado por la FAO

A continuación se describe el método gráfico elaborado por la FAO para determinar el valor de K_c (FAO) durante cada una de las etapas de desarrollo del cultivo.

1.- Para la etapa inicial

Para dicha etapa se emplea el gráfico presentado en la (fig 6.5) se requiere datos de sobre la ETo y la frecuencia de lluvia y/o riego durante la etapa inicial del cultivo y se obtiene directamente el valor correspondiente a K_c .

Sobre el gráfico típico de la fig 6.4 se marca el valor de K_c para el día de siembra.

Luego se demarcan las cuatro etapas definidas por la FAO con el número de días correspondientes a cada una de ellas. Por último se prolonga el valor de K_c inicial para los días de la primera etapa.

2.- Para la tercera etapa y final de la temporada

Se obtiene el valor de K_c (FAO) en la tabla 6.3 del anexo y luego introduce en el gráfico fig. 6.4

3.- Para la segunda etapa o etapa de desarrollo del cultivo

Se utiliza el método de interpolación, se traza una línea que une el 'último

día de la etapa inicial, con el primer día de la tercera etapa (mediados de temporada), los valores de K_c aumentan paulatinamente durante la segunda etapa.

4.- Para la etapa de la maduración del cultivo.

Se traza una recta que une el último día de la tercera etapa con el punto que representa al final de la temporada. Los valores de K_c disminuyen paulatinamente durante este periodo.

Determinación de la etapa crítica de consumo de agua

f) Determinación de la etapa crítica del agua

Luego de realizar el balance hídrico y haber cuantificado las necesidades de agua de los cultivos en mm/mes y mm/día se consideraron los valores más altos mensuales para cada cultivo y que éstos demuestren la etapa o periodo que la planta reporta un consumo de agua máximo durante todo el periodo vegetativo, reflejando la etapa crítica de consumo de agua de los cultivos.

g) Determinación del régimen y programación de riego de los cultivos estudiados

Con los resultados obtenidos de la Demanda de Agua (mm/mes) y la precipitación efectiva mensual correspondiente, durante el periodo vegetativo de cada especie de cultivo (Arveja, Cebolla y Col) se efectuó el cálculo de la dosis de agua, con lo que respecta a la Programación de Riego se determinó la necesidad de riego bruta y neta, lámina de agua lámina de agua neta, frecuencia de riego y tiempo de riego cuyos resultados se reportan en el capítulo resultados y Discusiones.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

3.1.- De la Evapotranspiración potencial o Cultivo de Referencia (ET_o)

En el cuadro 3.1 se puede observar un resumen de los resultados comparativos de la determinación de la ET_o por método lisimétrico con datos obtenidos en campo y cuatro métodos empíricos cada uno estimados a base de datos meteorológicos registrados en la estación experimental INIA Canaán y Pampa del Arco.

CUADRO 3.1 Cuadro comparativo de la Evapotranspiración Potencial (ETo) (mm/mes).

Mes	N° de días	Mét. Exper. Lisímetro	Mét. Empírico (Fórmulas empíricas)			
			Tanque C. "A"	Blaney - Criddle	Penman - M	Hargreaves
Dic	31	171.9	102.8	80.7	134.3	149.1
Ene	31	166.7	87.2	80.7	127.6	139.1
Feb	28	147.4	73.7	65.8	108.3	117.1
Mar	31	173.6	75.2	70.0	112.5	125.9
Abr	30	169.8	86.5	70.3	101.1	116.0
May	31	173.9	82.1	63.8	99.0	109.6
Jun	30		80.6	60.0	80.9	102.4
Jul	31	-	90.0	58.9	88.6	102.0
ago	31	-	97.7	70.8	111.1	119.2
Set	30	-	104.4	75.2	114.0	131.7
Oct	31	-	111.0	86.0	134.6	146.7
Nov	30	-	112.7	92.8	140.0	153.8

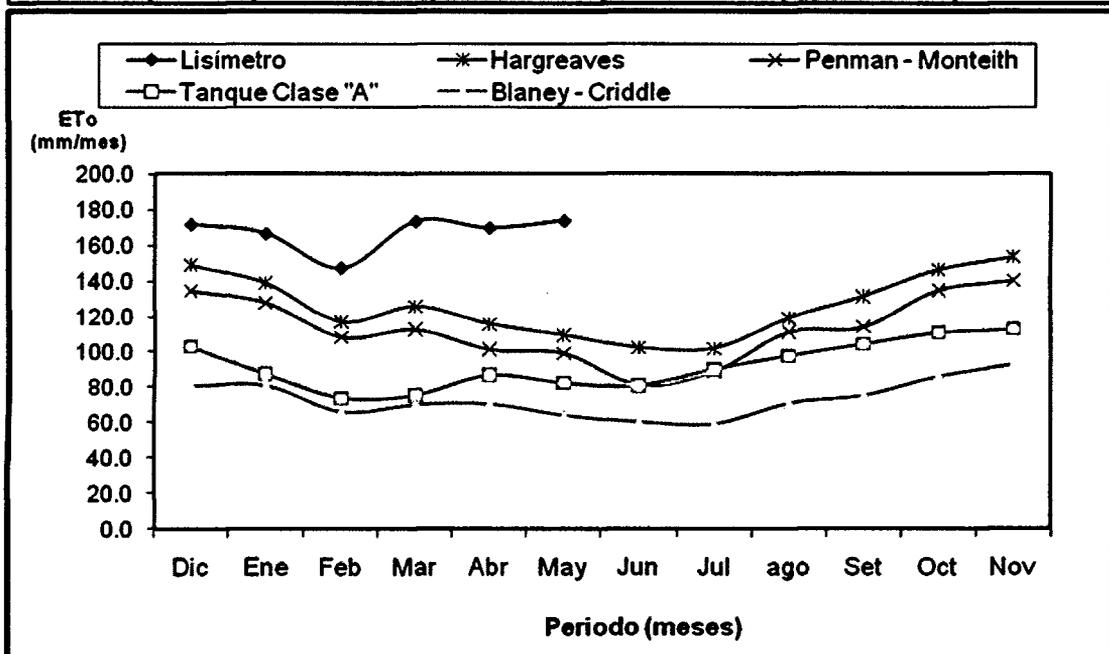


Figura 3.1 Variación de la Evapotranspiración Potencial (ETo) por varios métodos (mm/mes)

En la fig. 3.1 se observa la variación de la Evapotranspiración potencial (mm/mes) determinado por varios métodos empíricos

comparativamente con el método lisimétrico, esta variación se presenta debido a que:

Los valores obtenidos por el método lisimétrico calculados con datos experimentalmente reportan valores altos a comparación de los resultados empíricos, por que naturalmente las condiciones locales repercuten mucho en la Evapotranspiración de los cultivos. Las condiciones en que se han realizados la investigación tuvo las condiciones de suelo, humedad, fertilización, prácticas agrícolas, de regadío y también las condiciones climáticas propias del lugar que han influido en la tasa de crecimiento y tasa de evapotranspiración de los cultivos, dando lugar a obtener resultados netamente de la zona y similares a estas con las mismas condiciones mencionadas.

Los métodos recomendados por la FAO para estimar la Evapotranspiración Potencial (Eto) emplean fórmulas aproximadas desarrolladas por métodos de regresión en base a experimentos realizados en otras condiciones edáficas y climáticas. Para la estimación de la ETo se hace a base de tablas, que obviamente no se ajustan a las condiciones reales de nuestro entorno y que son muy diferentes a las condiciones en que se llevó a cabo la presente investigación.

Doorenbos & Pruitt (1976) menciona que a menudo es preciso aplicar estas fórmulas en condiciones climáticas y agronómicas muy distintas de aquellas para las que fueron inicialmente concebidas, resulta pues, muy importante someter la exactitud de las fórmulas antes de emplearlas en un nuevo conjunto de condiciones.

La ETo estimado por el método Blaney-Criddle, reporta datos muy bajos debido que los datos meteorológicos reportados en la zona no se ajustan como para que este método reporte valores de ETo con una cierta confiabilidad; debido a que Ayacucho altitudinalmente se encuentra en una región elevada, donde se presenta temperaturas mínimas bastante bajas con noches frías en los meses de invierno.

El Método de Tanque Clase "A" estima la ETo con los efectos integrados del clima (la radiación , el viento, la temperatura y la humedad relativa del aire), en la que relaciona unos coeficientes obtenidos experimentalmente que considera el clima, el tipo de bandeja y el medio circundante.

En la evaporación del agua libre del Tanque Clase "A" ocurre el escape de las moléculas de agua hacia la atmósfera, pero también ocurre un fenómeno inverso en la que las moléculas del vapor de agua de la atmósfera chocan con la superficie evaporante y que son captadas por éste, que presentará un equilibrio cuando el aire adyacente a la superficie evaporante se sature de vapor de agua. En este estado o situación las moléculas que salen son iguales a las moléculas que retornan al medio evaporante y la presión de vapor de saturación es igual a la tensión superficial de agua y presentado una evaporación nula. Fenómeno que no ocurre en un medio con cultivo de pasto en crecimiento intenso que presenta pérdida de agua constante cuando el suelo presenta agua disponible (humedad constante), como menciona García (1992)

El método del tanque Clase "A" es sin duda el más apropiado para el

caso de no disponer de datos climáticos. La principal crítica que se le ha hecho a este método es que el agua refleja solo entre el 5 y el 8% de la radiación solar, mientras un cultivo verde lo hace un 25% también la evaporación nocturna del tanque es apreciable en tanto las plantas la evitan cerrando los estomas, (Doorenbos y Prouitt, 1976).

Los valores reportados empleando los métodos de Penman y Hargreaves, se aproximan a los valores experimentales (método lisimétrico) y se adecuan más a nuestras condiciones; por que el de Penman – Monteith utiliza mayor número de datos meteorológicos y el Hargreaves por que emplea fórmulas desarrolladas a base de mediciones con lisímetros.

Doorenbos & Pruitt (1976), menciona que ante tanta profusión de métodos de cálculo de la ETo, un grupo de expertos de la FAO concluyeron que aún hoy día es recomendable usar los métodos propuestos para el cálculo de la ETc por FAO en el fascículo N° 02 y emplear el método de Penman – Monteith como el más eficaz para estimar la ETo.

Si no se dispone de datos climáticos, una alternativa es el método de Hargreaves que solo necesita valores de temperatura. Se evita también usar valores de humedad relativa, a menudo ha denunciado que estos sensores están plagados de errores.

Para periodos de cinco o más días, las cantidades estimadas por este método difieren menos del 5% con el método de Penman – Monteith, tanto en condiciones de secano como de riego.

En las siguientes páginas se incluyen formatos con los cálculos de Evapotranspiración Potencial o Cultivo de Referencia (ETo), tanto del

método lisimétrico obtenido con datos tomados en condiciones de campo y los cuatro métodos recomendados por la FAO.

Evapotranspiración del Cultivo referencial (ET_o)

Método : Blaney - Criddle (Mod. FAO)

$$ET_o = a + [b * (f)]$$

$$f = P * [(0,46 * T_m) + 8,13]$$

1° Datos Generales :

Pais : Perú
 Lugar : INIA Canaán
 Altitud : 2760 msnm
 Latitud : 13°09' 28" S
 Longitud : 74°14' 53" W
 Periodo : 1 año (2010)

Mes	N° de días	Temp. Med. Diaria (°C)	V. Vto diario (m/s)	H°R° Mínima (%)	Nubocidad Med. Diaria (octanos)	n/N	Coef. Regres. Lineal		% Horas luz diaria P (%)	Factor U.C. (f) (mm/día)	ET _o	
							a	b			mm/mes	mm/día
Dic	31	15.20	0.80	32.30	5.50	0.5	-2.00	1.05	0.29	4.39	80.74	2.60
Ene	31	15.20	0.80	40.30	6.40	0.4	-2.00	1.05	0.29	4.39	80.74	2.60
Feb	28	14.50	0.60	48.30	6.40	0.4	-2.00	1.05	0.28	4.14	65.83	2.35
Mar	31	13.80	0.70	53.80	5.90	0.5	-2.00	1.05	0.28	4.05	69.95	2.26
Abr	30	12.80	0.60	44.30	4.30	0.6	-2.20	1.20	0.27	3.78	70.25	2.34
May	31	12.00	0.50	30.50	2.60	0.7	-2.20	1.20	0.26	3.55	63.82	2.06
Jun	30	11.60	0.50	33.00	2.40	0.8	-2.20	1.20	0.26	3.50	60.04	2.00
Jul	31	10.90	0.60	28.50	2.10	0.8	-2.20	1.20	0.26	3.42	58.93	1.90
Ago	31	12.40	0.70	28.00	2.90	0.7	-2.20	1.20	0.27	3.74	70.75	2.28
Set	30	13.90	0.90	30.70	3.60	0.6	-2.20	1.20	0.27	3.92	75.17	2.51
Oct	31	14.50	0.90	35.00	4.20	0.6	-2.20	1.20	0.28	4.14	85.96	2.77
Nov	30	15.40	0.90	33.70	4.50	0.6	-2.20	1.20	0.29	4.41	92.83	3.09
Anual	365										875.04	

Observaciones : _____

Evapotranspiración Potencial (ETo)

$$ETo = E_{tan} * K_{tan}$$

1° Datos Generales:

Pais	:	PERU
Lugar	:	INIA Canaán
Altitud	:	2,760 msnm
Latitud	:	13°09' 28" S
Longitud	:	74°14' 53" W
Periodo	:	1 año (2010)

Mes	N° de días	Cobertura y extensión		V. Vto diario (m/s)	H°R° media (%)	Evap. Tanque (mm/día)	K _{tan}	ETo	
		A/B	(m)					mm/mes	mm/día
Dic	31	B	90	0.80	54.30	146.90	0.70	102.83	3.32
Ene	31	B	90	0.80	58.90	124.50	0.70	87.15	2.81
Feb	28	B	90	0.60	66.20	105.30	0.70	73.71	2.63
Mar	31	B	90	0.70	69.80	107.40	0.70	75.18	2.43
Abr	30	B	90	0.60	63.15	123.50	0.70	86.45	2.88
May	31	B	90	0.50	51.25	117.30	0.70	82.11	2.65
Jun	30	B	90	0.50	46.00	115.10	0.70	80.57	2.69
Jul	31	B	90	0.60	42.75	128.50	0.70	89.95	2.90
Ago	31	B	90	0.70	45.75	139.50	0.70	97.65	3.15
Set	30	B	90	0.90	52.20	149.10	0.70	104.37	3.48
Oct	31	B	90	0.90	54.35	158.50	0.70	110.95	3.58
Nov	30	B	90	0.90	53.35	161.00	0.70	112.70	3.76
Anual	365								

Observaciones : _____

Evapotranspiración Potencial (ETo)

Método : Hargreaves

$$ETo = 0,0023 * Ra * (Tm + 17,8) * TD^{1/2}$$

1° Datos Generales:

Pais	:	PERU
Lugar	:	INIA Canaán
Altitud	:	2,760 m.s.n.m
Latitud	:	13° 09' 28" S
Longitud	:	74° 14' 53" W
Periodo	:	1 año (2010)

Mes	N° de días	Temperatura (C°)			Diferencia Temp. TD (°C)	Radiac. Extrat. (mm/día)	ETo	
		Máx med	Mín med.	Med. Diaria			mm/día	mm/mes
Dic	31	22.5	7.8	15.2	14.7	16.6	4.81	149.07
Ene	31	21.5	8.9	15.2	12.6	16.7	4.49	139.06
Feb	28	20.4	8.5	14.5	11.9	16.4	4.18	117.14
Mar	31	20.4	7.1	13.8	13.3	15.4	4.06	125.93
Abr	30	20.5	5.1	12.8	15.4	14.0	3.87	116.00
May	31	20.8	3.2	12.0	17.6	12.3	3.54	109.64
Jun	30	21.4	1.8	11.6	19.6	11.4	3.41	102.38
Jul	31	19.8	1.9	10.9	17.9	11.8	3.29	101.98
Ago	31	21.4	3.4	12.4	18.0	13.1	3.85	119.22
Set	30	22.4	5.4	13.9	17.0	14.6	4.39	131.67
Oct	31	22.6	6.3	14.5	16.3	15.8	4.73	146.68
Nov	30	23.7	7.0	15.4	16.7	16.5	5.13	153.76
	365							

Observaciones : _____

Evapotranspiración Potencial (ETo)

Método : Penman - Monteith (Mod. FAO)

$$ETo = c * \{ [W * Rn] + [(1 - W) * f(u) * (ea - ed)] \}$$

1° Datos Generales:

Pais	:	PERU
Lugar	:	INIA Canaán
Altitud	:	2760 msnm
Latitud	:	13°09' 28 " S
Longitud	:	74°14' 53 " W
Periodo	:	1 año (2010)

Mes	N° de días	Término de advección (mm/día)			Término de radiación (mm/día)		Factor de ajuste ©	ETo	
		(1-W)	f(u)	(ea-ed)	(W)	(Rn)		mm/mes	mm/día
Dic	31	0.31	0.46	7.88	0.69	4.73	0.99	134.33	4.33
Ene	31	0.31	0.46	7.09	0.69	4.57	0.99	127.62	4.12
Feb	28	0.32	0.41	5.81	0.68	4.62	0.99	108.27	3.87
Mar	31	0.32	0.43	4.80	0.68	4.41	0.99	112.52	3.63
Abr	30	0.33	0.41	5.45	0.67	3.98	0.99	101.11	3.37
May	31	0.35	0.39	6.83	0.65	3.54	0.99	98.97	3.19
Jun	30	0.35	0.39	7.37	0.65	3.13	0.89	80.92	2.70
Jul	31	0.36	0.41	7.45	0.64	3.30	0.89	88.59	2.86
Ago	31	0.35	0.43	7.81	0.65	3.75	0.99	111.10	3.58
Set	30	0.32	0.48	6.69	0.68	4.14	0.99	114.04	3.80
Oct	31	0.32	0.48	7.56	0.68	4.74	0.99	134.62	4.34
Nov	30	0.31	0.48	8.15	0.69	5.07	0.99	140.03	4.67
Anual	365							1352.12	

Observaciones :

Evapotranspiración del Cultivo Referencia (ETo)

Método : Lisimétrico (experimental)

$$ETo = Pe + I - D$$

1° Datos Generales:

Pais	:	PERU
Lugar	:	INIA Canaán
Altitud	:	2760 msnm
Latitud	:	13°09' 28"S
Longitud	:	74°14' 53" W
Periodo	:	6 meses (2010)

Mes	N° de días	Precipitación		I (mm)	D (mm)	ETo	
		Pp (mm)	Pe (mm)			mm/mes	mm/día
Dic	31	90.00	73.25	124.48	25.80	171.93	5.55
Ene	31	106.20	83.54	135.27	52.12	166.69	5.38
Feb	28	110.23	85.35	77.07	15.05	147.37	5.26
Mar	31	57.00	47.89	180.27	54.58	173.58	5.60
Abr	30	23.80	17.86	219.46	67.50	169.82	5.66
May	31	11.00	5.70	190.50	22.28	173.92	5.61
Jun	30	-					
Jul	31	-					
Ago	31	-					
Set	30	-					
Oct	31	-					
Nov	30	-					
Anual							

Observaciones : _____

3.2 Requerimiento de agua de los Cultivos

En el cuadro 3.2 se puede observar los resultados del consumo de agua de los cultivos (NAC) estudiados, para las condiciones de Estación Experimental INIA Canaán Campaña 2010.

Cuadro 3.2 Necesidad de agua de los cultivos Canaán

CULTIVO	Necesidad de agua (NAC)		
	NAC (mm/campaña)	NAC (m ³ /ha)	Doorenbos & Kassam
ARVEJA	647.81	6478.10	350 - 500
CEBOLLA	915.4	9154.00	350 - 600
COL	718.55	7185.50	380 - 580

El consumo de agua por los cultivos obtenidos experimentalmente se detallan en los cuadros 3.2 en la que se puede observar que el cultivo de cebolla ha reportado el consumo de agua más alto, pero éste es superior al requerimiento de agua reportado en la bibliografía de Doorenbos & Kassam y de Parson. Esta variación es debido al comportamiento diferente de las condiciones climáticas y características edáficas diferentes de la zona que realizó el estudio Doorenbos & Kassam y de Parson con respecto a las condiciones de INIA Canaán.

Al respecto de Mateo (1981) menciona que la arveja presenta la raíz más desarrollado que de la cebolla y la col, lo que permite a la planta aprovechar mejor la humedad del suelo para producir una unidad de materia seca, y que generalmente la necesidad de agua está entre 500 a 900 mm de agua/año.

En el cuadro 3.4 se reportan resultados comparativos de la necesidad de agua de los cultivos evaluados y cuantificados en condiciones de campo (método lisimétrico) y los cuatro métodos empíricos calculados con los datos meteorológicos registrados en la Estación Experimental de INIA Canaán.

Cuadro 3.3 necesidad de agua por fases de desarrollo (mm/fase y mm/campaña)

CULTIVO		FASES DE DESARROLLO				Total/campaña
		INICIAL	DESARROLLO	MEDIADOS	FINAL	
ARVEJA	N° días	20	30	40	20	110
	NAC mm	83.43	160.94	279.00	124.44	647.81
CEBOLLA	N° días	20	45	68	33	166
	NAC mm	88.66	236.44	454.77	135.53	915.40
COL	N° días	20	30	39	35	124
	NAC mm	107.19	186.95	284.20	140.21	718.55

Cuadro 3.4 variación de la necesidad de agua de los cultivos (NAC) calculados por varios métodos (mm/mes)

Cultivo Meses	ARVEJA					CEBOLLA					COL				
	Lisímetro	Hargreaves	Penman- M	TCA	Blaney C.	Lisímetro	Hargreaves	Penman- M	TCA	Blaney C.	Lisímetro	Hargreaves	Penman- M	TCA	Blaney C.
Dic	120.35	92.42	83.28	63.75	50.06	103.16	92.42	83.28	63.75	50.06	106.60	92.42	83.28	63.75	50.06
Ene	153.35	123.76	113.58	77.56	71.86	138.35	101.51	93.16	63.62	58.94	145.02	116.81	107.20	73.21	67.82
Feb	190.11	134.71	124.51	84.77	75.70	179.79	110.11	101.77	69.29	61.88	184.21	123.00	113.68	77.40	69.12
Mar	183.99	132.23	118.15	78.94	73.45	194.41	132.23	118.15	78.94	73.45	194.41	123.41	110.27	73.68	68.55
Abr						193.59	107.88	94.03	80.40	65.33	88.31	104.40	91.00	77.81	63.23
May						106.09	87.71	79.18	65.69	51.06					
Total	647.81	483.12	439.52	305.02	271.07	915.40	631.87	569.58	421.69	360.72	718.55	560.04	505.44	365.84	318.78

En la conducción del trabajo de investigación siempre el suelo se mantuvo a capacidad de campo, dotándole de agua a los cultivos oportunamente y sin ocasionar un estrés hídrico a las plantas; y presentando así una evapotranspiración máxima y un consumo máximo de agua por los cultivos, repercutiendo obviamente en el crecimiento y desarrollo óptimo de los cultivos.

La evapotranspiración del cultivo (ETc) determinado por los métodos indirecto presentado en el cuadro 3.4 es sólo una estimación relacionando la ETo calculado por métodos empíricos y el coeficiente del cultivo (Kc), que han sido tabulados para los diferentes cultivos y esto es característico de cada especie y aún más de cada variedad.

En las figuras 3.2, 3.3 y 3.4 se muestran los gráficos de las curvas que representan el proceso de consumo de agua de los cultivos durante el periodo vegetativo, comparado con el método lisimétrico (experimental) y el método de Hargreaves (empírico).

Se ha escogido el método de Hargreaves por que los resultados obtenidos mediante el uso de esta ecuación es la que se aproxima al obtenido por el método lisimétrico.

En las curvas determinadas por el método lisimétrico; se puede ver claramente el proceso de consumo de agua de cada cultivo que sigue un patrón similar al crecimiento de la planta, en la primera fase de su desarrollo presenta un consumo mínimo, y que va ir aumentando progresivamente hasta alcanzar un consumo máximo cuando la planta llega a cubrir el suelo en un 70% a 80% y éste se da a inicios de floración y fructificación

considerando como la tercera fase; hacia la madurez y cosecha el consumo de agua disminuye considerablemente.

El uso consuntivo determinado por el método de Hargreaves como se puede observar, no se ajusta al patrón de crecimiento de los cultivos tampoco refleja el desarrollo de las plantas, esto debido a que este método para calcular el requerimiento de agua utiliza tablas representativas con valores de K_c relacionando con la evapotranspiración potencial también calculado mediante tablas y figuras obtenidas en otras realidades muy diferentes a la nuestra.

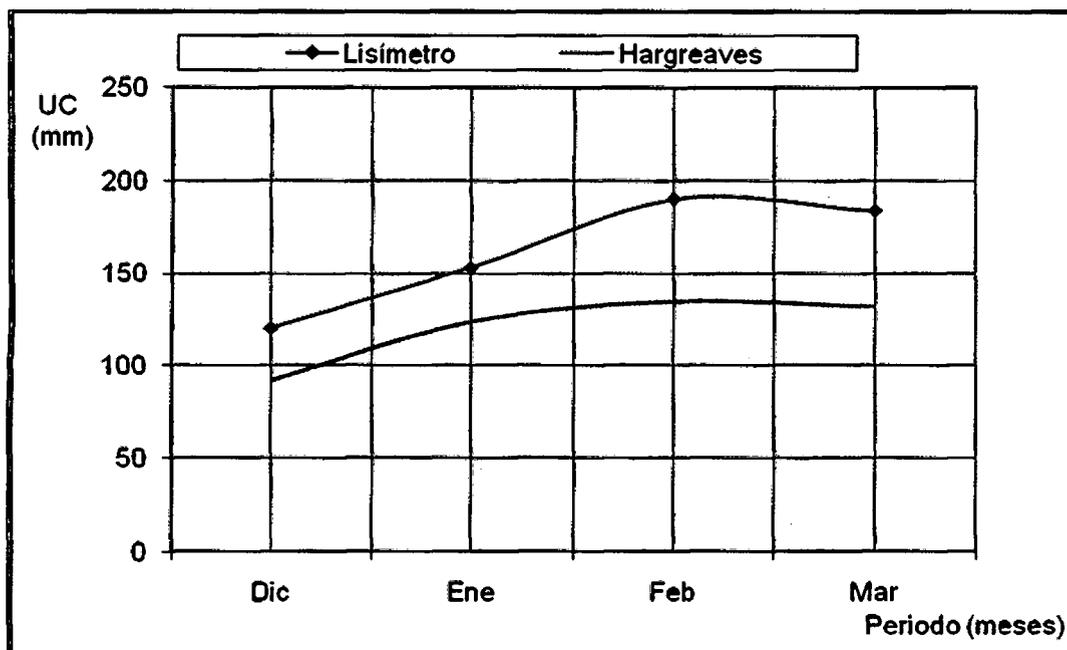


Figura 3.2 Requerimiento hídrico del cultivo de Arveja (mm/mes)
Canaán

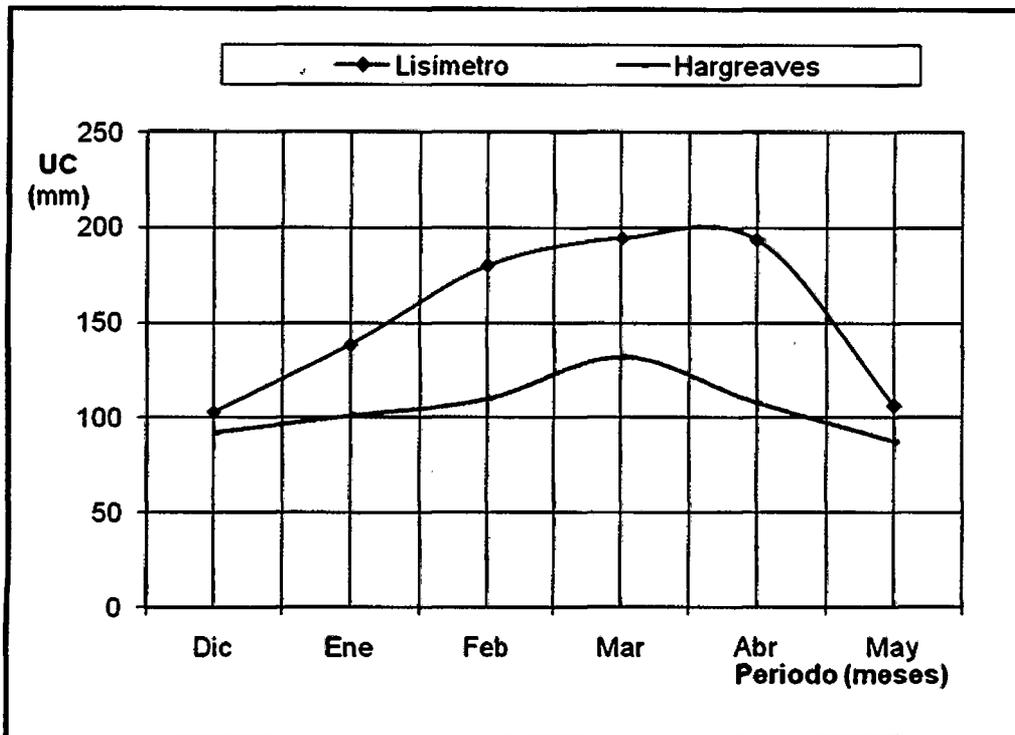


Figura 3.3 Requerimiento hídrico del cultivo de cebolla (mm/mes)

Canaán

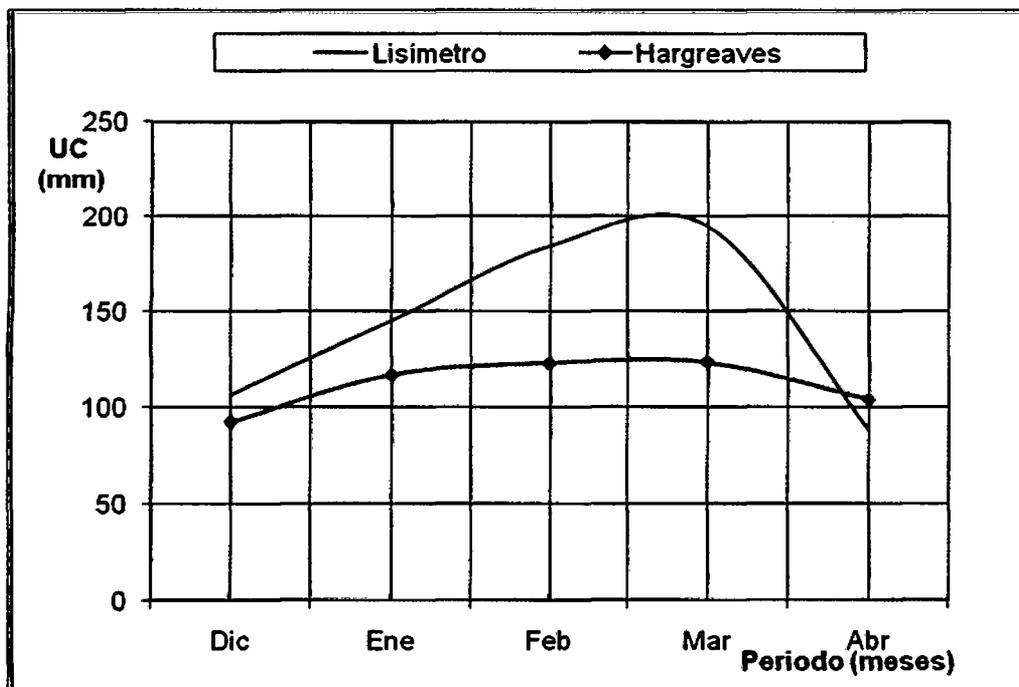


Figura 3.4 Requerimiento hídrico del cultivo de col (mm/mes) Canaán

En el cultivo de arveja se observa que el primer mes reporta un consumo de 120.35 mm de lámina de agua, alcanzando un consumo máximo de 190.11 mm en el mes de Febrero y una disminución casi constante de 183.99. mm de agua al momento de la cosecha; en la curva representativa no hay una disminución fuerte porque este cultivo se cosechó en pleno estado vegetativo (estado grano verde) con la finalidad de obtener grano verde.

Mientras en el cultivo de cebolla en la primera fase de establecimiento que comprende el mes de diciembre se tuvo un consumo de 103.16 mm de lámina de agua y aumentado progresivamente hasta alcanzar 194.41 mm en el mes de Marzo cuando el cultivo empezó a formar el bulbo (parte comestible), el consumo de agua decae cuando el cultivo llega a la madurez fisiológica al final del mes de Mayo haciendo un total de 106.09 mm de agua para dicho mes.

En el cultivo de col el consumo de agua corresponde al primer mes (diciembre) fue de 106.60 mm y asciende paulatinamente hasta alcanzar su máximo consumo el mes de Marzo de 194.41 mm hasta el final del mes de Abril fecha en que se realizó la cosecha, se tuvo una lámina de 88.31 mm evaluado para el mes de julio.

3.3 Determinación de Coeficiente del cultivo (Kc)

En el cuadro 3.5 se muestra la variación de los valores del coeficiente de evapotranspiración del cultivo durante las fases de desarrollo, determinado por el método lisimétrico que se calculó relacionando la ET_c del cultivo estudiado (mm/fase), con la ET_o estudiado en pasto (Rye grass)

(mm/fase) durante el periodo vegetativo de cada cultivo estudiado, evaluado experimentalmente en el mismo ambiente y las mismas condiciones de campo.

El recomendado por la FAO que fue calculado considerando las fases de desarrollo del cultivo, para la primera fase se utilizó la figura 6.5 (ver anexo) y se calculó el K_c interpolado la frecuencia de riego considerando 4 días y la E_{To} de 4.81 mm/día para el mes de Diciembre calculado por el método de Hargreaves.

Vásquez (1994), sostiene que cuando dentro de un mismo ambiente se miden simultáneamente la evapotranspiración tanto del pasto de referencia como del cultivo, durante un determinado tiempo, entonces existirá una relación entre el factor de proporción al que se denomina Coeficiente del Cultivo (K_c); como es de suponer, este coeficiente tendrá valores distintos de acuerdo al punto de referencia (cultivo de pasto) que se utiliza.

Cuadro 3.5 valores de coeficiente de los cultivos (Kc) Canaán

FASES	ARVEJA			CEBOLLA			COL		
	N° días	Kc(Exp)	Kc(FAO)	N° días	Kc(Exp)	Kc(FAO)	N° días	Kc(Exp)	Kc(FAO)
Inicial o establecimiento	20	0.7	0.62	20	0.60	0.62	20	0.62	0.62
Rápido desarrollo	30	0.92	0.89	45	0.88	0.84	30	0.91	0.84
Mediados	40	1.29	1.15	68	1.16	1.05	39	1.19	1.05
Final o maduración	20	1.06	1.05	33	0.61	0.80	35	0.52	0.90
Total Periodo Vegetativo	110			166			124		

Los valores de los resultados de los coeficientes de evapotranspiración del cultivo (Kc) tanto por el método lisimétrico y el recomendado por el FAO se muestran en el cuadro 3.5 los valores obtenidos con los cálculos por el método lisimétrico, Kc(exp) presentan una ligera variación comparando con los valores elaborados con lo recomendado por la FAO, Kc(FAO).

En los cultivos estudiados los valores de Kc(exp) (Kc experimental) reporta una variación con los valores del Kc(FAO) (Kc recomendado por la FAO) porque la extracción de agua por los cultivos representado por el Kc(exp) presenta la eficiencia en cuanto la absorción de agua por las raíces, porque el sustrato de los lisímetros han sufrido una modificación en las propiedades físicas del suelo, manifestando así que el agua del suelo en los lisímetros sean fácilmente absorbidas por la raíz.

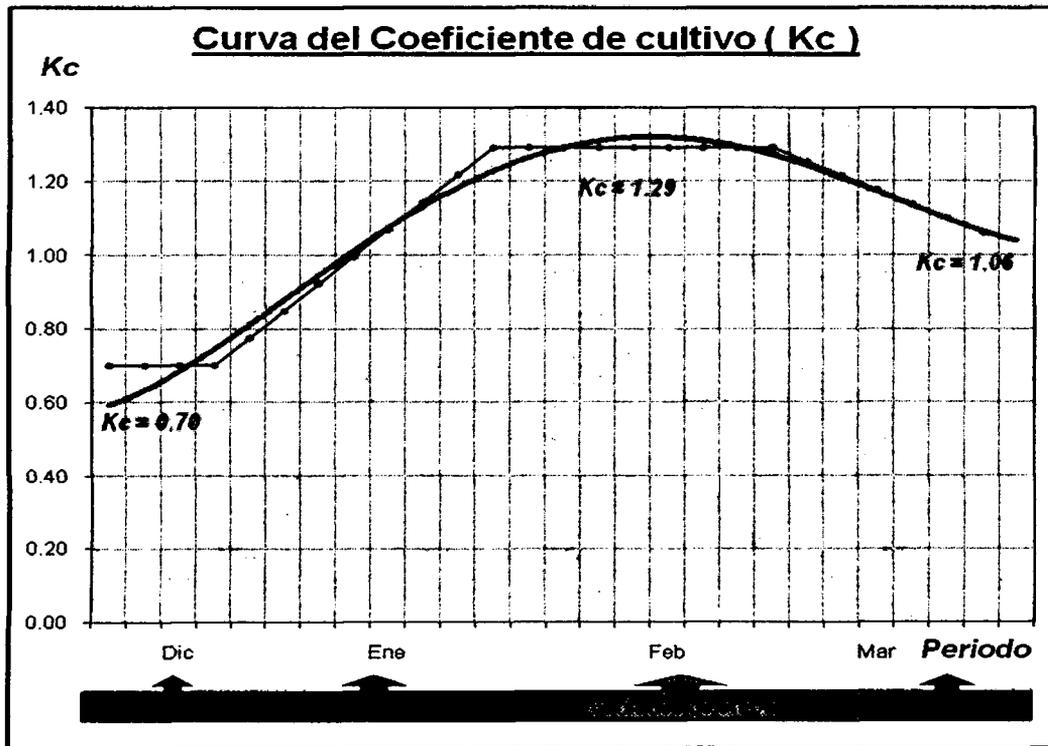


Figura 3.5 Curva del coeficiente de Evapotranspiración del cultivo de Arveja (Kc) Canaán

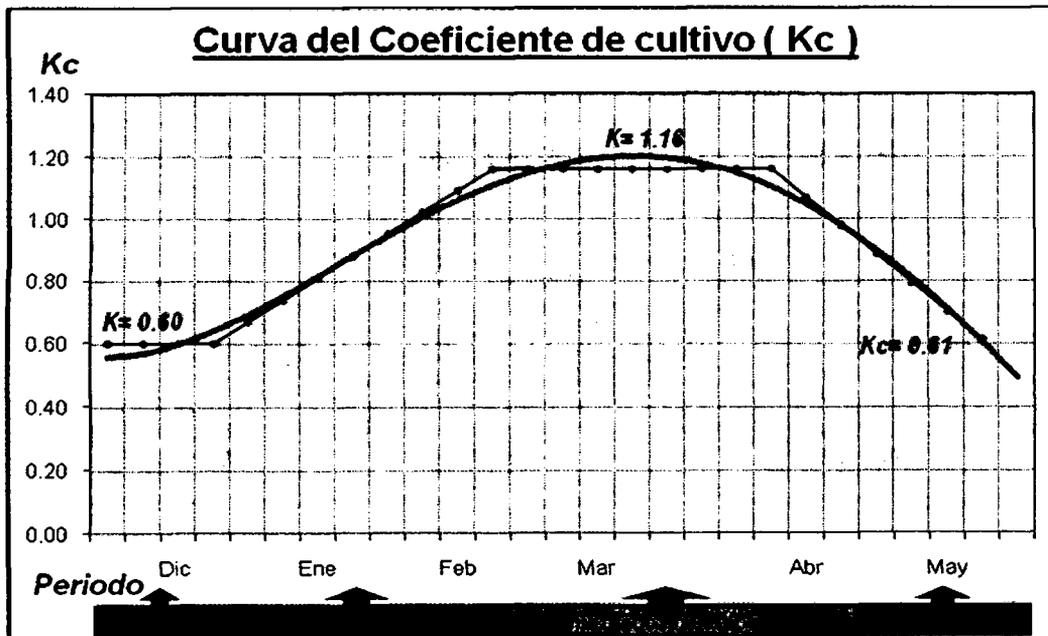


Figura 3.6 curva del coeficiente de Evapotranspiración del cultivo de cebolla (Kc) Canaán

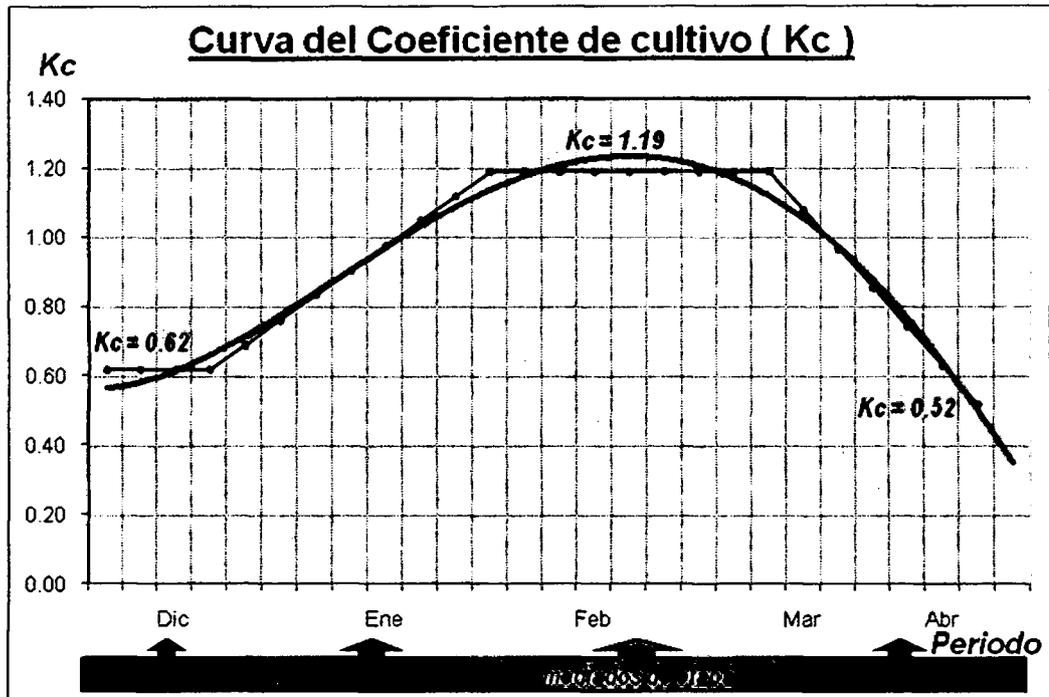


Figura 3.7 curva del coeficiente de Evapotranspiración del cultivo de col (Kc) Canaán

En las figuras 3.5, 3.6 y 3.7 se ilustran las curvas típicas del coeficiente del cultivo (Kc) (mm/fase) ilustrados para cada cultivo estudiado. Los valores Kc. Expresan la variación de la capacidad que tiene la planta para extraer agua del suelo durante el ciclo vegetativo y que está determinado por el volumen foliar de los cultivos.

De manera general en todo los cultivos presentan en la primera fase o de establecimiento del cultivo la extracción de agua por las raíces, es mínima cantidad por que las raíces y el 'área foliar está poco desarrollada repercute en un valor de Kc mínimo. Llegándose a la máxima extracción en los mediados de cultivo cuando la raíz de la planta presente su máxima exploración en el perfil del suelo y ocupar un área foliar mayor donde el Kc presenta su máximo valor. En la fase final esta extracción va disminuir

porque fisiológicamente la planta requiere poca cantidad de agua, el área foliar disminuye por la caída de la hojas que va repercutir en la disminución del valor de Kc.

En el cultivo de arveja en la fase inicial tiene un valor de $Kc = 0.70$, llegando a un valor máximo en la fase de mediados de cultivo de $Kc = 1.29$ y en la fase final presenta una ligera disminución a un valor de $Kc = 1.06$.

El cultivo de cebolla en la fase inicial presenta un valor de $Kc = 0.60$, en la fase de mediados el valor de Kc alcanza a 1.16 y en el final de la temporada o en la maduración tiene un valor de $Kc = 0.61$.

En el cultivo de col en la fase inicial tiene un valor de $Kc = 0.62$, en la fase de mediados $Kc = 1.19$ y en la fase de maduración disminuye hasta $Kc = 0.52$.

Avidan (1994) menciona que los coeficientes se determinan comparando al Uso Consuntivo del cultivo (ETc), con el cultivo de referencia (ETo) bajo idénticas condiciones de acuerdo a las características del cultivo. El Kc de un cultivo anual no es constante, durante las fases de desarrollo sino que inicialmente el Kc es bajo; con el desarrollo vegetativo de las plantas el Kc aumenta hasta alcanzar un máximo, posteriormente a la senectud el valor Kc también disminuye.

3.4 Etapa Crítica de consumo de agua de los cultivos estudiados.

En las figuras siguientes se muestran el proceso de consumo en milímetros por mes de agua y la etapa de mayor consumo de agua conocido como etapa o periodo crítica de consumo de agua ilustrados para cada cultivo.

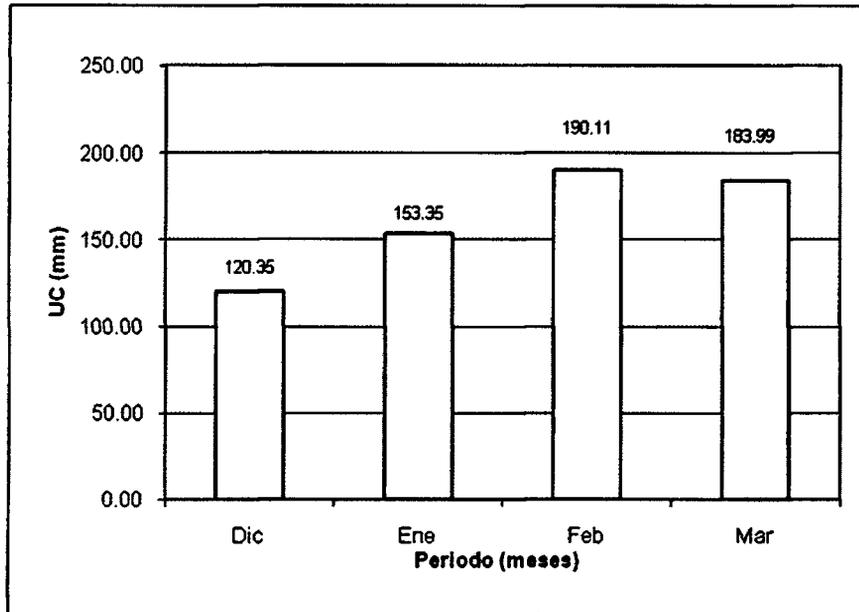


Figura 3.8 consumo de agua del cultivo de arveja (mm/mes)

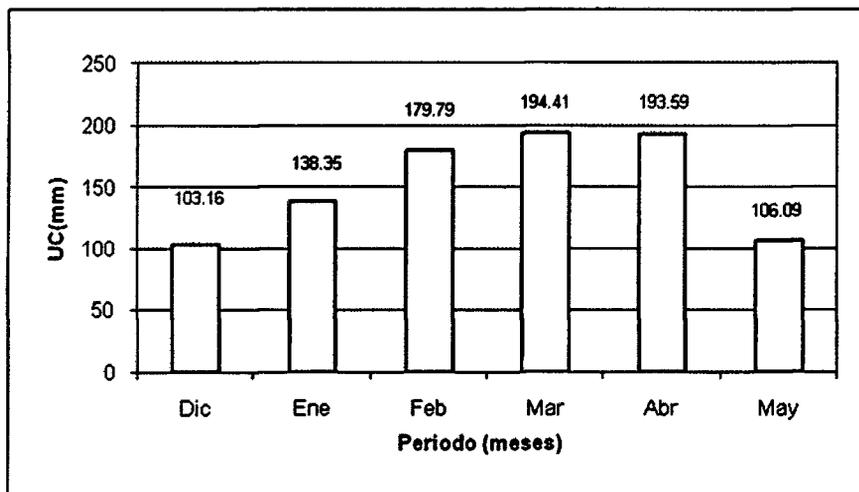


Figura 3.9 Consumo de agua del cultivo de cebolla (mm/es)

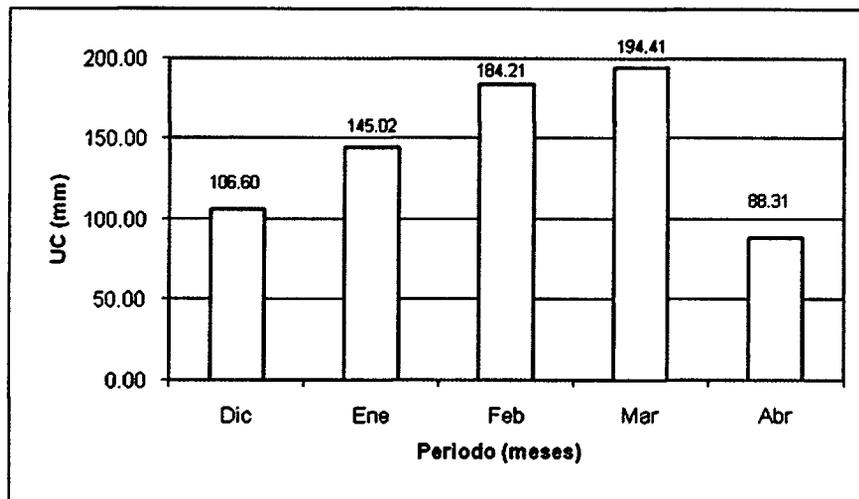


Figura 3.10 Consumo de agua del cultivo de col (mm/mes)

Cuadro 3.6 Etapa Crítica de Consumo de Agua de los cultivos estudiados (mm)

CULTIVO	PERIODO CRITICO		
	UC (mm)	%	FASE
Cebolla	194.41	21.24	Inicio de formación de bulbo
Col	194.41	27.06	Formación de la cabeza.
Arveja	190.11	29.35	Inic Floración y crecimiento de vainas

Los valores que se muestra en el cuadro 3.6, representa el periodo de mayor consumo de agua, cuantificado en mm por mes de evaluación que toma mayor valor consumido, para cada cultivo y el porcentaje está referido a la cantidad de agua en (mm/mes); que toma como el 100% al total de agua consumido durante el periodo vegetativo.

Doorenbos & Pruitt (1976), considera como fase crítica de crecimiento de la mayoría de los cultivos extensivos en los cambios que ocurren desde la fase vegetativa a la reproductiva, desde la floración a la fructificación ,

manifiesta también que los periodos sensibles al déficit de agua son la floración y la formación de cosecha, un suministro limitado de agua durante el periodo vegetativo (fase I) aumenta el crecimiento vegetativo pero no afecta el rendimiento de agua)

En el cultivo de Arveja presentó el máximo consumo de agua conocido como el periodo crítico, el mes de febrero con una lámina de 190.11 mm cuando el cultivo se encuentra en los Inicios de floración (fase II) y en la plena formación y llenado de granos (fase III).

Dorenbos & Kassam (1979), menciona que el cultivo de arveja presenta los periodos críticos para el déficit de agua cuando la planta tiene unos 0.80 a 1.00m de altura, exactamente cuando comienza su crecimiento en longitud, al inicio de la floración y crecimiento de vainas, hasta el llenado de grano o época en que comienza el crecimiento de vainas (finales de fase II). En el periodo inicial de formación de la cosecha (comienzo de la fase III) en cuyo momento un déficit de agua repercute en el hinchamiento incompleto del grano y un rendimiento reducido de granos arrugados de mala calidad.

En el cultivo de cebolla presentó un máximo consumo de agua entre los meses de Marzo y Abril con una lámina de 194.41 mm, cuando este cultivo estaba en plena formación de la bulbo (en la fase de mediados del cultivo)

Dorenbos & Kassam (1979), menciona que la cebolla presenta un periodo crítico de consumo de agua a unos 60 días después del trasplante en el periodo de crecimiento rápido del bulbo y en el periodo vegetativo

(fase inicial) el cultivo parece ser menos sensible al consumo de agua.

El cultivo de col presentó el máximo consumo de agua (conocido como periodo crítico) en el mes de Marzo con una lámina de 194.41 mm desde los inicios de la formación de la parte comercial del cultivo (fase de mediados del cultivo).

Dorenbos & Kassam (1979), sostiene que el cultivo de col, el déficit de agua en el periodo de desarrollo lento del cultivo (fase I) influye poco en el rendimiento del cultivo, una vez que se llega a un crecimiento rápido durante el periodo de formación de la cosecha donde se presenta el consumo máximo de agua, el efecto de un suministro limitado de agua sobre la disminución del rendimiento, se hace cada vez más pronunciado hasta el final del periodo vegetativo

3.5 Resultados de Programación de Riego

Luego de determinar La programación de Riego de los cultivos; para los cultivos estudiados (arveja, cebolla y col) independiente, con esta información se determinó necesidad de riego, módulo de riego la lámina neta óptima de agua, lámina bruta de agua, frecuencia de riego para cada mes y el tiempo de riego de los cultivos, cuantificado mensualmente por el periodo que duró el ciclo vegetativo de los cultivos estudiados.

Los resultados de programación de riego obtenido para el cultivo de arveja en la presente investigación reportan los siguientes: la necesidad de riego neto 358.7 mm/campaña, módulo de riego neto 0.51 lt/seg/ha, lámina neta de agua aplicada y lámina de bruta de agua aplicada en cada riego se obtiene 46.37 mm y 51.52 mm respectivamente, tiempo de riego 6 horas y la

frecuencia de riego varía de acuerdo a la etapa del desarrollo del cultivo, para la etapa inicial en promedio es cada 12 días, etapa de desarrollo cada 11 días, etapa de mediados de temporada cada 8 días, y la última etapa final cada 8 días evaluados del mes de Diciembre hasta el mes de Marzo.

Para el cultivo de Cebolla en la presente investigación reportan los siguientes: la necesidad de riego neto 601.72 mm/campaña, módulo de riego 0.68 lit/seg/ha, lámina neta de agua aplicada y lámina bruta de agua aplicada en cada riego se obtiene 39.74 mm y 46.76 mm respectivamente, tiempo de riego 6 horas y la frecuencia de riego varía de acuerdo a la etapa del desarrollo del cultivo, para la etapa inicial en promedio es cada 12 días, etapa de desarrollo cada 11 días, etapa de mediados de temporada cada 6 días, y la última etapa final cada 9 días evaluados del mes de Diciembre hasta el mes de Mayo.

Para el cultivo de Col en la presente investigación reportan los siguientes: la necesidad de riego neto 409.77 mm/campaña, módulo de riego 0.55 lit/seg/ha, lámina neta de agua aplicada y lámina bruta de agua aplicada en cada riego se obtiene 37.09 mm y 41.22 mm respectivamente, tiempo de riego 5 horas y la frecuencia de riego varía de acuerdo a la etapa del desarrollo del cultivo, para la etapa inicial en promedio es cada 11 días, etapa de desarrollo cada 10 días, etapa de mediados de temporada cada 6 días, y la última etapa final cada 10 días evaluados del mes de Diciembre hasta el mes de Abril.

Para realizar los cálculos de programación de riego para el cultivo de cebolla se ha desarrollado para un sistema de riego por aspersión que tiene

una eficiencia de 85% y para los cultivos de arveja y col se desarrolló para un sistema de riego por goteo con una eficiencia de 90%. Estos sistemas se adoptó con el propósito de optimizar y ahorrar el recurso hídrico durante el riego.

Al respecto Avidan (1994), dice que la práctica de riego consiste esencialmente en reponer al perfil del suelo, el agua consumida por el cultivo. Este concepto se basa en un conocimiento de las relaciones suelo – agua – planta y la necesidad de riego por los cultivos a partir de datos pertinentes sobre el suelo, clima, el cultivo y el sistema de riego.

A continuación se reportan los resultados de Programación de riego para los cultivos de arveja, cebolla y col.

REGIMEN DE RIEGO DEL CULTIVO ARVEJA

Método : Lisimétrico (experimental)

DATOS GENERALES :

Lugar	:	INIA-Canaán
Prov	:	Huamanga
Dpto	:	Ayacucho
Altitud	:	2760 msnm
Sistema de riego	:	Goteo
Eficiencia	:	90%
Area	:	1,0 Ha.
Fecha de siembra	:	02-Dic-09

Textura de suelo	:	Franco - arcilloso
Capacidad de campo (%)	:	42
Punto de marchitez (%)	:	22.8
Densidad aparente (gr/cm ³)	:	1.15
Prof. Radicular (m)	:	0.50
Porcent. De agotamiento	:	60%
Area mojada	:	70%

Factores	MESES												
	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	ANUAL
N° de días	31.00	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	365.00
Pp total mensual (mm/mes)	90.00	106.20	110.23	57.00	23.80	11.00	0.00	0.60	10.70	36.70	33.80	71.00	551.03
PP efectiva (mm/mes)	73.25	83.54	85.35	47.89	17.86	5.70							
ETo (mm) (experimental)	171.93	166.69	147.37	173.58	169.82	173.92							
Kc	0.70	0.92	1.29	1.06									
ETc(mm) = NAC (exp)	119.52	153.88	190.54	184.82									648.8
ETc(mm/día)	3.86	4.96	6.81	5.96									
Necesidad de riego neto (m3/Ha)	462.7	703.4	1051.9	1369.3									3587.3
Necesidad de riego bruto(m3/Ha)	514.1	781.6	1168.8	1521.4									3985.9
Mod de Riego neto (lps/Ha)	0.17	0.26	0.43	0.51									0.35
Mod de Riego bruto (lps/Ha)	0.19	0.29	0.48	0.57									0.38
Lamina riego neta (mm)	46.37	46.37	46.37	46.37									
Lamina riego bruta (mm)	51.52	51.52	51.52	51.52									
Dosis de riego neta (m3/Ha)	463.68	463.68	463.68	463.68									1854.72
Dosis de riego bruta (m3/Ha)	515.20	515.20	515.20	515.20									2060.80

PROGRAMACION DE RIEGO.

CULTIVO : ARVEJA

1° Datos Generales :

Lugar	:	INIA Canaán	
		Dic - Mar	
Periodo	:	(2010)	
Fecha de siembra	:	02 Dic. 2009	
Prof. rad efect.	:	0.5	m.
% de agotamiento	:	60	%
Sistema de riego	:	Goteo	
Eficiencia de riego	:	90	%
Área mojada	:	70	%
Den. del suelo	:	1.15	gr/Cm ³
Infil básica	:	7.57	mm/hr

Mes	N° de días	ETc (mm/día)	CC (%)	PM (%)	Ln (mm)	Lb (mm)	Tiempo Riego		Frec. Riego	
							Horas	Asumido	Días	Asumido
Dic	31	3.86	42.00	22.80	46.37	51.52	6.13	6.0	12.0	12.0
Ene	31	4.96	42.00	22.80	46.37	51.52	6.13	6.0	9.3	9.0
Feb	28	6.81	42.00	22.80	46.37	51.52	6.13	6.0	6.8	7.0
Mar	31	5.96	42.00	22.80	46.37	51.52	6.13	6.0	7.8	8.0
Abr	30									
May	31									
Jun	30									
Jul	31									
Ago	31									
Set	30									
Oct	31									
Nov	30									
Anual										

Recomendación	Etapa	inicial	Frecuencia de riego	12	días
	Etapa	desarrollo		11	días
	Etapa	mediados		8	días
	Etapa	final		8	días
		Tiempo de riego		6	horas
		Dosis de riego neto(m3/ha)		463.68	(m3/ha)
		Dosis de riego bruto(m3/ha)		515.2	(m3/ha)

REGIMEN DE RIEGO DEL CULTIVO COL

Método : Lisimétrico (experimental)

DATOS GENERALES :

Lugar	:	INIA Canaán
Prov	:	Huamanga
Dpto	:	Ayacucho
Altitud	:	2760 msnm
Sistema de riego	:	Goteo
Eficiencia	:	90%
Area	:	1,0 Ha.
Fecha de siembra	:	02-dic-09

Textura de suelo	:	Franco - arcilloso
Capacidad de campo (%)	:	42
Punto de marchitez (%)	:	22.8
Densidad aparente (gr/cm ³)	:	1.15
Prof.	:	
Radicular (m)	:	0.40
Porcent. De agotamiento	:	60%
Area mojada	:	70%

Factores	MESES												
	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	ANUAL
N° de días	31.00	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	365.00
Pp total mensual (mm/mes)	90.00	106.20	110.23	57.00	23.80	11.00	0.00	0.60	10.70	36.70	33.80	71.00	551.03
PP efectiva (mm/mes)	73.25	83.54	85.35	47.89	17.86	5.70							
Kc	0.62	0.87	1.25	1.12	0.52								
ETo (mm) (experimental)	171.93	166.69	147.37	173.58	169.82	173.92							
ETc(mm) = NAC (exp)	106.77	145.37	183.70	194.31	87.51								717.66
ETc(mm/día)	3.44	4.69	6.56	6.27	2.92								
Necesidad de riego neto (m3/Ha)	335.2	618.3	983.5	1464.2	696.5								4097.70
Necesidad de riego bruto(m3/Ha)	372.4	687.0	1092.8	1626.9	773.9								4553.00
Mod de Riego neto (lps/Ha)	0.13	0.23	0.41	0.55	0.27								
Mod de Riego bruto (lps/Ha)	0.14	0.26	0.45	0.61	0.30								0.32
Lamina riego neta (mm)	37.09	37.09	37.09	37.09	37.09								0.35
Lamina riego bruta (mm)	41.22	41.22	41.22	41.22	41.22								
Dosis de riego neta (m3/Ha)	370.94	370.94	370.94	370.94	370.94								1854.72
Dosis de riego bruta (m3/Ha)	412.16	412.16	412.16	412.16	412.16								2060.80

PROGRAMACION DE RIEGO.

CULTIVO : COL

1° Datos Generales :

Lugar : INIA Canaán
 Periodo : Dic - May (2010)
 Fecha de siembra : 02. Dic . 2009
 Prof. radicular efect. : 0.40 m.
 % de agotamiento : 60
 Sistema de riego : Goteo
 Eficiencia de riego : 90 %
 Área mojada : 70 %
 Den. Suelo : 1.15 gr/cm³
 Inf.básica : 7.57 mm/hora

Mes	N° de días	ETc (mm/día)	CC (%)	PM (%)	Ln (mm)	Lb (mm)	Tiempo Riego		Frec. Riego	
							Horas	Asumido	Días	Asumido
Dic	31	3.44	42.00	22.80	37.09	41.22	5.44	5.0	10.77	11.0
Ene	31	4.69	42.00	22.80	37.09	41.22	5.44	5.0	7.91	8.0
Feb	28	6.56	42.00	22.80	37.09	41.22	5.44	5.0	5.65	6.0
Mar	31	6.27	42.00	22.80	37.09	41.22	5.44	5.0	5.92	6.0
Abr	30	2.92	42.00	22.80	37.09	41.22	5.44	5.0	12.72	13.0
May	31									
Jun	30									
Jul	31									
Ago	31									
Set	30									
Oct	31									
Nov	30									
Anual										

Recomendación	Etapa	inicial	Frecuencia de riego	11	días
	Etapa	desarrollo		10	días
	Etapa	mediados		6	días
	Etapa	final		10	días
		Tiempo de riego		5	horas
		Dosis neto de riego		370.94	(m3/ha)
		Dosis bruto de riego		412.16	(m3/ha)

REGIMEN DE RIEGO DEL CULTIVO CEBOLLA

Método: lisimétrico (experimental)

DATOS GENERALES :

Lugar	:	INIA - Canaán
Prov	:	Huamanga
Dpto	:	Ayacucho
Altitud	:	2760 msnm
Sistema de riego	:	Aspersión
Eficiencia	:	85%
Area	:	1,0 Ha.
Fecha de siembra	:	02-dic-09

Textura de suelo	:	Franco - arcilloso
Capacidad de campo (%)	:	42
Punto de marchitez (%)	:	22.8
Densidad aparente (gr/cm ³)	:	1.15
Prof. Radicular (m)	:	0.30
Porcent. De agotamiento	:	60%
Area mojada	:	100%

Factores	MESES												
	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	ANUAL
N° de días	31.00	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	365.00
Pp total mensual (mm/mes)	90.00	106.20	110.23	57.00	23.80	11.00	0.00	0.60	10.70	36.70	33.80	71.00	551.03
PP efectiva (mm/mes)	73.25	83.54	85.35	47.89	17.86	5.70							
Kc	0.60	0.83	1.22	1.12	1.14	0.61							
ETo (mm) (experimental)	171.93	166.69	147.37	173.58	169.82	173.92							
ETc(mm) = NAC (exp)	103.70	138.15	179.36	195.18	193.17	105.75							915.31
ETc(mm/día)	3.35	4.46	6.41	6.30	6.44	3.41							
Necesidad de riego neto (m3/Ha)	304.5	546.1	940.1	1472.9	1753.1	1000.5							6017.2
Necesidad de riego bruto(m3/Ha)	358.2	642.5	1106.0	1732.8	2062.5	1177.1							7079.1
Mod de Riego neto (lps/Ha)	0.11	0.20	0.39	0.55	0.68	0.37							0.38
Mod de Riego bruto (lps/Ha)	0.13	0.24	0.46	0.65	0.80	0.44							0.45
Lamina riego neto (mm)	39.74	39.74	39.74	39.74	39.74	39.74							
Lamina riego bruta (mm)	46.76	46.76	46.76	46.76	46.76	46.76							
Dosis de riego neto (m3/Ha)	397.44	397.44	397.44	397.44	397.44	397.44							2384.64
Dosis de riego bruta (m3/Ha)	467.58	467.58	467.58	467.58	467.58	467.58							2805.46

PROGRAMACION DE RIEGO.

CULTIVO : CEBOLLA

1° Datos Generales :

Lugar : INIA Canaán.
 Periodo : Dic - May
 Fecha de siembra : (2010)
 Fecha de siembra : 02 Dic. 2009
 Prof. radicular efect. : 0.30 m.
 % de agotamiento : 60
 Sistema de riego : Aspersión
 Eficiencia de riego : 85 %
 Área mojada : 100 %
 Den. Suelo : 1.15 gr/cm³
 Inf. Básica : 7.57 mm/hora

Mes	N° de días	ETc (mm/día)	CC (%)	PM (%)	Ln (mm)	Lb (mm)	Tiempo Riego		Frec. Riego	
							Horas	Asumido	Días	Asumido
Dic	31	3.35	42.00	22.80	39.74	46.76	6.18	6.0	11.88	12.0
Ene	31	4.46	42.00	22.80	39.74	46.76	6.18	6.0	8.92	9.0
Feb	28	6.41	42.00	22.80	39.74	46.76	6.18	6.0	6.20	6.0
Mar	31	6.30	42.00	22.80	39.74	46.76	6.18	6.0	6.31	6.0
Abr	30	6.44	42.00	22.80	39.74	46.76	6.18	6.0	6.17	6.0
May	31	3.41	42.00	22.80	39.74	46.76	6.18	6.0	11.65	12.0
Jun	30									
Jul	31									
Ago	31									
Set	30									
Oct	31									
Nov	30									
Anual										

Recomendación	Etapa	inicial	Frecuencia de riego	12.0	días
	Etapa	desarrollo		11	días
	Etapa	mediado		6	días
	Etapa	final		9	días
		Tiempo de riego		6	horas
		Dosis de riego neto		397.44	(m3/ha)
		Dosis de riego bruto		467.58	(m3/ha)

3.6 RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS DE: Arveja, Cebolla y Col

En el cuadro 3.7 se muestra el rendimiento comercial del cultivo de arveja, cebolla y col, obtenido en el experimento.

Cuadro 3.7 rendimiento comercial (Kg/ha)

CULTIVO	RENDIMIENTO (Kg/Ha)		
	Experimental	Prom. Local	%
Arveja	7500.00	4500.00	166.67
Cebolla	30000.00	15000.00	200.00
Col	50000.00	14000.00	357.14

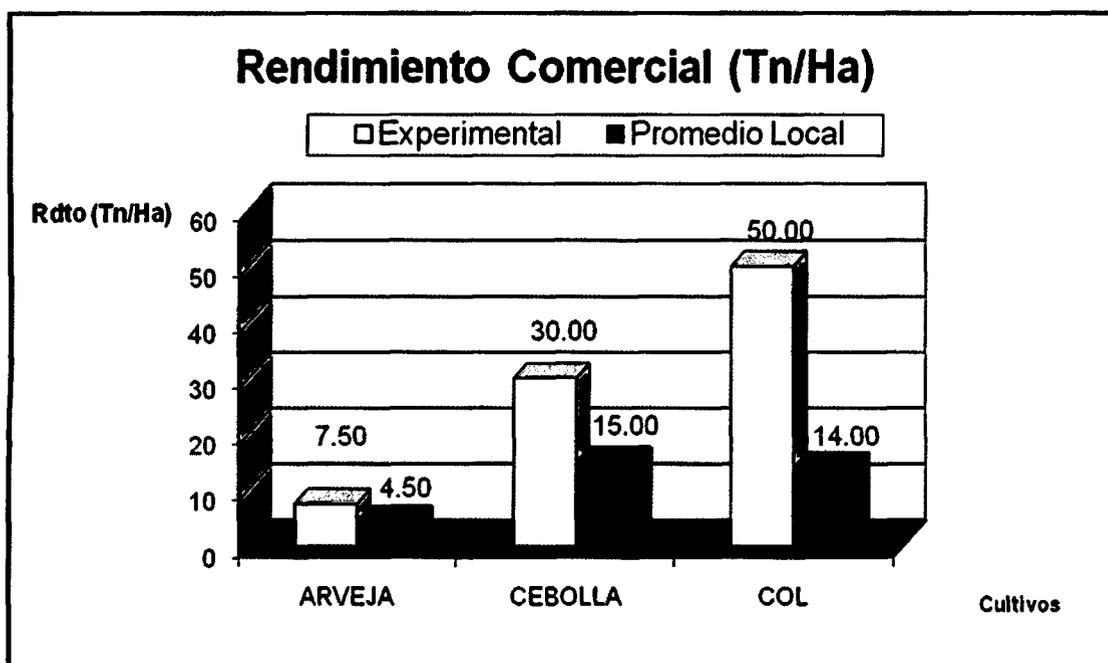


Figura 3.11 Rendimiento de cosecha (Kg/ha)

Los rendimientos obtenidos experimentalmente que se muestran en el cuadro 3.7, son obtenidos con una conducción y aplicación de riego oportuno y eficiente en todo el ciclo vegetativo con una frecuencia de 4 días,

no permitiendo que la planta sufra un estrés hídrico y que pueda manifestar con bajos rendimientos en la parte comercial.

El rendimiento del cultivo de arveja que reporta 7,500 en Kg/ha cosechado cuando el cultivo presentaba el grano verde lleno.

En cambio el cultivo de cebolla reporta 30,000 Kg/ha de bulbo y se cosechó cuando alcanzó el tamaño comercial y la parte aérea de la planta empezó a secarse.

El cultivo de col reportó un rendimiento de 50,000 Kg/ha de la parte comercial o cabeza de col y se cosechó cuando la cabeza estaba madura que se reconoció presionando con la yema de los dedos.

En la col reporta un porcentaje mayor de Materia Seca, porque este cultivo es más eficiente en la utilización de la humedad para producir una unidad de materia seca como menciona Parson (1986).

Gurovich (1999), menciona que cuando el agua no es el factor limitante para la máxima actividad fotosintética de la planta los rendimientos del cultivo permiten alcanzar el potencial productivo máximo.

3.7 ANALISIS E INTERPRETACION ESTADISTICA

3.7.1 Dise ño Estadístico (Completamente Randomizado)

Cuadro 3.8 Análisis estadístico de la evapotranspiración de referencia ETo en mm (cultivo de pasto)

tra/rep	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Total R
R1	169.16	144.52	140.19	164.65	189.62	173.91	982.05
R2	175.00	168.92	159.97	176.59	156.63	175.12	1012.23
R3	171.65	186.63	141.96	179.51	163.21	172.72	1015.68
Total	515.81	500.07	442.12	520.75	509.46	521.75	3009.96
Promedio	171.94	166.69	147.37	173.58	169.82	173.92	167.22

Análisis de variancia (ANVA)

F. D. V.	G. L.	S.C	C.M	Fc	Ft (0.05)	Ft (0.01)	SIG
Trat	5	1525.546133	305.1092267	0.323311662	3.11	5.06	NS
Error	12	1887.400067	943.7000333				
Total	17	3412.9462					

$T_c = 503325.51$ $CV = 1.02 \%$
 $S_{ctot} = 3412.95$
 $S_{ct} = 1525.55$
 $S_{cerror} = 1887.40$

3.7.2 Diseño Estadístico (Bloque Completamente Randomizado)

Cuadro 3.9 Análisis estadístico del Requerimiento Hidrico en mm/ campaña de los cultivos en estudio (cultivo: arveja, col y cebolla).

Requerimiento Hídrico por campaña en mm de los cultivos en estudio				
Trat	Cultivos en tratamiento			Total B
Bloque	Arveja	col	cebolla	
I	664.83	745.26	927.56	2337.65
II	637.96	729.55	919.31	2286.82
III	643.51	678.21	899.08	2220.80
Total	1946.30	2153.02	2745.95	6845.27
Promedio	648.77	717.67	915.32	760.59

Análisis de variancia (ANVA)

F.D:V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft 0.05	SIG
Bloque	2	2288.47	1144.24	6.85	6.94	NS
Trat	2	114859.92	38286.64	229.06	6.94	**
Error	4	1002.88	167.15			
TOTAL	8	118151.28				

TC = 5206413.49
 Sctot = 118151.28
 Sct = 114859.92

Cv = 1.70 %

SCb = 2288.47
 Scerror = Sctotal -(SCb+Sct) 1002.88

En el presente trabajo se utilizó el Diseño Estadístico Completamente Randomizado, considerando los meses de evaluación como tratamiento con tres repeticiones. Para evaluar la Evapotranspiración de Referencia (ET_o). En el caso de la Evaluación del requerimiento hídrico de los cultivos se utilizó el Diseño Estadístico Bloque Completamente Randomizado. Con tres tratamientos (cultivos en estudio) y tres repeticiones.

En el cuadro del análisis de variancia N° 3.8 se observa que el coeficiente de variabilidad es 1.02% el cual es menor que 30%, considerando a este resultado como valor bajo. No se encontró diferencias estadísticas (NS) el cual indica la uniformidad de la Evapotranspiración de referencia (ET_o) en las repeticiones en el cultivo en estudio (pasto).

En el cuadro del análisis de variancia N° 3.9 se observa que el coeficiente de variabilidad es 1.70% el cual es menor que 30%, considerando a este resultado como valor bajo. No se encontró diferencias estadísticas (NS) Esto indica la uniformidad del consumo de agua en los bloques por los cultivos en estudio. Con respecto a los tratamientos (cultivos en estudio) muestra una respuesta altamente significativa (**) en cuanto se refiere al consumo de agua o requerimiento hídrico, esto indica que los tres especies de cultivo, se diferencia estadísticamente en demanda de agua durante su periodo vegetativo. Por tanto, está demostrado estadísticamente que los cultivos en estudio tienen diferente consumo de agua o requerimiento hídrico.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

1. La evaluación y cuantificación de la evapotranspiración del cultivo de referencia, (ET_o) estudiado con el cultivo pasto (*Lolium perenne* L.) para la condiciones de la Estación Experimental INIA Canaán en el año 2010 es como sigue 171.93, 166.69, 147.37, 173.58, 169.82, 173.92 en mm/días evaluados de Diciembre 2009 a Mayo 2010 respectivamente.
2. En cuanto a las necesidades de agua de arveja, cebolla y col obtenida en la presente investigación sigue en el orden de 647.81, 915.40 y 718.55 mm/ campaña respectivamente.
3. Los valores del Coeficiente de Evapotranspiración del cultivo (K_c) son: en el cultivo de arveja durante la fase inicial 0.70 (20 días), en la fase de rápido desarrollo 0.92 (30 días), en la etapa de mediados 1.29 (40 días) y en la fase de finales de temporada 1.06 (20 días); en el cultivo de cebolla durante la fase inicial 0.60 (20 días), en la fase de

rápido desarrollo 0.88 (45 días). En la etapa de mediados del cultivo 1.16 (68 días) y en la fase de finales de temporada 0.61 (33 días); en el cultivo de col durante la fase inicial 0.62 (20 días), en la fase de rápido desarrollo 0.91 (30 días), en la etapa de mediados del cultivo 1.19 (39 días) y en la fase de finales de temporada 0.52 (35 días).

4. El mayor consumo de agua conocido como etapa crítica se presentó en el cultivo de Cebolla en la fase II (desde los inicios de la formación del bulbo) con una lámina de 194.41 mm, en el cultivo de Arveja a inicios de floración y llenado de grano (fase II) con una lámina de 190.11 mm y finalmente para el cultivo de col en la formación de la parte comercial con una lámina de 194.41 mm de agua
5. Para el cultivo de arveja la necesidad de agua es: 6478.10 m³/ha/campaña, la necesidad de riego neto 358.7 mm/campaña, módulo de riego neto 0.51 lt/seg/ha, lámina neta de agua aplicada es 46.37 mm, tiempo de riego 6 horas y la frecuencia de riego varía de acuerdo a la etapa del desarrollo del cultivo, para la etapa inicial en promedio es cada 12 días, etapa de desarrollo cada 11 días, etapa de mediados de temporada cada 8 días, y la última etapa final cada 8 días evaluados del mes de Diciembre hasta el mes de Marzo.
6. Para el cultivo de Cebolla la necesidad de agua es: 9,154.00 m³/ha/campaña, la necesidad de riego neto 601.72 mm/campaña, módulo de riego 0.68 lit/seg/ha, lámina neta de agua aplicada es 39.74 mm , tiempo de riego 6 horas y la frecuencia de riego varía de

acuerdo a la etapa del desarrollo del cultivo, para la etapa inicial en promedio es cada 12 días, etapa de desarrollo cada 11 días, etapa de mediados de temporada cada 6 días, y la última etapa final cada 9 días evaluados del mes de Diciembre hasta el mes de Mayo.

7. Para el cultivo de Col la necesidad de agua es: 7,185.50 m³/ha/campaña, la necesidad de riego neto 409.77 mm/campaña, módulo de riego 0.55 lit/seg/ha, lámina neta de agua aplicada es 37.09 mm, tiempo de riego 5 horas y la frecuencia de riego varía de acuerdo a la etapa del desarrollo del cultivo, para la etapa inicial en promedio es cada 11 días, etapa de desarrollo cada 10 días, etapa de mediados de temporada cada 6 días, y la última etapa final cada 10 días evaluados del mes de Diciembre hasta el mes de Abril.
8. Para realizar los cálculos de programación de riego para el cultivo de cebolla se ha desarrollado para un sistema de riego por aspersión que tiene una eficiencia de de 85% y para los cultivos de Arveja y col se desarrolló para un sistema de riego por goteo con una eficiencia de 90%.
9. Los rendimientos experimentales obtenidos en la presente investigación es de 7,500.00 Kg/ha para la arveja, para la cebolla es de 30,000.00 Kg/ha, para la col es de 50,000.00 Kg/ha

4.2 RECOMENDACIONES

1. Para la evaluación de la evapotranspiración del pasto como Evapotranspiración Potencial o del Cultivo de Referencia, se recomienda utilizar otros cultivos de pastos sea estos cultivados o

silvestres, evaluados durante un periodo de 12 meses, en áreas extensas y en lisímetros de mayores dimensiones para realizar una mejor comparación con los otros métodos recomendado por la FAO.

2. Aplicando el riego oportuno en las etapas de mayor demanda de agua por los cultivos (inicios de la etapa reproductiva) se asegura conseguir altos rendimientos de cosecha.
3. Se recomienda realizar otros trabajos de investigación similares en otras condiciones y en épocas de estiaje, donde hay mayor producción agrícola y pecuaria para contar con datos evaluados en condiciones de campo y para los cultivos adaptados y de importancia agrícola de la zona.

CAPITULO V

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AVIDAN, A. 1994, Determinación del Régimen de Riego de los Cultivos, Centro de Cooperación Internacional para el Desarrollo Agrícola (CINADCO) – Estado de Israel Ministerio de Agricultura.
2. BLAIR, E, 1957, Manual de Riegos y Avenamientos, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la Organización de los Estados Americanos. Lima – Perú.
3. CUBA, J.2002, Determinación de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (ET_o), Coeficiente de Cultivo (K_c) y Régimen de Riego para tres especies de Cultivo, Pampa del Arco 2760 msnm – Ayacucho, Tesis Ing^o Agrónomo UNSCH.
4. CHIPANA, W.2001, Requerimiento Hídrico, Régimen de Riego y Lixiviación de nutrientes para cuatro especies de cultivo en Pampa del Arco a 2760 msnm – Ayacucho, Tesis Ing^o Agrónomo UNSCH.
5. DOORENBOS J. Y KASSAM, A. H. 1980, Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO: Riego y drenaje, Publicación N° 33 Roma – Italia.
6. DOORENBOS J. Y PRUITT W.O.1977, Las necesidades de Agua de los cultivos, Estudio FAO : Riego y Drenaje, publicación N° 24 Roma – Italia
7. GARCIA, J. 1992, Agrometeorología, Energía y agua en la Agricultura. Ediciones E. MARTEL - UNALM. Lima – Perú.
8. GUROVICH, L 1999, Riego tecnificado superficial, 2da Edición,

Editorial Alfa Omega, Ediciones Universidad Católica de Chile.

9. ISRAELSEN, H. 1965, Principios y aplicaciones de Riego. 2da. Edición, Editorial REVERTE S.A. México.
10. KRAMER, P. 1974, Relaciones Hídricas Suelo y Planta. Centro Regional de ayuda Técnica Agencia para el Desarrollo Internacional. – México.
11. LAZO, J. C. 2006, Tecnología para el Riego. Primera Edición. Editora Normas Legales. CONCYTEC. Lima – Perú.
12. LÓPEZ, J. C. 2001, La Programación de Riego – España.
13. LOPEZ, C. 1990, Determinación del Uso Consuntivo para cuatro cultivos del Proyecto Majes – Arequipa, Tesis Ing^o Agrícola UNA La Molina Lima - Perú.
14. LUQUE, L. A. 1981, Hidrología Agrícola Aplicada, Editorial Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires – Argentina.
15. MATEO, J. M. 1961, Leguminosas de grano. Primera Edición Salvat Editores S. A. Barcelona España.
16. MAROTO, J. 1986, Horticultura Herbácea Especial, 2da Edición, Editorial Mundi – Prensa. Madrid – España.
17. NUÑEZ, H. 2009, Requerimiento Hídrico y Programación de Riegos para seis cultivos forrajeros. Canaán (2,760 msnm) – Ayacucho. Tesis Ingeniero Agrícola – UNSCH.
18. OLARTE, W. 2002, Manual de Diseño y gestión de Sistemas de Riego por Aspersión en laderas. Proyecto: Manejo Sostenible de Suelos y Agua en Laderas (MASAL). Cusco – Perú.

19. SERRUTO, A. R. 1999, Relaciones agua – Suelo – Planta. PUBLIDRAT. UNALM Lima – Perú.
20. RUIZ, C. 1987, Producción y Manejo de forrajes en los Andes del Perú. Editorial Adolfo Arteta, Edición Ana María Frías. Lima - Perú.
21. TAMARO, J. V. 1981, Horticultura Práctica, Editorial Mundi Prensa Madrid España.
22. VALADEZ, A. 1994, Producción de Hortalizas. Editorial Limusa S. A. Balderas – México
23. VASQUEZ, A. 1994, El Riego Principios Básicos. Lima – Perú.
24. WINTER, E. J. 1981, El agua, El suelo y la planta. 3ra reimpresión, Editorial Diana – México.
25. YANCE, R. 2000, Uso Consuntivo, Régimen de Riego y Lixiviación de Nutrientes por Método lisimétrico en cuatro cultivos, Pampa del Arco – Ayacucho. Tesis Ingeniero Agrónomo – UNSCH.

RESUMEN

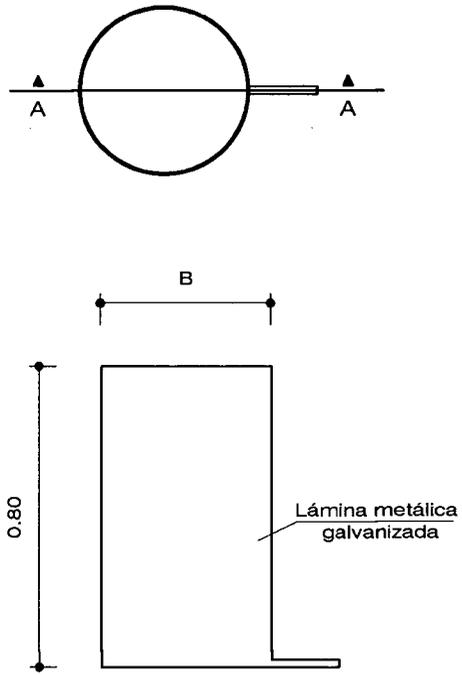
Con el presente trabajo se pretende determinar el requerimiento hídrico de los cultivos de (arveja col y cebolla) con el método lisimétrico que se basa en el principio del Balance Hídrico; con el fin de obtener información confiable para nuestra región y dosificar en forma precisa sin exceso ni deficiencia el volumen de agua en el momento de riego. El presente trabajo de investigación se realizó con los siguientes objetivos: 1.- Evaluar la Evapotranspiración de cultivo de referencia (ET_o), empleando el cultivo; Rye grass inglés (*Lolium perenne* L.) 2.- Determinar los valores de los coeficientes de evapotranspiración de los cultivos (K_c) experimentales para los cultivos: *Pisum sativum*, *Brassica oleracea*, *Allium cepa*. 3.- Determinar la etapa crítica de consumo de agua de los cultivos: *Pisum sativum*, *Brassica oleracea* y *Allium cepa* y recomendar la programación de riego. En las instalaciones de la estación Experimental Canaán (INIA) ubicado en el distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga y Departamento de Ayacucho, iniciándose la instalación de la investigación el 02 de Diciembre del 2009 y finalizándose a fines del mes de mayo del 2,010. Se construyó un grupo de lisímetros con un diámetro de 57 cm con una altura 80cm en la que se sembró pasto (Rye Grass Ingles) para evaluar la evapotranspiración del pasto como cultivo de referencia (ET_o) con 03 repeticiones y otro grupo con las mismas dimensiones para sembrar los cultivos de arveja, col y cebolla para evaluar la tasa de evapotranspiración en condiciones de campo, cada uno con 03 repeticiones o 03 números de lisímetros. El diseño experimental utilizado fue el Diseño bloque Completamente Randomizado (DBCR). Con los dispositivos (lisímetros) instalados en la parcela experimental se evaluó directamente en campo el requerimiento hídrico, utilizando el principio de lisimetría que consiste en la medición directa de la entrada y salida de agua del lisímetro (demanda de agua), empleando los lisímetros y con los datos obtenidos experimentalmente se determinó el coeficiente de evapotranspiración de los cultivos estudiados (K_c), la Programación de riego respectivo, la etapa crítica de consumo de agua y el rendimiento de los

cultivos . La evapotranspiración del pasto (ET_o) para las condiciones de la Estación Experimental Canaán (INIA) evaluados durante 6 meses reportan los siguientes resultados que son: 171.93, 166.69, 147.37, 173.58, 169.82, 173.92 en mm/mes evaluados del mes de diciembre hasta el mes de mayo respectivamente. Los resultados de necesidad de agua de los cultivos de arveja, col y cebolla se evaluaron durante su periodo vegetativo y cuyos resultados en mm/campaña son: 647.81, 718.55 y 915.40 respectivamente .Los resultados de programación de riego obtenido para el cultivo de arveja en la presente investigación reportan los siguientes: la necesidad de riego neto 358.7 mm/campaña, módulo de riego neto 0.51 lt/seg/ha, lámina neta de agua es 46.37 mm , tiempo de riego 6 horas y la frecuencia de riego varía de acuerdo a la etapa del desarrollo del cultivo, para la etapa inicial en promedio es cada 12 días, etapa de desarrollo cada 11 días, etapa de mediados de temporada cada 8 días, y la última etapa final cada 8 días evaluados del mes de Diciembre hasta el mes de Marzo. Para el cultivo de Cebolla en la presente investigación reportan los siguientes: la necesidad de riego neto 601.72 mm/campaña, módulo de riego neto 0.68 lit/seg/ha, lámina neta de agua es 39.74 mm , tiempo de riego 6 horas y la frecuencia de riego varía de acuerdo a la etapa del desarrollo del cultivo, para la etapa inicial en promedio es cada 12 días, etapa de desarrollo cada 11 días, etapa de mediados de temporada cada 6 días, y la última etapa final cada 9 días evaluados del mes de Diciembre hasta el mes de Mayo. Para el cultivo de Col en la presente investigación reportan los siguientes: la necesidad de riego neto 409.77 mm/campaña, módulo de riego neto 0.55 lit/seg/ha, lámina neta de agua es 37.09 mm , tiempo de riego 5 horas y la frecuencia de riego varía de acuerdo a la etapa del desarrollo del cultivo, para la etapa inicial en promedio es cada 11 días, etapa de desarrollo cada 10 días, etapa de mediados de temporada cada 6 días, y la última etapa final cada 10 días evaluados del mes de Diciembre hasta el mes de Abril. Para realizar los cálculos de programación de riego para el cultivo de cebolla se ha desarrollado para un sistema de riego por aspersión que tiene una

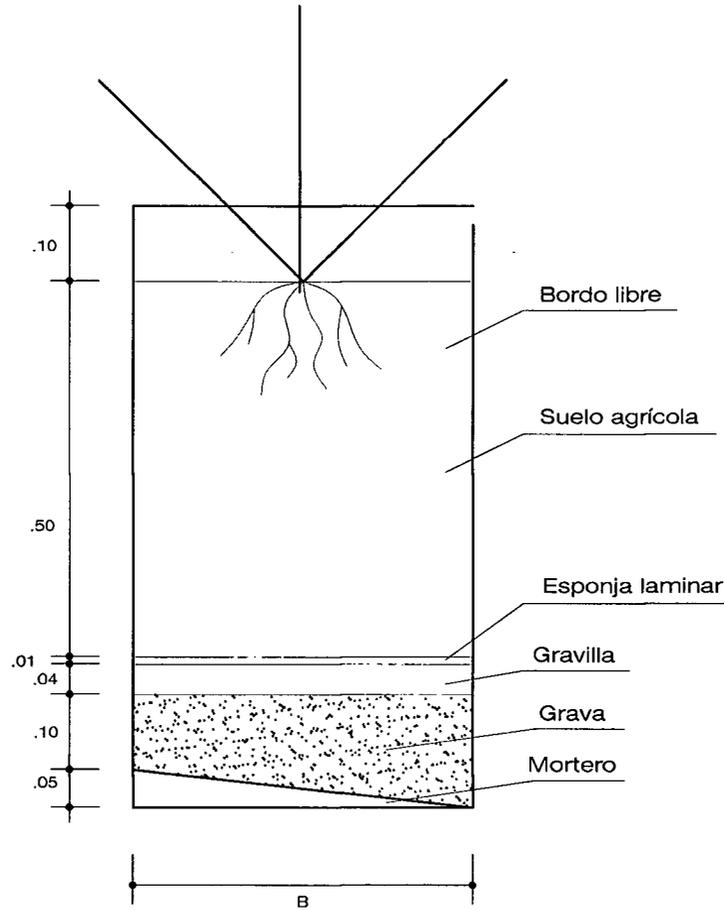
eficiencia de 85% y para los cultivos de Arveja y col se desarrolló para un sistema de riego por goteo con una eficiencia de 90%. En cuanto a los rendimientos de cosecha en TM/ha. Para la arveja col y cebolla se obtuvieron los siguientes resultados: 7.50, 50.00, 30.00 respectivamente.

ANEXOS

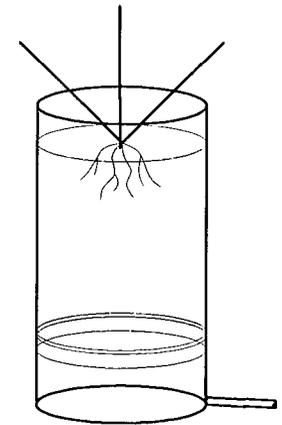
EL LISIMETRO



CORTE A-A



COMPONENTES DEL LISIMETRO

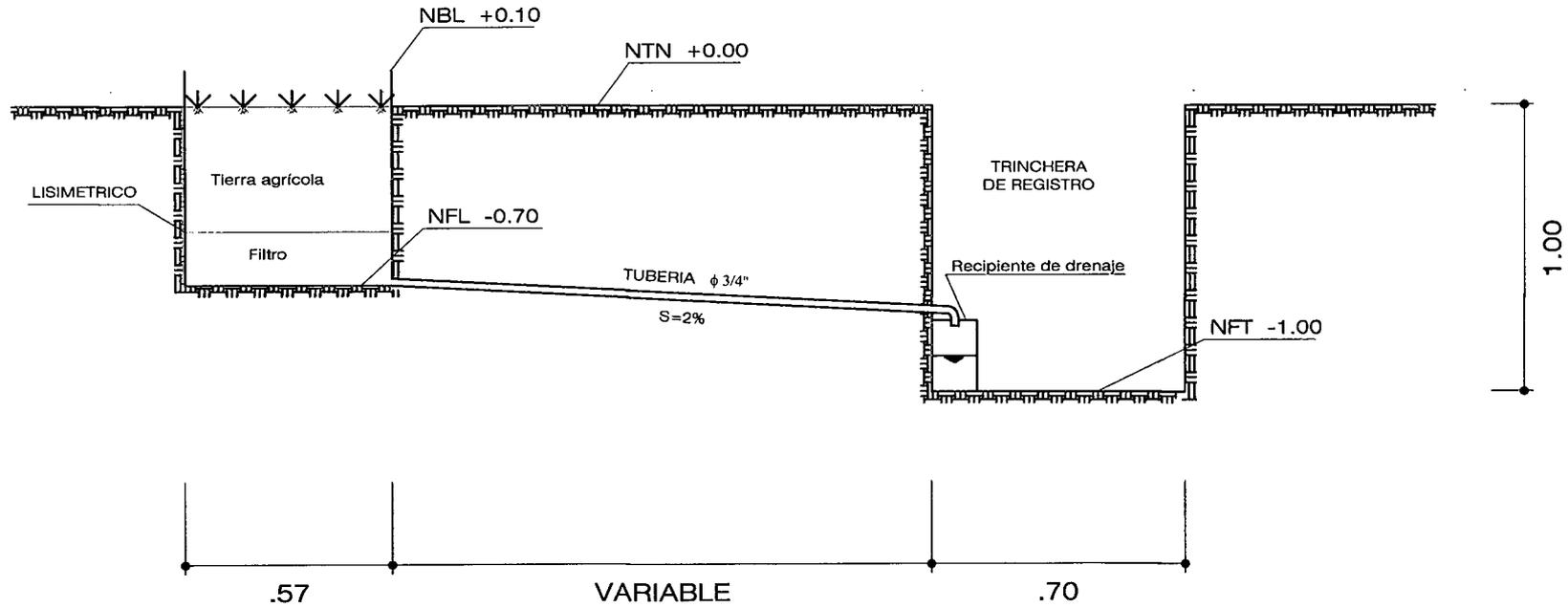


VISTA EN PERSPECTIVA

<u>LEYENDA</u>	
B	CULTIVOS
0.57 m	Cultivo referencial (Pasto)
0.57 m	Cultivos en estudio

PERFIL DEL SISTEMA LISIMETRICO

Esc = 1/20



LEYENDA	
B	CULTIVOS
0.57 m	Cultivo referencial (Pasto)
0.57 m	Cultivos en estudio

Tabla 6.1 periodos críticos de consumo de agua para diferentes cultivos

CULTIVO	PERIODO CRÍTICO
Avena	Al comienzo de la emergencia de la espiga posiblemente hasta el desarrollo del grano
Arveja	Durante la floración y llenado de vainas Inmediatamente después del corte para heno y al comienzo de la
Alfalfa	floración para la formación de semillas
Cebada	Antes de la formación de la espiga estado lechoso
Cebolla	Durante el periodo de ensanchamiento de la raíz e inicios de formación del bulbo
Coles	Durante la formación y desarrolla de la cabeza
Fresas	Desarrollo del fruto
Frijoles	Desde la floración hasta la formación del vaina
Patatas	Niveles altos de humedad, después de la formación de los tubérculos, de la floración a la recolección
Maíz	Periodo de polinización desde la formación del vellón hasta la formación del grano
Tomate	Cuando se formen los flores y los frutos crezcan rápidamente Posiblemente antes y durante la formación de espigas y dos semanas
Trigo	antes de la polinización
Nabos	Cuando el tamaño de la raíz comestible aumenta rápidamente hasta el momento de recolección
Caña de azúcar	Periodo de crecimiento vegetativo máximo
Soya	Etapa de florecimiento y fructificación.

Fuente : Doorenbos&Pruitt "Necesidades de agua de los cultivos

Tabla 6.2 necesidad de agua de los cultivos

CULTIVO	REQUERIMIENTO HÍDRICO
Avena	450 - 850/ 1300 mm/ campaña
Arveja	350 - 500 mm/campaña
Arroz	450 - 700 mm/campaña
Cebolla	350 - 600 mm/campaña
Col	380 - 580 mm/campaña
Cebada	450 - 750 mm/campaña
Frijol	300 - 500 mm/campaña
Papa	350 - 625 mm/campaña
Maíz	500 - 800 mm/campaña
Trigo	450 - 750 mm/campaña
Nabos	350 - 500 mm/campaña
Pimentero	700 - 1,000 mm/campaña
Piña	700 - 1,000 mm/campaña
Tomate	300 - 600 mm/campaña
Remolach azucarera	500 - 750 mm/campaña
Soya	450 - 825 mm/campaña

Fuente : Doorenbos&Kassam "Necesidades de agua de los cultivos"

Tabla 6.3 Coeficientes de Cultivo según la FAO ($K_{C(FAO)}$)

CULTIVO	TERCERA FASE				FIN DE TEMPORADA			
	HR min		HR min		HR min		HR min	
	< 70%		< 20%		< 70%		< 20%	
	Velocidad del Viento (m/s)				Velocidad del Viento (m/s)			
	0-5	5-8	0-5	5-8	0-5	5-8	0-5	5-8
Algodón	1.05	1.15	1.20	1.25	0.65	0.65	0.65	0.70
Avena	1.05	1.10	1.15	1.20	0.25	0.25	0.20	0.20
Cebada	1.05	1.10	1.15	1.20	0.25	0.25	0.20	0.20
Frijol	1.05	1.10	1.15	1.20	0.40	0.30	0.35	0.35
Granos	1.05	1.10	1.15	1.20	0.30	0.30	0.25	0.25
Leguminosas	1.05	1.10	1.15	1.20	0.30	0.30	0.25	0.25
Lentejas	1.05	1.10	1.15	1.20	0.30	0.30	0.25	0.25
Lino	1.00	1.05	1.10	1.15	0.25	0.25	0.20	0.20
Maíz dulce	1.05	1.10	1.15	1.20	0.95	1.00	1.05	1.10
Maíz grano	1.05	1.10	1.15	1.20	0.55	0.55	0.60	0.60
Melón	0.95	0.95	1.00	1.05	0.65	0.65	0.75	0.75
Soya	1.00	1.05	1.10	1.15	0.45	0.45	0.45	0.45
Sorgo	1.00	1.05	1.10	1.15	0.50	0.50	0.55	0.55
Trigo	1.05	1.10	1.15	1.20	0.25	0.25	0.20	0.20
Hortalizas								
Alcachofas	0.95	0.95	1.00	1.05	0.90	0.90	0.95	1.00
Apio	1.00	1.05	1.10	1.15	0.90	0.95	1.00	1.05
Arvejas	1.05	1.10	1.15	1.20	0.95	1.00	1.05	1.10
Berenjena	0.95	1.00	1.05	1.10	0.80	0.85	0.85	0.90
Calabazas, Zapallo	0.90	0.90	0.95	1.00	0.70	0.70	0.75	0.80
Cebolla seca	0.95	0.95	1.05	1.10	0.75	0.75	0.80	0.85
Cebolla verde	0.95	0.95	1.00	1.05	0.95	0.95	1.00	1.05
Col, Coliflor, repollo	0.95	1.00	1.05	1.10	0.80	0.85	0.90	0.95
Espinaca	0.95	0.95	1.00	1.05	0.90	0.90	0.95	1.00
Frijol Verde	0.95	0.95	1.00	1.05	0.85	0.85	0.90	0.90
Guisante								
Chicharo	1.05	1.10	1.15	1.20	0.95	1.00	1.05	1.10
Lechuga	0.95	0.95	1.00	1.05	0.90	0.90	0.90	1.00
Papas, patatas	1.05	1.10	1.15	1.20	0.70	0.70	0.75	0.75
Pepino	0.90	0.90	0.95	1.00	0.70	0.70	0.75	0.80
Pimiento fresco	0.95	1.00	1.05	1.10	0.80	0.85	0.85	0.90
Rábanos	0.80	0.80	0.85	0.90	0.75	0.75	0.80	0.85
Remolacha	1.00	1.00	1.05	1.10	0.90	0.90	0.95	1.00
Tomate	1.05	1.10	1.20	1.25	0.60	0.60	0.65	0.65
Zanahoria	1.00	1.05	1.10	1.15	0.70	0.75	0.85	0.85

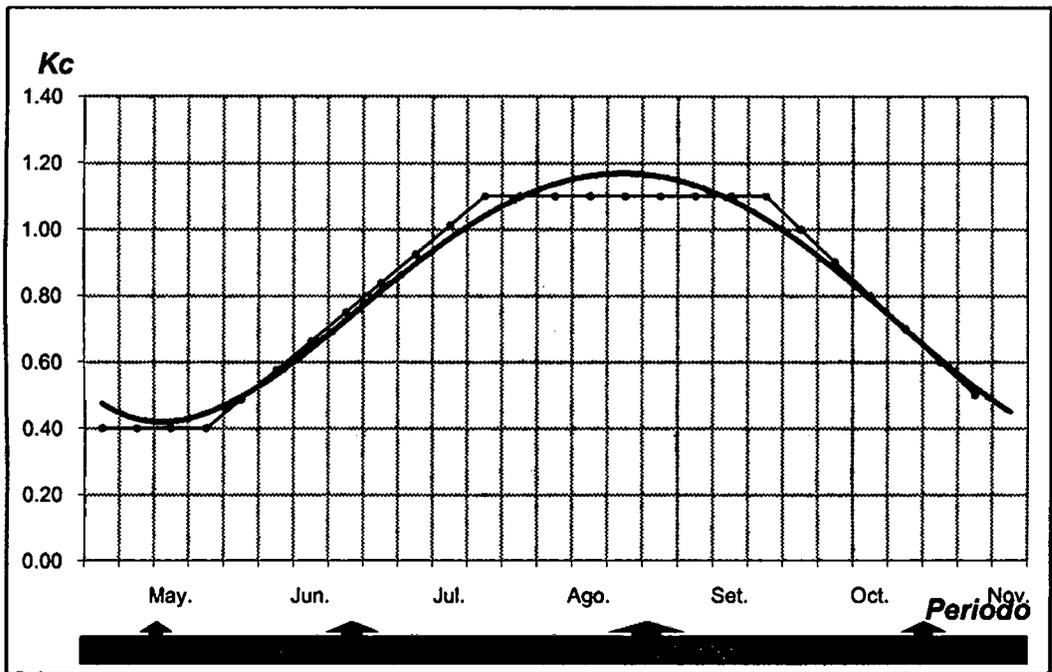


Fig. 6.4 Curva típica de Coeficiente del cultivo (K_c)

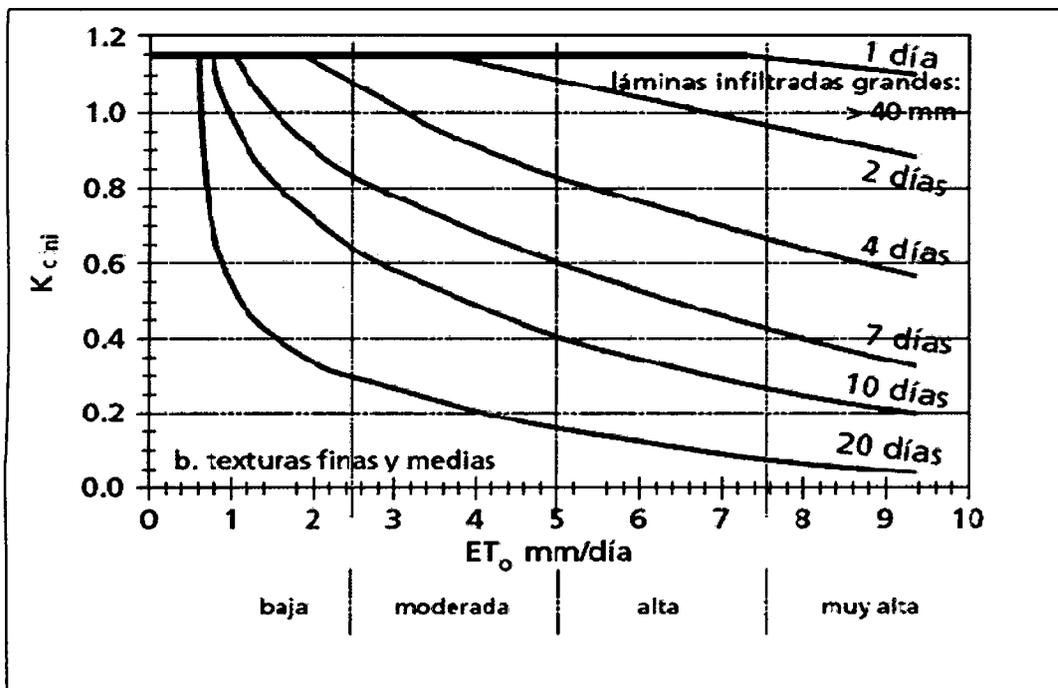


Fig 6.5 K_c promedio en la fase inicial, en función del nivel medio de la ET_0 y la frecuencia de riego o lluvia

Fig. 6.6 Coeficiente de K_{Tan}

(A) Tanque evaporímetro colocado en una superficie verde de poca altura.

Método del Tanque Evaporímetro (ModFao)

Distancia a barlovento a la cual cambia la cobertura	Velocidad del Viento		Humedad relativa media		
	D (m)	(Km/día)	(m/s)	< 40	40 - 70
0 a 9	< 175	< 2	0.55	0.65	0.75
	175 - 425	2-5	0.50	0.60	0.65
	425 - 700	5-8	0.45	0.50	0.60
	> 700	> 8	0.40	0.45	0.50
10 a 99	< 175	< 2	0.65	0.75	0.85
	175 - 425	2-5	0.60	0.70	0.75
	425 - 700	5-8	0.55	0.60	0.65
	> 700	> 8	0.45	0.55	0.60
100 a 999	< 175	< 2	0.70	0.80	0.85
	175 - 425	2-5	0.65	0.75	0.80
	425 - 700	5-8	0.60	0.65	0.70
	> 700	> 8	0.50	0.60	0.65
más de 1000	< 175	< 2	0.75	0.85	0.85
	175 - 425	2-5	0.70	0.80	0.80
	425 - 700	5-8	0.65	0.70	0.75
	> 700	> 8	0.55	0.60	0.65

(B) Tanque evaporímetro colocado en una superficie de barbecho seco.

Método del Tanque Evaporímetro (ModFao)

Distancia a barlovento a la cual cambia la cobertura	Velocidad del Viento		Humedad relativa media		
	D (m)	(Km/día)	(m/s)	< 40	40 - 70
0 a 9	< 175	< 2	0.70	0.80	0.85
	175 - 425	2-5	0.65	0.75	0.80
	425 - 700	5-8	0.60	0.65	0.70
	> 700	> 8	0.50	0.60	0.65
10 a 99	< 175	< 2	0.60	0.70	0.80
	175 - 425	2-5	0.55	0.65	0.70
	425 - 700	5-8	0.50	0.55	0.65
	> 700	> 8	0.45	0.50	0.55
100 a 999	< 175	< 2	0.55	0.65	0.75
	175 - 425	2-5	0.50	0.60	0.65
	425 - 700	5-8	0.45	0.50	0.60
	> 700	> 8	0.40	0.45	0.50
más de 1000	< 175	< 2	0.50	0.60	0.70
	175 - 425	2-5	0.45	0.55	0.60
	425 - 700	5-8	0.40	0.45	0.55
	> 700	> 8	0.35	0.40	0.45

6.7. CUADROS PARA EL CÁLCULO DEL METODO INDIRECTO DE LA ETo

Cuadro 6.7.1 Radiación Extraterrestre (Ra) expresada en equivalente de evaporación de agua (mm/día)

Lat	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
46°	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	11.9	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	9.6	7.1	5.8	6.3	8.3	11.4	14.4	17.0	18.3
36°	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	15.6	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	14.8	15.9	16.2	16.2
8°	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
6°	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
4°	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
2°	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
0°	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

Fuente: Avidan, A. 1994

Cuadro 6.8 horas máximas promedio diario de fuerte insolación (N) expresadas en (horas /día)

Lat.	Hemisferio Sur											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
50°	15.9	14.5	12.7	10.8	9.1	8.1	8.5	10.1	11.8	13.8	15.4	16.3
48°	15.6	14.3	12.6	10.9	9.3	8.3	8.8	10.2	11.8	13.6	15.2	16.0
46°	15.4	14.2	12.6	10.9	9.5	8.7	9.1	10.4	11.9	13.5	14.9	15.7
44°	15.2	14.0	12.6	11.0	9.7	8.9	9.3	10.5	11.9	13.4	14.7	15.4
42°	14.9	13.9	12.9	11.1	9.8	9.1	9.4	10.6	11.9	13.4	14.6	15.2
40°	14.7	13.7	12.5	11.2	10.0	9.3	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15.0
35°	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8	10.1	11.0	11.9	13.1	14.0	14.5
30°	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2	10.4	11.1	12.0	12.9	13.6	14.0
25°	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7
20°	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3
15°	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0
10°	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7
5°	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8	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	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1

Fuente :Avidan, A. 1994

Cuadro 6.9 Factores de corrección para la radiación neta onda larga (Rnl) expresada en (mm/día)

Temperatura		Humedad		Insolación	
T (°C)	f(t)	ed[mbar]	f(ed)	(n/N)	f(n/N)
				0.00	0.10
				0.05	0.15
0	11.0			0.10	0.19
2	11.4	6	0.23	0.15	0.24
4	11.7	8	0.22	0.20	0.28
6	12.0	10	0.20	0.25	0.33
8	12.4	12	0.19	0.30	0.37
10	12.7	14	0.18	0.35	0.42
12	13.1	16	0.16	0.40	0.46
14	13.5	18	0.15	0.45	0.51
16	13.8	20	0.14	0.50	0.55
18	14.2	22	0.13	0.55	0.60
20	14.6	24	0.12	0.60	0.64
22	15.0	26	0.12	0.65	0.69
24	15.4	28	0.11	0.70	0.73
26	15.9	30	0.10	0.75	0.78
28	16.3	32	0.09	0.80	0.82
30	16.7	34	0.08	0.85	0.87
32	17.2	36	0.08	0.90	0.91
34	17.7	38	0.07	0.95	0.96
36	18.1	40	0.06	1.00	1.00

Fuente :Avidan, A. 1994

Cuadro 6.10 Factor de ponderación (W)

Temp. (°C)	Altitud (m.s.n.m.)					
	0	500	1,000	2,000	3,000	4,000
2	0.43	0.44	0.46	0.49	0.52	0.54
4	0.46	0.48	0.49	0.52	0.55	0.58
6	0.49	0.51	0.52	0.55	0.58	0.61
8	0.52	0.54	0.55	0.58	0.61	0.64
10	0.55	0.57	0.58	0.61	0.64	0.66
12	0.58	0.60	0.61	0.64	0.66	0.69
14	0.61	0.62	0.64	0.66	0.69	0.71
16	0.64	0.65	0.66	0.69	0.71	0.73
18	0.66	0.67	0.69	0.71	0.73	0.75
20	0.68	0.70	0.71	0.73	0.75	0.77
22	0.71	0.72	0.73	0.75	0.77	0.79
24	0.73	0.74	0.75	0.77	0.79	0.81
26	0.75	0.76	0.77	0.79	0.81	0.82
28	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.84
30	0.78	0.79	0.80	0.82	0.84	0.85
32	0.80	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86
34	0.82	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87
36	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.89
38	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.90
40	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90

Fuente :Avidan, A. 1994

6.11 DATOS METEORÓLOGICOS



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA CANAÁN



REGISTRO DE PRECIPITACIÓN DIARIA (mm)

ESTACIÓN : Canaán bajo **DIST** : AYACUCCHO **ALTITUD** : 2,760 msnm
AÑO : Dic. 2009, Jul. 2010 **PROV** : HUAMANGA **LATITUD** : 13° 09' 28" S
REGISTRO : Ignacio Noa Oré **DPTO** : AYACUCCHO **LONGITUD** : 74° 14' 53" W

DIA	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
1	9.8	1.4	12.1	1	1.4	3.2	0	0
2	1.4	0	0	0	0.2	0	0	0
3	2.8	0.6	0	0.2	0	0	0	0
4	0.2	15.8	0.8	0.2	7.2	0	0	0
5	0	0.4	0.7	0	0	0	0	0
6	0	5.2	0	2.6	2.4	0	0	0
7	1.6	0	0	1.2	7.4	0	0	0
8	7	4.8	3.1	0	0	0	0	0
9	3.2	17.6	0.4	3.2	1.6	0	0	0.6
10	7.2	10	0	0	0	0	0	0
11	0.2	3.8	5.5	4	0	0	0	0
12	0	0	1.9	0	0	0	0	0
13	8.3	3.2	0	0.6	0.6	0	0	0
14	2.6	0.2	0	0	0	0	0	0
15	0	8.6	15.0	2.6	0	0	0	0
16	9.4	5.4	9.72	7.4	0	0	0	0
17	1.4	0.4	0.82	1.6	0	0	0	0
18	0.6	2.6	5.3	1.2	0	0	0	0
19	0	0.4	8.4	5	0	0	0	0
20	3.8	0.2	11.3	0.6	0	4.8	0	0
21	0	0	2.6	0	1.4	1.4	0	0
22	8.6	3	6.2	1.2	0	0.2	0	0
23	2.5	2	0.6	0	0	0	0	0
24	0.2	6	3.8	0.4	0	0	0	0
25	8.8	3.2	15	0.4	0	0	0	0
26	0.4	0.2	1.4	1.2	0	1.4	0	0
27	1.6	8.6	5.4	0.6	0	0	0	0
28	2.6	0	0.2	2.4	0	0	0	0
29	3.4	2.6	0	0	0.8	0	0	0
30	0	0	0	8.6	0.8	0	0	0
31	2.4	0	0	10.8	0	0	0	0
TOTAL	90.00	106.20	110.23	57.00	23.80	11.00	0.00	0.60

FUENTE: ESTACIÓN METEORÓLOGICA CANAÁN BAJO INIA - SENAMHI



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
RED HIDROMETEOROLOGICA



REGISTRO DE TEMPERATURAS AMBIENTALES PROMEDIOS MENSUALES (°C)

Estación : HUAMANGA Latitud: 13°08'51"S Dpto: AYACUCHO
Codigo : 005 Longitud: 74°13'06"W Prov: HUAMANGA
Año : 2009 Altitud: 2772.0 Dist: AYACUCHO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1996	11.2	11.5	11.8	11.0	9.5	7.6	7.7	9.3	10.4	11.5	12.0	11.7
1997	11.7	11.2	10.9	10.3	9.6	8.4	8.3	8.7	10.6	12.3	12.1	12.7
1998	12.9	12.6	12.3	12.1	10.0	9.4	7.9	10.6	11.5	12.1	11.9	7.9
1999	11.4	10.7	11.0	9.8	9.1	8.2	8.1	8.6	10.4	10.5	11.5	11.2
2000	11.0	11.1	10.6	10.2	9.4	8.9	8.3	9.4	11.0	11.0	11.8	11.1
2001	11.0	11.2	10.7	9.5	9.5	7.7	7.9	7.7	10.2	11.2	11.6	S/D
2002	10.7	11.2	9.3	8.6	7.6	7.4	6.6	7.0	8.4	9.9	9.4	10.1
2003	9.8	8.7	8.8	8.1	7.2	11.5	10.6	6.7	8.2	10.1	10.5	9.4
2004	9.3	8.2	8.3	10.3	6.9	6.8	7.1	7.2	7.7	9.2	9.8	9.3
2005	9.7	8.8	7.9	7.9	7.8	7.5	8.2	9.6	10.3	11.4	12.6	8.4
2006	7.7	7.4	9.8	10.2	9.4	9.6	11.0	9.8	10.8	11.9	11.2	9.9
2007	10.1	9.6	9.9	9.9	10.3	10.3	8.6	9.9	8.9	9.5	9.5	9.3
2008	8.5	8.2	6.8	7.1	7.6	6.1	6.8	5.5	6.7	6.8	8.6	7.4
2009	9.2	9.8	8.0	9.3	15.7	14.6	15.0	16.0	18.0	18.6	18.7	20.7
MEDIA	10.3	10.0	9.7	9.6	9.3	8.8	8.7	9.0	10.2	11.1	11.5	10.7



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
RED HIDROMETEOROLOGICA



REGISTRO DE TEMPERATURAS AMBIENTALES MÍNIMAS PROMEDIOS MENSUALES (°C)

Estación : HUAMANGA Latitud: 13°08'51"S Dpto: AYACUCHO
Codigo : 005 Longitud: 74°13'06"W Prov: HUAMANGA
Año : 2009 Altitud: 2772.0 Dist: AYACUCHO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1999	8.0	8.8	7.4	6.6	2.6	0.4	1.2	3.6	5.0	6.6	4.8	2.6
2000	8.2	7.0	6.6	5.0	3.0	1.8	0.6	5.8	5.8	7.2	7.8	10.2
2001	10.8	10.0	10.2	8.2	3.0	3.6	1.8	5.8	5.6	6.2	6.2	7.6
2002	8.4	7.2	7.8	6.0	3.0	1.2	0.6	0.6	5.2	4.4	6.6	8.6
2003	10.0	8.4	7.4	6.2	4.0	1.2	3.6	4.6	5.4	7.0	5.8	8.0
2004	9.8	8.8	0.0	4.2	0.0	3.0	4.4	1.6	6.0	6.2	9.2	8.0
2005	7.0	9.4	8.2	4.8	5.0	1.4	1.6	3.8	6.0	7.8	8.8	9.4
2006	9.0	9.2	8.6	4.8	4.8	2.4	1.6	2.4	S/D	S/D	S/D	S/D
2007	S/D	5.0	5.8	7.8								
2008	8.7	7.8	6.8	0.0	2.8	1.2	2.2	3.0	3.6	S/D	S/D	S/D
2009	8.6	8.8	7.9	5.1	4.2	1.7	1.8	3.1	5.8	6.3	7.9	8.4
MIN	7.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6	0.6	3.6	4.4	4.8	2.6
MEDIA	8.9	8.5	7.1	5.1	3.2	1.8	1.9	3.4	5.4	6.3	7.0	7.8



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
RED HIDROMETEOROLOGICA



REGISTRO DE TEMPERATURAS AMBIENTALES MÁXIMAS PROMEDIOS MENSUALES (°C)

Estación : HUAMANGA Latitud: 13°08'51"S Dpto: AYACUCHO
Codigo : 005 Longitud: 74°13'06"W Prov: HUAMANGA
Año : 2009 Altitud: 2772.0 Dist: AYACUCHO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1999	22.5	19.5	20.0	19.5	21.0	20.0	19.5	21.0	22.5	21.0	24.0	21.5
2000	20.5	20.0	19.5	19.5	20.0	19.5	18.5	22.5	23.5	23.0	24.5	23.0
2001	18.0	19.5	19.0	21.0	21.5	20.0	20.5	20.5	22.0	25.5	25.0	29.0
2002	25.0	19.5	20.5	20.0	19.6	20.5	19.5	20.0	23.5	23.0	22.5	12.7
2003	22.5	20.5	19.5	20.5	18.4	21.5	20.0	20.0	23.5	24.0	24.5	22.0
2004	22.2	20.5	20.5	20.5	21.6	19.5	20.5	20.0	22.0	21.5	20.5	20.0
2005	21.0	21.5	20.5	21.5	22.2	21.5	22.5	23.5	25.0	24.0	24.0	23.6
2006	21.0	20.5	20.5	21.5	20.5	20.5	21.5	23.0	22.0	23.1	22.0	23.1
2007	23.0	23.0	23.2	21.0	20.5	22.5	20.5	21.0	23.0	23.5	26.5	24.5
2008	19.5	19.5	21.5	21.5	22.0	27.0	15.5	22.0	18.0	18.5	23.0	24.0
2009	21.0	20.0	20.0	19.5	21.0	23.3	19.2	22.0	21.0	21.7	23.8	23.9
MAX	25.0	23.0	23.2	21.5	22.2	27.0	22.5	23.5	25.0	25.5	26.5	29.0
MEDIA	21.5	20.4	20.4	20.5	20.8	21.4	19.8	21.4	22.4	22.6	23.7	22.5



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
RED HIDROMETEOROLOGICA



REGISTRO DE HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)

Estación : HUAMANGA
Codigo : 005
Año : 2009

Latitud: 13°08'51"S
Longitud: 74°13'06"W
Altitud: 2772.0

Dpto: AYACUCHO
Prov: HUAMANGA
Dist: AYACUCHO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1995	61.0	66.0	80.0	72.0	45.0	41.0	44.0	40.0	46.0	44.0	48.0	48.0
1996	59.0	64.0	63.0	58.0	44.0	37.0	36.0	48.0	45.0	47.0	43.0	54.0
1997	61.0	67.0	62.0	S/D								
1998	S/D											
1999	S/D	62.0	63.0	60.0	64.0							
2000	71.0	70.0	S/D	66.0	59.0	61.0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2001	S/D	65.0	64.0	S/D								
MEDIA	63.0	66.4	67.3	65.3	49.3	46.3	40.0	44.0	51.0	51.3	50.3	55.3
MAX	71.0	70.0	80.0	72.0	59.0	61.0	44.0	48.0	62.0	63.0	60.0	64.0
MIN	59.0	64.0	62.0	58.0	44.0	37.0	36.0	40.0	45.0	44.0	43.0	48.0



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
RED HIDROMETEOROLOGICA



REGISTRO DE HUMEDAD RELATIVA MÁXIMA MENSUAL (%)

Estación : HUAMANGA Latitud: 13°08'51"S Dpto: AYACUCHO
Codigo : 005 Longitud: 74°13'06"W Prov: HUAMANGA
Año : 2009 Altitud: 2772.0 Dist: AYACUCHO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1995	79.0	88.0	92.0	95.0	76.0	51.0	61.0	62.0	66.0	60.0	75.0	71.0
1996	72.0	76.0	77.0	73.0	58.0	49.0	53.0	65.0	70.0	77.0	60.0	81.0
1997	75.0	86.0	83.0	S/D								
1998	S/D											
1999	S/D	85.0	84.0	84.0	77.0							
2000	84.0	89.0	S/D	78.0	82.0	77.0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2001	S/D	81.7	91.0	S/D								
MEDIA	77.5	84.1	85.8	82.0	72.0	59.0	57.0	63.5	73.7	73.7	73.0	76.3
MAX	84.0	89.0	92.0	95.0	82.0	77.0	61.0	65.0	85.0	84.0	84.0	81.0



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
RED HIDROMETEOROLOGICA



REGISTRO DE HUMEDAD RELATIVA MÍNIMA MENSUAL (%)

Estación : HUAMANGA Latitud: 13°08'51"S Dpto: AYACUCHO
Codigo : 005 Longitud: 74°13'06"W Prov: HUAMANGA
Año : 2009 Altitud: 2772.0 Dist: AYACUCHO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1995	38.0	43.0	73.0	48.0	30.0	29.0	34.0	27.0	31.0	29.0	27.0	24.0
1996	42.0	53.0	49.0	36.0	31.0	21.0	23.0	29.0	24.0	28.0	29.0	29.0
1997	28.0	44.0	45.0	S/D								
1998	S/D											
1999	S/D	37.0	48.0	45.0	44.0							
2000	53.0	S/D	S/D	49.0	S/D	49.0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2001	S/D	53.0	48.3	S/D								
MEDIA	40.3	48.3	53.8	44.3	30.5	33.0	28.5	28.0	30.7	35.0	33.7	32.3
MIN	28.0	43.0	45.0	36.0	30.0	21.0	23.0	27.0	24.0	28.0	27.0	24.0



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
RED HIDROMETEOROLOGICA



REGISTRO DE MEDIA TANQUE EVAPORACIÓN

Estación : HUAMANGA Latitud: 13°08'51"S Dpto: AYACUCHO
Codigo : 005 Longitud: 74°13'06"W Prov: HUAMANGA
Año : 2009 Altitud: 2772.0 Dist: AYACUCHO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1995	131.0	104.8	110.7	124.4	127.2	125.3	138.3	165.6	168.0	190.2	179.7	177.3
1996	145.8	142.1	135.8	124.4	126.0	115.6	122.0	142.4	167.9	186.8	226.3	178.4
1997	139.1	112.3	140.0	118.9	119.6	111.8	138.1	147.8	171.5	194.1	153.7	169.8
1998	136.8	141.9	135.1	147.1	129.6	117.7	138.7	158.9	S/D	S/D	S/D	178.5
1999	157.6	100.8	117.6	105.1	109.1	111.5	131.9	135.9	169.3	155.7	189.2	146.8
2000	124.7	97.5	107.6	104.4	112.0	100.5	131.9	152.5	172.3	143.7	176.2	146.8
2001	105.2	97.2	93.0	119.6	123.1	122.6	131.2	148.2	161.9	168.8	165.7	155.8
2002	101.8	92.7	83.3	87.6	95.8	91.1	85.2	86.6	64.7	140.6	83.4	86.5
2003	125.7	80.8	81.6	181.8	119.5	139.0	156.7	140.1	155.2	S/D	S/D	S/D
2004	S/D											
2005	S/D											
2006	S/D											
2007	S/D	181.2	173.8	151.7								
2008	97.5	99.0	88.3	147.0	138.4	143.1	152.9	171.9	177.8	143.0	183.2	147.9
2009	103.9	89.8	88.3	98.0	90.2	88.2	86.3	84.3	82.4	80.5	78.5	76.6
MEDIA	124.5	105.3	107.4	123.5	117.3	115.1	128.5	139.5	149.1	158.5	161.0	146.9



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
RED HIDROMETEOROLOGICA



REGISTRO DE PRECIPITACIONES PROMEDIOS MENSUALES (mm)

Estación : HUAMANGA Latitud: 13°08'51"S Dpto: AYACUCHO
Codigo : 005 Longitud: 74°13'06"W Prov: HUAMANGA
Año : 2009 Altitud: 2772.0 Dist: AYACUCHO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANNUAL
1995	157.4	128.9	123.3	12.5	16.5	0.0	2.0	5.6	9.7	34.3	79.1	48.5	617.8
1996	75.2	126.6	99.0	43.8	1.4	0.0	0.0	16.7	26.1	20.8	22.3	57.2	489.1
1997	147.7	121.6	78.1	25.4	2.9	0.0	2.0	20.2	38.7	23.6	69.3	96.6	626.1
1998	116.8	104.1	94.1	6.8	0.4	5.8	0.0	3.9	19.6	56.3	32.4	42.6	482.8
1999	107.1	142.3	91.5	29.0	2.6	0.6	4.8	0.0	58.7	13.3	91.2	60.3	601.4
2000	126.0	174.2	91.5	8.0	20.3	10.8	55.8	12.7	6.2	66.0	22.1	79.2	672.8
2001	161.9	101.3	86.5	23.0	18.4	10.1	23.7	10.9	36.7	18.5	101.9	70.0	663.0
2002	133.8	141.4	101.0	26.4	15.1	8.9	25.8	19.3	57.7	22.5	49.7	101.4	703.0
2003	75.0	164.9	121.5	77.5	136.8	4.1	4.1	38.1	31.4	11.1	39.4	99.0	802.8
2004	46.8	114.6	83.7	22.8	40.1	10.7	31.4	11.8	57.3	41.6	77.0	143.1	680.8
2005	15.2	119.2	131.4	7.0	16.8	3.0	2.4	3.2	53.9	43.6	90.8	130.0	616.5
2006	143.9	144.0	126.6	26.9	7.3	0.0	1.3	9.6	54.4	38.3	145.8	63.0	761.0
2007	83.3	132.1	136.8	6.3	50.7	2.9	17.0	2.4	45.3	47.8	109.3	133.5	767.5
2008	124.8	100.5	72.9	34.7	11.0	7.4	4.1	4.1	47.3	28.7	45.4	97.6	578.8
2009	137.2	126.2	60.1	46.4	12.0	0.0	7.6	1.8	8.1	39.9	88.7	2.3	530.3
MEDIA	110.1	129.5	99.9	26.4	23.5	4.3	12.1	10.7	36.7	33.8	71.0	81.6	639.6
MAX	161.9	174.2	136.8	77.5	136.8	10.8	55.8	38.1	58.7	66.0	145.8	143.1	802.8
MIN	15.2	100.5	60.1	6.3	0.4	0.0	0.0	0.0	6.2	11.1	22.1	2.3	482.8



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
RED HIDROMETEOROLOGICA



REGISTRO DE HORAS SOL PROMEDIOS MENSUALES (Hrs)

Estación : HUAMANGA Latitud: 13°08'51"S Dpto: AYACUCHO
Codigo : 005 Longitud: 74°13'06"W Prov: HUAMANGA
Año : 2009 Altitud: 2772.0 Dist: AYACUCHO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1995	7.1	6.4	6.0	7.3	8.7	8.8	9.2	9.1	7.1	8.4	7.7	7.1
1996	4.9	6.1	5.8	6.4	8.3	9.1	9.4	7.7	7.9	7.7	8.4	6.5
1997	4.6	5.4	6.3	8.0	8.3	8.9	9.2	7.6	6.9	7.1	6.8	S/D
1998	S/D	7.7	8.3	6.8	7.3	S/D						
1999	6.3	4.2	4.9	5.3	7.7	9.0	8.1	9.2	7.5	6.9	8.1	5.5
2000	4.9	4.8	4.7	6.4	8.4	8.4	8.1	9.2	7.5	6.9	8.1	5.5
2001	S/D											
2002	S/D											
2003	5.3	5.3	7.4	6.5	7.4	8.0	8.5	7.4	S/D	S/D	S/D	S/D
2004	S/D											
2005	S/D											
2006	S/D											
2007	S/D	7.2	7.3	5.9								
2008	4.2	5.7	6.1	7.0	8.5	8.7	9.1	8.0	8.2	6.7	7.9	6.4
2009	5.4	5.5	5.0	6.7	8.6	9.2	8.2	8.7	0.0	7.2	6.5	6.9
MEDIA	5.3	5.4	5.8	6.7	8.2	8.8	8.7	8.3	6.7	7.2	7.6	6.3



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
RED HIDROMETEOROLOGICA



REGISTRO DE VELOCIDAD DEL VIENTO MENSUAL (m/s)

Estación : HUAMANGA Latitud: 13°08'51"S Dpto: AYACUCHO
Codigo : 005 Longitud: 74°13'06"W Prov: HUAMANGA
Año : 2009 Altitud: 2772.0 Dist: AYACUCHO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1995	1.2	0.8	0.8	0.8	0.5	0.8	0.8	1.0	1.1	1.2	1.0	1.1
1996	1.2	1.1	0.9	0.9	0.8	1.1	1.1	1.0	1.2	1.3	1.4	1.2
1997	1.2	1.0	1.3	1.1	0.9	0.7	1.0	1.0	1.1	1.2	0.8	0.7
1998	0.6	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.7	0.9	1.0	0.9	1.0
1999	0.8	0.4	0.6	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.8	1.0	0.9	0.8
2000	0.5	0.6	S/D	0.6	0.3	0.4	0.6	0.5	0.8	0.7	0.7	S/D
2001	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.3	0.6	0.7	0.8	1.0	0.7	S/D
2002	0.7	0.6	0.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.9	0.7	0.7	0.4
2003	0.8	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2004	S/D											
2005	S/D											
2006	S/D											
2007	S/D	1.0	1.0	0.8								
2008	0.9	0.6	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2	0.4	0.8	0.7	0.9	0.7
2009	0.8	0.5	0.4	0.3	0.4	0.1	0.3	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6
MEDIA	0.8	0.6	0.7	0.6	0.5	0.5	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9	0.8



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
RED HIDROMETEOROLOGICA



REGISTRO DE NUBOSIDAD MENSUAL (Octas)

Estación : HUAMANGA Latitud: 13°08'51"S Dpto: AYACUCHO
Codigo : 005 Longitud: 74°13'06"W Prov: HUAMANGA
Año : 2009 Altitud: 2772.0 Dist: AYACUCHO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1995	6.3	6.6	6.5	4.5	1.8	2.6	1.7	1.6	3.8	3.6	5.0	4.8
1996	7.0	6.0	5.0	5.0	3.0	2.0	2.0	4.0	3.0	5.0	5.0	6.0
1997	6.0	6.0	6.0	4.0	3.0	2.0	1.0	4.0	4.0	4.0	5.0	6.0
1998	6.0	6.0	5.0	4.0	2.0	3.0	1.0	4.0	3.0	5.0	5.0	6.0
1999	6.0	7.0	6.0	5.0	3.0	2.0	3.0	2.0	4.0	5.0	4.0	6.0
2000	6.8	6.4	6.3	4.5	2.5	3.4	3.3	3.5	3.7	5.1	3.8	5.7
2001	7.0	7.0	6.0	4.0	3.0	3.0	3.0	2.0	5.0	4.0	5.0	S/D
2002	S/D	2.6	2.6	2.9	3.2							
2003	5.8	6.4	6.2	4.3	3.1	1.6	1.8	3.4	4.1	2.8	4.1	6.3
2004	5.6	S/D										
2005	S/D											
2006	S/D											
2007	S/D	5.4	3.9	5.6								
2008	7.3	6.1	5.6	3.5	1.8	2.0	1.4	2.6	3.2	4.4	4.3	5.2
2009	6.3	6.1	6.0	3.9	2.7	1.9	2.6	1.7	3.0	3.6	5.5	5.7
MEDIA	6.4	6.4	5.9	4.3	2.6	2.4	2.1	2.9	3.6	4.2	4.5	5.5

6.12 VISTAS FOTOGRAFICAS



PREPARACIÓN DEL TERRENO



TRAZO Y REPLANTEO DEL TERRENO PARA LA INSTALACIÓN DE LOS LISÍMETROS



EXCAVACIÓN PARA LA INSTACIÓN DE LOS LISÍMETROS



LISÍMETROS FABRICADOS PARA LA INSTALACIÓN



LISÍMETRO INSTALADO



PRUEBA HIDRÁULICA DE LOS LISÍMETROS INSTALADOS



SIEMBRA DEL PASTO RAY GRASS INGLÉS PARA LA EVALUACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET_o)



CULTIVO DE PASTO RAY GRASS INGLÉS PARA LA EVALUACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET_o)



PARCELA EXPERIMENTAL CON LOS LISÍMETROS INSTALADOS



TRASPLANTE DEL CULTIVO DE COL EN LA PARCELA Y EL LISÍMETRO



APORTE DE AGUA LOCALIZADO (RIEGO) EN LAS ETAPAS INICIALES DEL CULTIVO DE CEBOLLA



CULTIVO DE ARVEJA EN PLENO CRECIMIENTO Y DESARROLLO



APORTE DE AGUA LOCALIZADO (RIEGO) EN EL CULTIVO DE CEBOLLA



TRINCHERA DE REGISTRO Y LOS COLECTORES DEL AGUA DRENADO



REGISTRO DEL AGUA DRENADO DESPUES DE APOORTE DE AGUA



CALICATA PARA EL ANÁLISIS FÍSICO DEL SUELO



**ESTACIÓN METEOROLÓGICA INSTALADO EN LA ESTACIÓN
EXPERIMENTAL INIA CANAAN – AYACUCHO**