

**ESTIMACION DE LAS DEMANDAS HIDRICAS DEL  
CULTIVO DE TABACO  
EN EL MUNICIPIO DE CAMPOALEGRE  
DEPARTAMENTO DEL HUILA**



Presentado por:

CESAR AUGUSTO GASCA VALDERRAMA  
OSCAR EDUARDO TRUJILLO OBANDO

Director

ARMANDO TORRENTE TRUJILLO Ing. Agr. Doctor.

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA

GRUPO DE INVESTIGACIÓN GHIDA

NEIVA

2007

**ESTIMACION DE LAS DEMANDAS HIDRICAS DEL  
CULTIVO DE TABACO  
EN EL MUNICIPIO DE CAMPOALEGRE  
DEPARTAMENTO DEL HUILA**



Requisito como tesis de grado para optar el título de Ingeniero Agrícola

Presentado por:

CESAR AUGUSTO GASCA VALDERRAMA  
OSCAR EDUARDO TRUJILLO OBANDO

Director

ARMANDO TORRENTE TRUJILLO Ing. Agr. Doctor.

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA

GRUPO DE INVESTIGACIÓN GHIDA

NEIVA  
2007

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

**JAIME IZQUIERDO BAUTISTA**  
ING. AGRICOLA  
ING. CIVIL  
M. Sc  
**JURADO**

---

**FABIO SALINAS**  
ING. AGRONOMO  
M. Sc. EN SUELOS  
**JURADO**

---

**ARMANDO TORRENTE TRUJILLO**  
ESPECIALISTA EN RIEGOS  
M. Sc. EN MANEJO DE SUELOS Y AGUAS  
Dr. CIENCIAS AGROPECUARIAS  
**DIRECTOR**

## DEDICATORIA

Dedico el proyecto de grado a Dios todo poderoso a mis padres Ignacio Antonio Gasca y Elsa Marina Valderrama por darme la vida y su sabiduría en mi formación, siguiendo desde la eternidad mis pasos en la tierra y confiado en algún día volverlos a ver; a mis hermanos Alirio, Faiber José y Sandra Milena por su lucha y apoyo constante. A mi familia en general por creer en mí y ver con interés y pasión mi progreso personal y profesional.

Dedico el proyecto de grado a Dios por haberme dotado de cualidades intelectuales y personales, las cuales han sido importantes para alcanzar todos mis logros y en especial este tan anhelado para mi vida. Les agradezco a toda mi familia y amigos que siempre confían en mí, en especial a mis padres Carlos Julio Trujillo, Libia Obando y mi hermana Gissela.

Cesar Augusto Gasca Valderrama  
Oscar Eduardo Trujillo Obando

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera especial a nuestro tutor y director Armando Torrente Trujillo, por su gran colaboración y el gran aporte a la investigación en la Universidad.

Al Grupo de Investigación GHIDA, al Comité Central de Investigaciones y la Vicerrectoría de Investigaciones de la USCO por su apoyo financiero y el constante apoyo a la investigación.

A los funcionarios de Protabaco S.A. Regional Huila en cabeza del Ingeniero Fitzgerald García y el Dr. Jesús Rojas B. por su acogida a la presente investigación.

A los funcionarios del Centro Agropecuario la Angostura del SENA, en especial al Dr. Candido Herrera por creer en nuestra propuesta y por su esmerada colaboración para con la Investigación.

A nuestros jurados del proyecto, profesores Fabio Salinas y Jaime Izquierdo por su colaboración y acompañamiento en el presente trabajo de investigación.

A los compañeros del grupo de investigación GHIDA, quienes apoyaron constantemente, en especial al Profesor Asociado Rodrigo Pachón y a los ingenieros Jorge Chávarro y Gustavo Adolfo Trujillo quienes aportaron su conocimiento al proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
1. INTRODUCCIÓN	
2. REVISION BIBLIOGRAFICA	12
2.1 Características Generales del cultivo de tabaco	12
2.2 Taxonomía y Morfología	13
2.3 Requerimientos Edafoclimáticos de Tabaco	14
2.4 Periodo crecimiento y desarrollo de la planta	15
2.5 Métodos para determinar la evapotranspiración potencial	15
2.5.1 Método del tanque evaporímetro	16
2.6 Coeficiente del cultivo Kc	16
2.7 Requerimientos hídricos del cultivo de tabaco	18
3. MATERIALES Y METODOS	20
3.1 Localización del sitio	20
3.2 Características del suelo	20
3.2.1 Características Físicas	20
3.2.2 Características Químicas	22
3.3 Levantamiento plani - altimétrico del área	22
3.4 Determinación de los parámetros para riego por surcos	22
3.5 Establecimiento del Semillero	25
3.6 Determinación del Kc	26
3.7 Determinación de las variables de cosecha	28
4. ANALISIS DE RESULTADOS	30
4.1 Análisis de las características del suelo	30
4.1.1 Análisis físico del suelo	30
4.1.2 Análisis químico del suelo	30
4.1.3 Retención de humedad del suelo	31
4.2 Control de humedad del suelo	34
4.3 Balance hídrico del área de cultivo	35
4.3.1 Balance hídrico diario	35
4.3.2 Balance hídrico decadal	36
4.4 Crecimiento de las raíces del tabaco	36
4.5 Determinación del coeficiente empírico del cultivo Kc	37
4.6 Determinación de las variables de cosecha	39

5. CONCLUSIONES	42
6. RECOMENDACIONES	43
7. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	44
ANEXOS	45

**LISTA DE ANEXOS**

	Pag.
Anexo A	46
Anexo B	47
Anexo C	48
Anexo D	49
Anexo E	50
Anexo F	54
Anexo G	58
Anexo H	60

## RESUMEN

Se seleccionó un área experimental de 3.5 ha en el Centro Agropecuario la Angostura – SENA, en un suelo Typic Troorthent, localizada al sur del municipio de Campoalegre (Huila) cuyo clima es calido seco, con el propósito de estimar los requerimientos hídricos en el cultivo de Tabaco, variedad Gold 371, para cada una de sus fases fenológicas.

El periodo experimental transcurrió entre octubre de 2006 y enero del 2007 para un total de 110 días del ciclo de cultivo. La metodología incluyo el levantamiento topográfico del área, la adecuación del terreno para el riego por surcos y el drenaje superficial, el estudio físico - químico del suelo, la instalación de una estación básica para el balance hídrico y la colocación de tensiómetros a 10 y 20 cm de profundidad del suelo para el seguimiento de la humedad. Se realizaron lecturas diarias de los tensiómetros en Cb y se llevaron a porcentaje de humedad gravimétrica, mediante las curvas de calibración características para el suelo estudiado. Se establecieron los balances hídricos diarios y decadales; finalmente se evaluaron las graficas obtenidas de los balances hídricos y los tensiómetros para la estimación de la evapotranspiración real, la evaporación registrada en el tanque clase A y obtener el coeficiente empírico de cultivo.

La evapotranspiración real del tabaco fue de 405.12 mm y los coeficientes Kc para cada fase del cultivo fue: Crecimiento lento 0.66, crecimiento rápido 0.83, floración 0.92 y maduración 0.87.

## SUMMARY

An experimental area of 3.5 Ha was selected in the Agricultural Center the Angosture - SENA, in a Typic soil Troportent, located to the south of the municipality of Campoalegre (Huila) whose climate is warm dry, with the purpose of estimating the hídrics requirements in the cultivation of Tobacco, variety Gold 371, for each one of its fenológicas phases .

The experimental period lapsed between October of 2006 and January of 2007 for a total of 110 days of the cultivation cycle. The methodology includes the topographical rising of the area, the adaptation of the land for the watering for furrows and the superficial drainage, the physicochemical study of the soil, the installation of a basic station for the hidric balance and the placement of tensiómeters to 10 and 20 cm of depth of the land for the pursuit of the humidity. They were carried out daily readings of the tensiómeters in Cb and they were taken to percentage of gravimetric humidity, by means of the characteristic calibration curves for the land studied. The daily and decadals hidrics balances get down; finally the graphs obtained of the hidrics balances and the tensiómeters were evaluated for the estimate of the real evapotranspiración, the evaporation registered in the tank class A and to obtain the empiric coefficient of cultivation.

The real evapotranspiración of the tobacco was of 405.12 mm and the Kc coefficients for each phase of the cultivation was: Slow growth 0.66, quick growth 0.83, floración 0.92 and maturation 0.87.

## 1. INTRODUCCION

El Grupo de Investigación Hidroingeniería y Desarrollo Agropecuario – GHIDA de la Universidad Surcolombiana formula la presente investigación debido a la problemática relacionada con el manejo del cultivo de tabaco en el departamento del Huila, que afecta los recursos suelo-agua y tendiente a conocer las demandas hídricas del cultivo. Para tal fin se establece la alianza Universidad Surcolombiana - Protabaco S. A. y SENA.

La propuesta es aprobada por la Vicerrectoría de Investigación de la USCO, quien finalmente asigna recursos por cuantía de doce millones de pesos para su ejecución.

Protabaco S.A. y el Sena a través de actividades en Convenio vienen desarrollando desde el año 2004, acciones de investigación aplicada en el Centro Agropecuario la Angostura del Sena, con el fin de evaluar los aspectos agronómicos del cultivo de tabaco tales como el uso de los fertilizantes, eficiencia de agroquímicos, rendimientos de tipo de semillas, etc.

La presente investigación tiene como propósito evaluar y estimar el uso eficiente del agua y los requerimientos hídricos del cultivo de tabaco en el municipio de Campoalegre, departamento del Huila. Asociado a estos propósitos se determinan algunos parámetros de diseño de riego y se dan pautas para el manejo eficiente del agua.

Para el cumplimiento de los logros se establece la metodología a través del seguimiento de humedad en el área de cultivo utilizando tensiómetros y verificaciones constantes de la humedad gravimétrica del suelo, lo mismo que el balance hídrico diario incorporando las variables climáticas (precipitación y evaporación).

Los resultados obtenidos se consideran válidos para el periodo húmedo evaluado, condiciones privilegiadas en la temporada de la actual investigación; sin embargo, deberá continuarse con evaluaciones sucesivas durante periodos secos y húmedos hasta tener la información suficiente que permita validar con un alto nivel de confianza el coeficiente empírico del cultivo Kc en tabaco.

## 2. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1 Características generales del cultivo de tabaco

El tabaco es una planta originaria de América y se difundió por otros países. Se produce en más de 125 países, de todos los continentes, en la mayoría de los climas, excepto en los muy fríos y es atractivo para los agricultores porque les proporciona un buen flujo de caja. La mayoría de los productores son de países en desarrollo y casi todos participan en el mercado internacional del tabaco.

En Colombia como en muchos países el tabaco es un importante generador de empleo e ingresos para los agricultores; además es una alternativa atractiva en las zonas donde la condición agro climática favorece la implementación de este cultivo.

En Colombia se cultiva tanto el tabaco rubio como el negro; del primero se tiene tres tipos: el Virginia (flue cured), burley y el Virginia secado al aire (VICA). El tabaco rubio es acopiado por Coltabaco, Protabaco y Tabacos Rubios, a través de sus agencias locales utilizando contratos de producción estando orientado principalmente a la fabricación de cigarrillos suaves. Se produce principalmente en Santander, Norte de Boyacá, Santander del Norte, Tolima y Huila y se esta ampliando en el Quindío, Valle del Cauca y Nariño. Los mayores productores, que son aproximadamente el 50 % son arrendatarios que tienden crecer frente a los productores propietarios, debido a la creciente inseguridad rural y a las exigencias del cultivo en inversión y administración (Encuesta Nacional agropecuaria 2003).

La industria colombiana de cigarrillos viene configurándose de acuerdo a los patrones mundiales, el grado de concentración es cada vez mayor, la tecnología utilizada es equivalente a la usada en cualquier parte del mundo y viene a fortalecerse por la presencia de grandes multinacionales: BAT y Phillip Morris.

La producción de cigarrillos de tabaco rubio se ha incrementado desplazando a los cigarrillos de tabaco negro, dicha producción es absorbida por el mayor consumo nacional y las exportaciones cuyo principal destino (82%) son los Estados Unidos (Encuesta Nacional agropecuaria 2003).

En la encuesta Nacional agropecuaria se registraron un total de 14.245 has cosechadas en tabaco, distribuidas en 10 departamentos, en donde en Santander se concentra el 53.98% del total de hectáreas, equivalente a 7.690 has, seguido por el departamento del Huila el cual contiene el 15.37% del área cosechada, lo cual equivale a 2.190 has (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción de tabaco en Colombia

Departamento	Área (ha)	Producción (tn)	Materia Seca (tn)	Rendimiento (tn/ha)
Bolívar	1200	1800	1038	1.50
Boyacá	885	1393	630	1.57
Sucre	1600	4000	1745	1.50
Huila	2190	5296	215	2.42
Nariño	30	45	34	1.52
Quindío	140	224	232	1.60
Risaralda	50	80	83	1.60
Santander	7690	12478	4132	1.62
Tolima	300	450	29	1.50
Valle	160	230	72	1.44
<b>Total Nacional</b>	<b>14245</b>	<b>24396</b>	<b>8483</b>	<b>1.71</b>

Fuente: Encuesta Nacional Agropecuaria, 2003.

De las 14.245 has cosechadas, 5.395 has pertenecen a tabaco negro y 8.850 a tabaco rubio; de igual forma la producción de tabaco negro.

En el mundo se producen anualmente alrededor de 5,6 millones de toneladas de tabaco. El liderazgo productivo lo tiene China con poco menos del 40%, a la que le siguen India, Brasil, EE.UU, Zimbabue e Indonesia, que en conjunto concentran el 70% de la producción mundial. Cerca de la tercera parte del tabaco cosechado se comercializa internacionalmente, siendo Brasil el principal exportador con aproximadamente el 20% del mercado (Encuesta Nacional agropecuaria 2003).

## 2.2 Taxonomía y Morfología del tabaco

El tabaco pertenece a la familia Solanácea, género Nicotiana el cual comprende tres subgrupos y catorce secciones de más de 65 especies entre los cuales se destacan: Nicotiana Rústica y la Nicotiana Tabacum. El tabaco (Nicotiana tabacum) sobresale el genero virginia donde provienen los tabacos rubios.

El tabaco es una planta dicotiledónea y vivaz, que rebrota al cortarse. Suele cultivarse como planta anual, aunque en los climas de origen puede durar varios años, pudiendo alcanzar el tallo hasta dos metros de altura ([www.infoAgro.com](http://www.infoAgro.com)).

Hojas: son lanceoladas, alternas, sentadas o pecioladas.

Flores: hermafroditas, frecuentemente regulares.

Corola: en forma de tubo más o menos hinchado, terminado por un limbo con 5 lóbulos.

Raíces: el sistema radicular es penetrante, aunque la mayoría de las raíces finas se encuentran en el horizonte más fértil.

Fruto: cápsula recubierta por un cáliz persistente, que se abre en su vértice por dos valvas bífidas.

Semillas: son numerosas, pequeñas y con tegumentos de relieves sinuosos más o menos acentuados.

### **2.3 Requerimientos Edafoclimáticos del tabaco**

Fotoperíodo: Es una planta de día corto, aunque existen cultivos indiferentes a la duración del día (Doorenbos y Kassam, 1979).

Altitud: 0 a 600 m (Benacchio, 1882) y 0 a 200 m (Barrera y Deloach, 1970).

Precipitación (Agua): El cultivo requiere mucha humedad al principio y en la parte media del ciclo vegetativo. Es recomendable la utilización de riego para el cultivo del tabaco, ya que las variaciones de humedad que impliquen sequía o anegamiento, pueden dañar la calidad y composición química del tabaco.

Humedad ambiental: Una humedad atmosférica de moderada a alta es favorable para el cultivo, ya que si el ambiente es seco afecta la calidad del tabaco. Por eso no es conveniente cultivar el tabaco en zonas semiáridas, aunque se disponga de riego (Benacchio, 1982).

Temperatura: El cultivo es sensible a la ocurrencia de heladas y que posee un rango térmico para desarrollo de 15 a 35°C, con un óptimo entre 20 y 30°C (Doorenbos y Kassam, 1979). La temperatura mínima debe ser mayor que 14°C y la óptima para germinación es de 31°C, y la óptima para crecimiento es de 24-28°C. Las altas temperaturas favorecen la formación de hojas anchas, delgadas y de gran tamaño, también impiden el desarrollo de nevaduras. Oscilaciones térmicas diarias amplias no son favorables para la obtención de tabaco de buena calidad (Benacchio, 1982).

Luz: Alta intensidad de luz reduce el tamaño de las hojas y aumenta su espesor, debido a esa razón, los tabacos utilizados para cobertura de cigarros se cultivan en climas cálidos, húmedos y bajo sombra (Benacchio, 1982). Los demás tipos de tabaco, sin embargo requieren de ambientes soleados (FAO, 1994).

Viento: No es conveniente el cultivo del tabaco en zonas con alta velocidad de viento, debido al daño que puede causar a las hojas (Benacchio, 1982). Vientos fuertes producen roturas perjudiciales en las hojas (Gispert y Prats, 1985).

Textura de suelo: La calidad de la hoja depende de la textura del suelo (Doorenbos y Kassam, 1979). En términos generales el tabaco se desarrolla adecuadamente en suelos con textura de media a ligera (FAO, 1994). En general los suelos pesados y fértiles tienden a producir tabaco de pobre calidad, mientras los suelos livianos producen tabacos de mejor calidad.

Profundidad del suelo: Requiere suelos de mediana profundidad (FAO, 1994), de entre 50 y 70 cm. Normalmente el 75% de la absorción de agua se produce en la primera capa de 0.3 m y la restante en los primeros 0.5 a 1.0 m (Doorenbos y Kassam, 1979).

Salinidad: Para tabaco se considera un suelo salino cuando la conductividad eléctrica es de 0.30 mmhos/cm. Esta especie puede crecer a mayores niveles de C.E. pero las hojas se producen sin calidad (Barrera y Llanos, 1979). Es ligeramente tolerante a la salinidad (FAO, 1994). Los suelos salinos dañan la calidad de la hoja (Doorenbos y Kassam, 1979).

pH: Se desarrolla en suelos con pH entre 5.0 y 7.5, y es óptimo un pH de 6.0 (FAO, 1994). Prefiere suelos ligeramente ácidos, sin embargo el pH no debería estar por debajo de 4.5. Desarrolla y produce bien en un rango de 5.5 a 6.5. No tolera suelos alcalinos (Benacchio, 1982). Requiere suelos ligeramente ácidos con un pH entre 5.0 y 6.0 (Ochse *et al.*, 1991; Barrera y Deloach, 1970). No son apropiados suelos con un pH inferior a 5.8 (Barrera y Llanos, 1979).

Drenaje: Se requieren suelos con buena aireación y drenaje (Ochse *et al.*, 1991), pero con una regular retención de humedad (Barrera y Deloach, 1970).

## **2.4 Período de crecimiento y desarrollo de la planta**

En el cultivo de tabaco se han diferenciado las siguientes fases: Germinación y afianzamiento de la plántula: 40 días, crecimiento lento de 0 a 35 días, crecimiento rápido de 30 a 65 días, floración de 15 a 20 días y maduración de 65 a 120 días.

Del buen establecimiento del cultivo de tabaco depende el éxito de obtener elevados rendimientos en las cosechas, lo que determina que es necesario realizar una buena adecuación y preparación del suelo. Es también importante planificar que labores preliminares hay que realizar para lograr y cumplir los objetivos de la labranza.

## **2.5 Métodos para determinar la evapotranspiración potencial**

La evapotranspiración potencial de referencia (Eto) en mm/día, fue definida por Doorenbos y Pruitt (FAO, 1975) como "La tasa de evaporación en 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 sufre de

escasez de agua". Existen varios métodos directos e indirectos para determinar la evapotranspiración potencial. Los más comúnmente aplicados son los métodos del Lisímetro, tanque Evaporímetro y métodos empíricos entre otros. Por la aplicación del tanque Evaporímetro en la presente investigación, se hará referencia exclusiva a este método.

2.5.1 Método del tanque Evaporímetro. Este método consiste en encontrar una relación entre la tasa de evapotranspiración producida en un Lisímetro y la tasa de evaporación producida en un tanque de evaporación clase A, en base al cual se determina un coeficiente empírico con el que se puede efectuar luego las lecturas de evaporación y obtener indirectamente la evapotranspiración potencial para condiciones ambientales específicos.

Múltiples estudios han demostrado que la evaporación en el tanque, integra apropiadamente las variables climáticas de temperatura, radiación solar, humedad relativa y las características del viento del sector, que son los elementos de los cuales depende en mayor grado la evapotranspiración de los cultivos (Tosso y Ferreyra, 1988)

El tanque de evaporación corresponde a un recipiente cilíndrico de 0.8 mm de espesor, con un diámetro de 120 cm y una altura de 24.5 cm. la estructura se instala sobre apoyos de madera a 15 cm por encima del suelo, el espacio que queda bajo los apoyos debe llenarse con tierra, de tal manera que quede un espacio libre de solo 5 cm bajo el fondo del tanque. El recipiente se llena de agua limpia dejando un borde que oscila entre 5 y 7.5 cm y se rellena cada 24 horas utilizando envases de 0.1 y un litro. Cabe destacar que un litro equivale a un milímetro de evaporación de la bandeja (Ortega y Acevedo, 1999).

La evaporación que se mide en la bandeja acontece en un tanque de superficie libre y evapora directamente desde la superficie a la atmósfera. Sin embargo, las plantas ejercen cierto grado de control sobre la pérdida de agua, por medio del mecanismo de apertura y cierre estomático. Por lo tanto, para asemejar la evaporación de bandeja a la de los cultivos, se requiere de un factor. Este factor de bandeja ( $K_p$ ) depende principalmente de las características del viento del sector, además de otra serie de factores como humedad relativa y ubicación de la bandeja respecto a zonas con vegetación o sectores de barbecho. El coeficiente  $K_p$  se aplica dependiendo de los diferentes factores que afectan la medición de la evaporación en la bandeja clase A (anexo G).

## 2.6 Coeficiente de cultivo ( $K_c$ )

En términos generales, el agua requerida por los cultivos, es equivalente a la tasa de evapotranspiración necesaria para sostener un óptimo crecimiento de la planta. Más aún, el agua requerida es definida como la tasa de evapotranspiración de un cultivo libre de enfermedades, en una superficie no menor que una hectárea bajo óptimas condiciones de suelo, se asume fertilidad adecuada, agua para alcanzar la

máxima producción potencial bajo las condiciones predominantes del medio ambiente (FAO, 1976).

La precisión de la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos es ampliamente dependiente del tipo de clima y del método de riego elegido para estimar la evapotranspiración. Este factor se utiliza para determinar la evapotranspiración real del cultivo. El coeficiente de cultivo depende de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de cada especie y expresa la capacidad de la planta para extraer el agua del suelo en las distintas etapas del período vegetativo.

El coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección. En los cultivos como el tabaco normalmente se diferencian 4 etapas o fases de cultivo (figura 1).

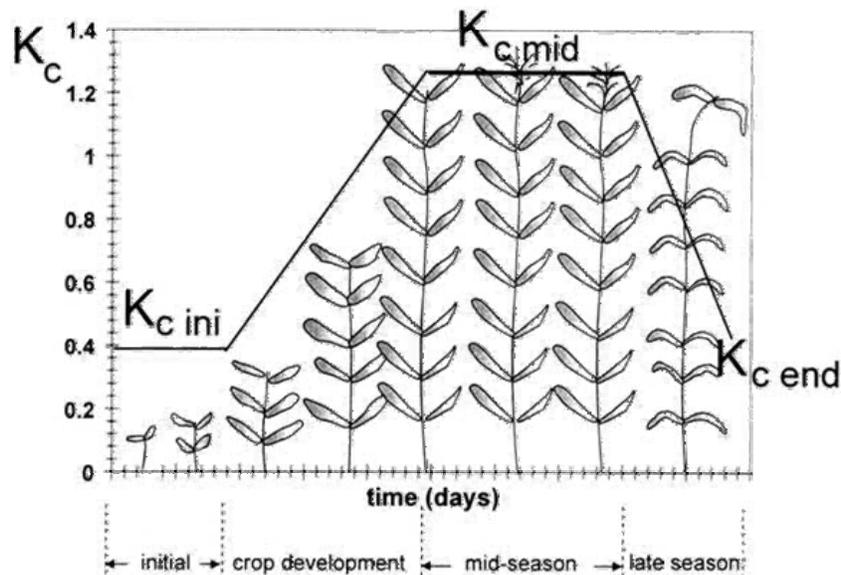


Figura 1. Coeficiente de cultivo ( $K_c$ ). Fuente FAO, 2001.

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

En la figura anterior,  $K_c$  comienza siendo pequeño y aumenta a medida que la planta cubre más el suelo. Los valores máximos de  $K_c$  se alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrece durante la fase de

maduración. Para el Tabaco, los coeficientes de cultivo suelen venir expresados por meses y usualmente en función del grado de cobertura del suelo.

El coeficiente de cultivo  $K_c$  relacionado con los requerimientos de agua ( $ET_m$ ) y la Evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ), da como resultado valores para las diferentes fases de desarrollo: inicial 0.3-0.4 (10 días), desarrollo 0.7-0.8 (20 a 30 días), estación media 1.0-1.2 (30 a 35 días), estación tardía 0.9-1.0 (30 a 40 días) y cosecha 0.75-0.85.

## 2.7 Requerimientos Hídricos del Cultivo de Tabaco

Uno de los elementos de suma importancia para la determinación de la cantidad de agua a aplicar a la planta lo constituye la evapotranspiración del cultivo, ésta no es más que la transpiración por parte de la planta y la evaporación desde la superficie del suelo que incluye el agua de constitución. La misma se encuentra influenciada por el clima, el suelo, la planta, la filotecnia y técnica de riego empleada.

Muchos autores, han realizado estudios del régimen de riego en semilleros y en plantación. Generalmente plantean que en los semilleros la etapa más crítica es la que corresponde a los primeros 15 días posteriores a la siembra, en esta etapa deben efectuarse riegos diarios con dosis pequeñas, pues la superficie del suelo debe estar lo suficientemente húmeda para lograr una buena germinación de las semillas (Guzmán, 1983).

En la fase de plantación el tabaco no requiere mucha agua y cuando se le suministre se hará como una verdadera necesidad, pues la experiencia ha demostrado que es preferible que las plantas estén un poco faltas de agua a que crezcan con extremada lozanía por haber sido regadas excesivamente. En esto se requiere una adecuada programación del riego, pues muy frecuentemente dañan el cultivo; también cuando ocurre un déficit de agua

Durante la mitad del ciclo vegetativo, se reduce el desarrollo vegetativo, las hojas son más pequeñas y disminuyen los requerimientos de agua del cultivo en su fase final (Todoroski, 1975).

Se plantea por Carorenuto (1981), que las exigencias hídricas del tabaco representa una problemática bastante amplia y siempre actual, por lo que el tabaco mantiene su potencialidad productiva por efecto del agua, si la humedad es mantenida constantemente en un nivel superior al 50 % del agua útil, o con una humedad inferior, causa en la planta problemas en su desarrollo a consecuencia de los síntomas del estrés hídrico, a su vez, el periodo de máximo requerimiento de agua del tabaco se encuentra entre los 50 - 70 días después del trasplante.

Investigaciones han demostrado que los cultivos agrícolas consumen el agua durante un periodo de tiempo que se conoce como periodo o ciclo vegetativo, a través del cual se suceden varias fases de su desarrollo, esto presupone que el

agua de riego debe suministrarse paulatinamente durante un periodo más o menos largo donde se satisfacen las necesidades hídricas de cada fase.

Juan (1976) para el riego del tabaco Virginia, recomienda como norma de riego volúmenes de agua comprendidos entre 110 y 254 m<sup>3</sup>/ha y el número de riegos oscila entre 6 y 8. Miles (1965), señala que el tabaco tipo Virginia, responde al riego con un aumento significativo del rendimiento y la producción, en comparación con el tabaco no irrigado.

Juan (1985), indica que las normas parciales de las variedades Hicks 187, Virginia 315 y Speight G-28 oscilan entre 100 y 150 m<sup>3</sup>/ha; el número de riegos es normalmente de 6 a 8 y que para el Pelo de Oro de acuerdo a las exigencias de la industria y a las características de esta variedad, las normas son de 140 – 320 m<sup>3</sup>/ha y el número de riegos de 5 -6.

Investigaciones de la FAO (1995) sobre las demandas hídricas del tabaco determinaron un Kc promedio para cada una de las fases, usando el método de Blanney y Criddle, cuyos resultados fueron influenciados por el clima y en particular por la humedad relativa y del viento. Los valores que se encontraron deben ser modificados o reducidos en 0.05 si la humedad relativa es alta (HR > 80%) y la velocidad del viento baja (2 m/s). Los valores de Kc en sus diferentes etapas fueron: inicial 0.35, crecimiento 0.75, media estación 1.10 y estación tardía 0.90.

La evapotranspiración (ET<sub>m</sub>) para los rendimientos máximos en el cultivo de tabaco varía de 400 a 600 mm (FAOSTAT, 2001), dependiendo del clima y las etapas fenológicas del cultivo. Durante las primeras semanas después de la emergencia en el semillero, las plántulas requieren de 3 a 5 litros/m<sup>2</sup> diarios. Al finalizar el periodo del semillero (30 a 40 días) las plántulas deben recibir menos agua para alcanzar más robustez. En el período de crecimiento rápido, el agua debe proporcionarse con alta frecuencia. Durante el período de formación del cultivo es suficiente aplicar una lámina de mantenimiento para obtener rendimientos significativos y de alta calidad.

Según estas características el período de máxima exigencia hídrica ocurre de 50 a 70 días después del trasplante y se finaliza con una disminución en los requerimientos de agua.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización del sitio

El área experimental tiene una extensión de 3.5 ha y se localiza en el Centro Agropecuario la Angostura (SENA) municipio de Campoalegre, en el kilómetro siete de la vía Campoalegre – Hobo (figura 2).

#### 3.2 Características del suelo

El estudio de suelos se hizo con anticipación a las labores de preparación, adecuación y siembra del área experimental. Se hizo un muestreo espacial en zig-zag siguiendo la metodología del IGAC para toma de muestra representativa y en profundidad a través de la observación y el muestreo por horizontes constitutivos del perfil del suelo en apique. Las muestras fueron sometidas a análisis físicos y químicos en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Surcolombiana.

3.2.1 Características Físicas. En el área de estudio se realizó una (1) calicata de 1.50 m de profundidad con área superficial de (1.0 x 1.0) m<sup>2</sup>, para identificar y caracterizar cada uno de los horizontes del suelo. Se hizo la descripción de los horizontes del suelo para diferenciar las características del perfil (anexo A).

Se tomaron muestras de cada horizonte del suelo y se llevaron algunas de estas al Laboratorio para determinar características físicas e hidrodinámicas como textura (Bouyoucos), densidad aparente (Terrón Parafinado), humedad del suelo (gravimetría), capacidad de campo, punto y marchitez permanente (olla y plato de presión) y curva de retención de humedad. Se midió la infiltración en campo (anillos infiltrómetros) y se aplicó el modelo de Kostiakov, también se midió la conductividad hidráulica (pozo barrenado invertido) aplicando la aproximación de Porche (Anexos B y C).

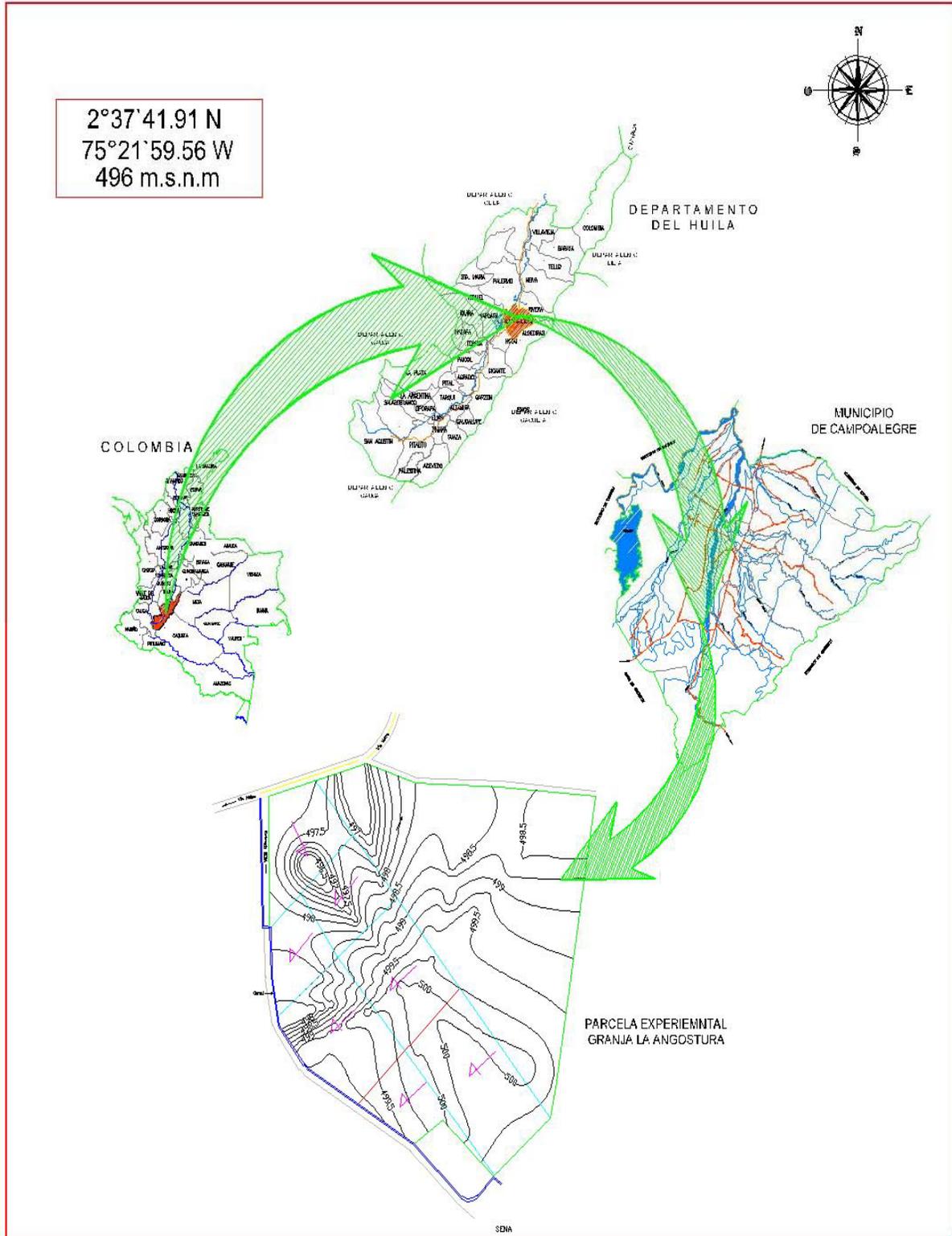


Figura 2. Localización del área experimental en el Centro Agropecuario la Angostura, Municipio de Campoalegre – Huila.

3.2.2 Características Químicas. Para la caracterización del suelo se realizó inicialmente un reconocimiento del área, demarcando zonas homogéneas por condiciones de relieve, color, drenaje y vegetación presente. Una vez cumplido con el reconocimiento, se tomaron 16 submuestras en zig-zag a lo largo y ancho del área, empleando la metodología recomendada por el IGAC, 1985. Las variables analizadas fueron pH, CIC, materia orgánica, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio y elementos menores, presentado como resultados.

### 3.3 Levantamiento plani-altimétrico del área

Se hizo el levantamiento topográfico planimétrico y altimétrico del área experimental, con diferencia de cotas cada 0.25 m. Con estos datos, se hizo el trazado y diseño del riego por surcos teniendo en cuenta la dirección y las pendientes de estos, tratando en lo posible de orientar los surcos en la dirección de recorrido del sol; posteriormente se trazaron las acequias de riego y de drenaje (Figura 3).

### 3.4 Determinación de los parámetros para riego por surcos

A partir de la información recolectada en las pruebas de campo, se estimaron los parámetros de diseño para el trazado y posterior aplicación del riego por surcos a la plantación del cultivo de tabaco, buscando alcanzar eficiencias adecuadas de riego y buen manejo de los recursos suelo-agua.

Para la determinación de los parámetros de riego por surcos, se hicieron pruebas “*in situ*” de avance, almacenamiento y recesión de agua en longitud de 100 metros, con un ancho entre surcos de 1.20 m (Fotos 1 y 2).

En las pruebas de campo se utilizaron tres (3) surcos: uno con un caudal máximo no erosivo que depende de la pendiente del terreno, otro con un caudal por encima del caudal máximo no erosivo y uno último con un caudal por debajo del caudal máximo no erosivo. Para la medición y control de caudales, se usaron sifones de PVC y canaletas aforadoras tipo WSC (Fotos 3 y 4).

El trazado de los surcos, de los canales y acequias, se hizo conforme al plano topográfico y posteriormente se hizo replanteo en campo. El área experimental tiene 3.5 hectáreas y consta de un área útil para el establecimiento del cultivo, además de un área para vías de acceso utilizadas en las labores de mecanización y recolección del cultivo. En el trazado de los canales, se observaron tramos cuya pendiente excedía la velocidad permisible que causa erosión, por lo cual se hizo rectificación de la sección y se minimizó su efecto mediante la ubicación de tulas con arena para disminuir la velocidad del agua (Fotos 5 y 6).

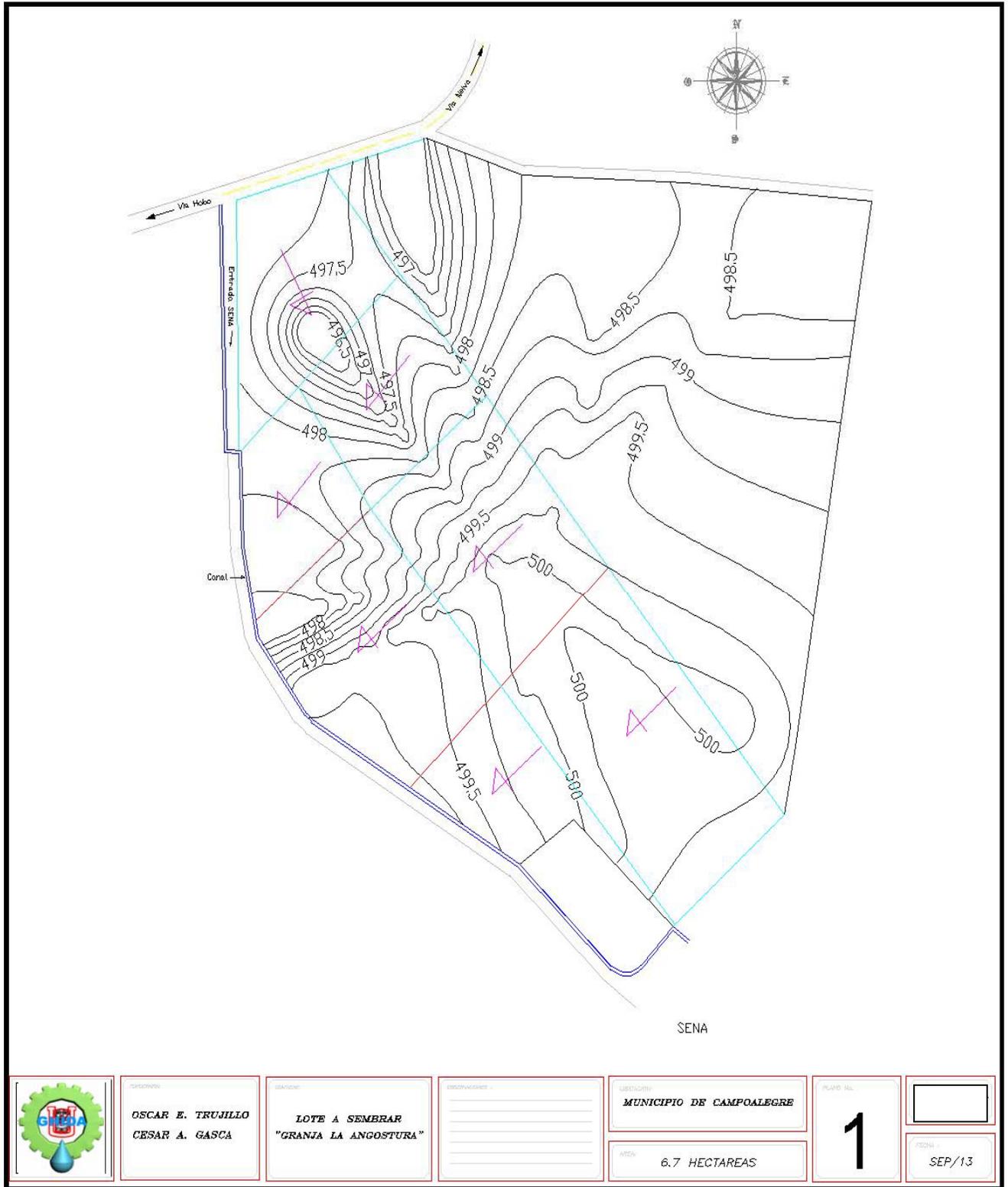


Figura 3. Topografía planimétrica y altimétrica del área experimental.



Foto 1. Aporcadora-surcadora



Foto 2. Surcos trazados

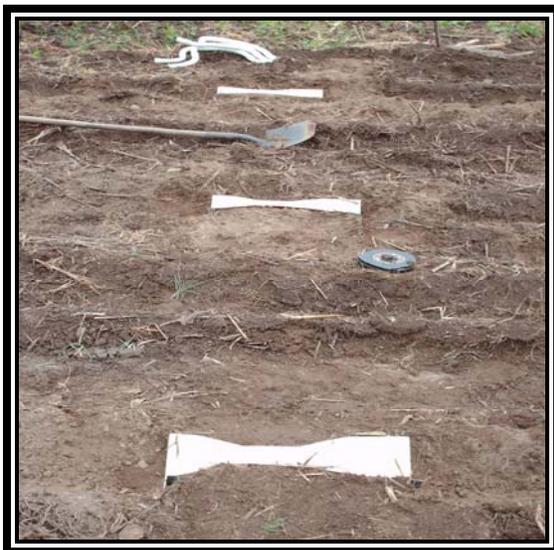


Foto 3. Ubicación de canaletas



Foto 4. Medición en canaleta WSC



Foto 5. Trazado de surcos



Foto 6. Trazado de canales.

### 3.5 Establecimiento del semillero.

Para el establecimiento del semillero se utilizó la técnica de las bandejas flotantes, estas se nivelaron con cascarilla de arroz, que a su vez se emplearon como medio de protección para el plástico. Las piscinas se bordearon con ladrillo para mantener el nivel del agua. El agua utilizada se neutralizó y se monitoreo su dureza la cual se corrigió (fotos 7 y 8).



Foto 7. Nivelación de las piscinas



Foto 8. Llenado de piscina

Las piscinas son monitoreadas diariamente y se controlan los niveles de agua. El sustrato se mezcló con agua y se homogenizó a un punto ideal para llenar los

alvéolos de la bandeja. Llenas las bandejas con el sustrato correspondiente se llevaron a las piscinas y se ubicaron en el lugar correspondiente (fotos 9 y 10).



Foto 9 Llenado de las bandejas



Foto 10. Ubicación de las bandejas

Puesta las bandejas en la piscina, se aplicó la semilla de variedad Gold 371 y se forro el semillero con polisombra (fotos11 y 12).



Foto 11. Aplicación de la semilla



Foto 12. Colocación de la polisombra

### 3.6 Determinación del Kc

Para la determinación de la Evapotranspiración (E<sub>Tr</sub>) y el coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) de tabaco, se establecieron parcelas experimentales, las cuales se les hizo seguimiento controlado y se midió la humedad del suelo y las variables incluidas en el balance hídrico (anexo D).

Se hizo la identificación de cada una de las fases fenológicas de la plantación y se determinaron los valores correspondientes a las necesidades hídricas del cultivo de tabaco. Para la determinación de la evapotranspiración diaria del cultivo, se instaló un tanque evaporímetro Clase A y para los registros de precipitación un pluviómetro tipo Hellman. El área que ocupan los equipos se cercó y se sembró con pasto manteniendo bajo porte y con suministro permanente de humedad (Fotos 13 y 14).



Foto 13. Tanque Evaporímetro Clase A



Foto 14. Pluviómetro tipo Hellman

Se tomaron muestras de suelo periódicas para determinar el porcentaje de humedad gravimétrica. La energía del agua en el suelo se midió con tensiómetro, como instrumento de medida directa del esfuerzo que realizan las raíces para extraer la humedad.

En el área se instalaron seis (6) tensiómetros ubicados estratégicamente a lo largo y ancho del área de estudio. Tres se ubicaron a una profundidad de 10 centímetros y los tres restantes a una profundidad de 20 centímetros (fotos 15 y 16). Estos tensiómetros fueron leídos diariamente y se registró su valor en un formato de tensión.

Con los valores de tensión, humedad del suelo, capacidad de campo y punto de marchitez permanente se trazaron las curvas de calibración de humedad del suelo con el fin de establecer un patrón de calibración adecuado para el estudio.

Se registró el valor de las variables precipitación, evaporación y humedad del suelo obtenidas diariamente en el área experimental, las cuales se organizaron por décadas en los formatos elaborados con el propósito de posteriormente hacer los balances hídricos (anexo F).



Foto 15. Ubicación de los tensiómetros



Foto 16. Tensiómetro

Luego de los ajustes y análisis de los balances hídricos diarios se obtuvo la Evapotranspiración real decadal y con estos valores se determinó el factor empírico del cultivo  $K_c$  para el tabaco mediante la metodología FAO (tanque Evaporímetro).

El coeficiente del cultivo  $K_c$  se calculó mediante la ecuación:  $K_c = ETR / E_v$ . La ETR (Evapotranspiración real) se determinó mediante la correlación de las variables de los balances hídricos y los contenidos de humedad diarios del suelo. La ecuación utilizada fue:

$$ETR = \Delta\omega + (P + R) - p_e$$

Donde:

$\Delta\omega$  es la diferencia entre la humedad inicial y final del suelo (mm)

P es la precipitación diaria (mm)

R es el Riego (mm)

$p_e$  son las pérdidas por percolación y esorrentía (mm).

La variable  $E_v$  (Evaporación de referencia) se obtuvo a través de medidas en el tanque evaporímetro Clase A. Con los valores diarios obtenidos de ETR y  $E_v$  se convirtieron a valores decadales para una mejor comprensión de estos.

### 3.7 Determinación de las variables de cosecha

En la evaluación de rendimientos de biomasa en tabaco se hizo un muestreo al azar, a lo largo y ancho del área experimental. Se tomaron doce hojas de los cuatro pisos foliares: bajas, medias, alteras y coperas. Estas hojas se llevaron al laboratorio donde se midió el peso, la longitud, el ancho mayor y se determinó la relación vena-lámina. Posteriormente las hojas fueron colocadas al horno para secado durante 24 horas a temperatura constante de 70°C para obtener la

humedad en base húmeda. Las variables mencionadas fueron sometidas a un análisis estadístico y se correlacionaron para su evaluación, igualmente se estimaron los rendimientos de los cuatro pisos foliares (fotos 17 y 18).



Foto 17. Recolección de Hojas



Foto 18. Secado de hojas

## 4 ANALISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Análisis de las características del suelo.

4.1.1 Análisis físico del suelo. El perfil del suelo hasta una profundidad de 104 cm esta constituido por cuatro horizontes genéticos, clasificado como Typic Troprothent, cuyas características físicas muestran un horizonte A sepultado de color pardo oscuro, texturas dominantes gruesas, alta densidad del suelo y baja retención de humedad (cuadro 1).

Cuadro 1. Características Físicas de los horizontes del suelo

Horizonte Profundidad (cm)	Fracción (%)	Textura	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Color	Humedad gravimétrica (%)		
					Residual	0.3 bar	15 bar
A <sub>1</sub> 0 - 21	A : 73.15	Franco Arenoso	1.57	10YR5/3	5.00	22.40	10.81
	L: 9.28						
	Ar: 17.57						
A <sub>2</sub> C 21 - 49	A : 84.30	Arenoso Franco	1.60	10YR4/2	4.14	17.95	6.05
	L: 6.78						
	Ar: 8.92						
A <sub>3</sub> C 49 - 64	A : 91.15	Arenoso Franco	1.56	10YR4/3	6.80	18.80	6.57
	L: 4.28						
	Ar: 4.57						
C 64 - 104	A : 98.2	Arenosa	1.57	10YR7/3	1.00	7.72	1.92
	L: 0.8						
	Ar: 1.0						

Fuente: Laboratorio de Suelos - Universidad Surcolombiana, 2006.

Las propiedades físicas del área de estudio son ideales para el establecimiento y desarrollo del cultivo de tabaco, por cuanto esta constituido por texturas gruesas (franco arenoso y arenoso franco), posee buen drenaje interno, capacidad efectiva de aireación en la zona de raíces y una profundidad efectiva del suelo para el desarrollo de las raíces (49 cm).

4.1.2. Análisis químico del suelo. El análisis químico se hizo para el primer horizonte del suelo mostrando que es ligeramente ácido, con contenido medio de materia orgánica a causa de la incorporación de los residuos de cosecha y la rotación permanente de cultivos especialmente con Soya. La capacidad de intercambio catiónico indica la baja fertilidad del suelo (cuadro 2).

Cuadro 2. Propiedades químicas del suelo

PARAMETROS QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO
pH		6.06
Materia Orgánica (MO)	%	3.14
Nitrógeno (N)	%	0.16
C.I.C.	Cmol.kg <sup>-1</sup>	6.28
Fósforo (P)	ppm	58.26
Calcio (Ca)	Cmol.kg <sup>-1</sup>	4.52
Magnesio (Mg)	Cmol.kg <sup>-1</sup>	1.52
Sodio (Na)	Cmol.kg <sup>-1</sup>	0.11
Potasio (K)	Cmol.kg <sup>-1</sup>	0.14
Azufre (S)	ppm	15.86
Hierro (Fe)	ppm	44.75
Cobre (Cu)	ppm	1.79
Cinc (Zn)	ppm	2.95
Manganeso (Mn)	ppm	5.85
Boro (B)	ppm	0.74
Relación Ca/K		33.44
Relación Ca/Mg		2.97
Relación ( Ca +Mg )/K		44.70
Relación Mg/K		11.26

Fuente: Laboratorios Agrosoil Lab, 2006.

El pH característico de los suelos del área experimental esta en el rango óptimo (5.5 a 6.5), ya que las plantas de tabaco disminuyen sus rendimientos a pH por encima de 7, suelos alcalinos. La deficiencia de micronutrientes en estos suelos no es limitante para el establecimiento y manejo del cultivo de tabaco, y mediante prácticas adecuadas de fertilización se pueden lograr buenos rendimientos en la cosecha.

4.1.3 Retención de humedad del suelo. En el laboratorio de suelos se determinaron las características de retención de humedad a diversas tensiones para los cuatro horizontes del suelo. Por las características físicas asociadas a la tensión, se observa que el suelo posee baja retención de humedad lo que significa la exigencia de un mayor control en el suministro de agua a las plantas durante el ciclo vegetativo (cuadro 3).

Cuadro 3. Retención de humedad del suelo a diversas tensiones

Horizonte Profundidad (cm)	Tensión (bar)	Humedad (%)
H <sub>1</sub> (0 - 21)	0.1	22.40
	0.3	20.11
	1	13.51
	15	10.81
H <sub>2</sub> (21 - 49)	0.1	17.92
	0.3	10.83
	1	9.77
	15	6.05
H <sub>3</sub> (49 - 64)	0.1	18.80
	0.3	14.10
	1	10.33
	15	6.57
H <sub>4</sub> (64 - 104)	0.1	7.72
	0.3	3.28
	1	2.93
	15	1.92

La información de humedad junto a los análisis químicos fundamenta una base óptima para la implementación de los planes de riego y suministro de nutrientes al suelo. Durante el ciclo de cultivo se registraron precipitaciones altas y frecuentes dando lugar al anegamiento temporal del sector bajo del área experimental, no representando amenaza al cultivo por cuanto las características físicas del área facilitaron el drenaje interno del suelo.

En el presente estudio se dará importancia a los dos primeros horizontes del suelo, debido a la exploración radical efectiva del tabaco, no siendo superior a 40 cm de profundidad. En estos horizontes se observa, que las características de retención de humedad varían acorde con la textura del suelo, influenciado especialmente por los contenidos de arcilla; por tal motivo el primer horizonte de textura Franco arenosa tiene mayor retención de humedad en comparación con el segundo horizonte (AF). En el rango aprovechable de humedad para las plantas de tabaco no existe diferencia significativa mayor al 5% entre los dos primeros horizontes, mostrando niveles de retención de humedad del 12%, calificándose de media a baja (figura 4).

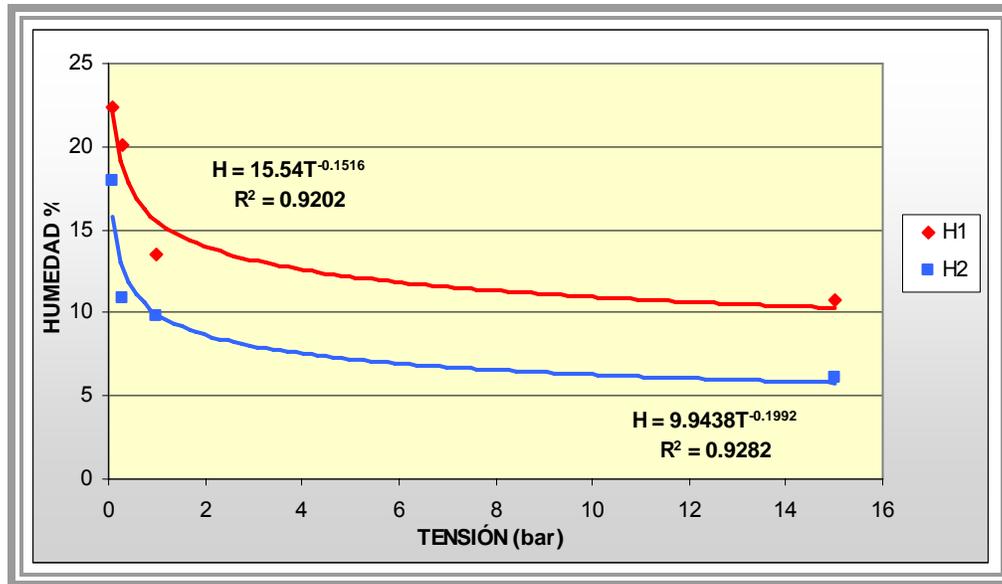


Figura 4. Curva retención de humedad del suelo

La retención de humedad en los dos primeros horizontes marca una tendencia propia y característica frente a las texturas identificadas en el perfil del suelo. Estas características del suelo se ajustan de manera adecuada a las necesidades fisiológicas de la planta cuyo régimen de humedad es bajo, puesto que estas especies son sensibles a condiciones de exceso de humedad edáfica.

De manera general, la tensión del agua en el suelo es inversamente proporcional a su contenido de humedad, significando que a medida que incrementa la tensión existirá menor disponibilidad de agua para la función vegetal. Con los valores de humedad y tensión medidos en campo se realizó la calibración de los tensiómetros ubicados a 10 y 20 cm de profundidad del suelo (figura 5).

En las graficas se observa la tendencia a una curva tipo de regresión de potencia, siendo el ajuste definido por el coeficiente de determinación, el cual resultó inferior al hallado en las curvas de retención obtenidas en muestras puestas en Laboratorio. Esto es debido a los diferentes factores que inciden en la toma de datos de campo y especialmente al mantenimiento de los tensiómetros.

En la tendencia de las pendientes de estas dos curvas, se observa que la retención de humedad del suelo es baja. También se muestra que el agua aprovechable del es bajo, debido a las texturas gruesas que presenta el suelo, siendo necesario reponer con mayor frecuencia el agua que se pierde en el área de cultivo.

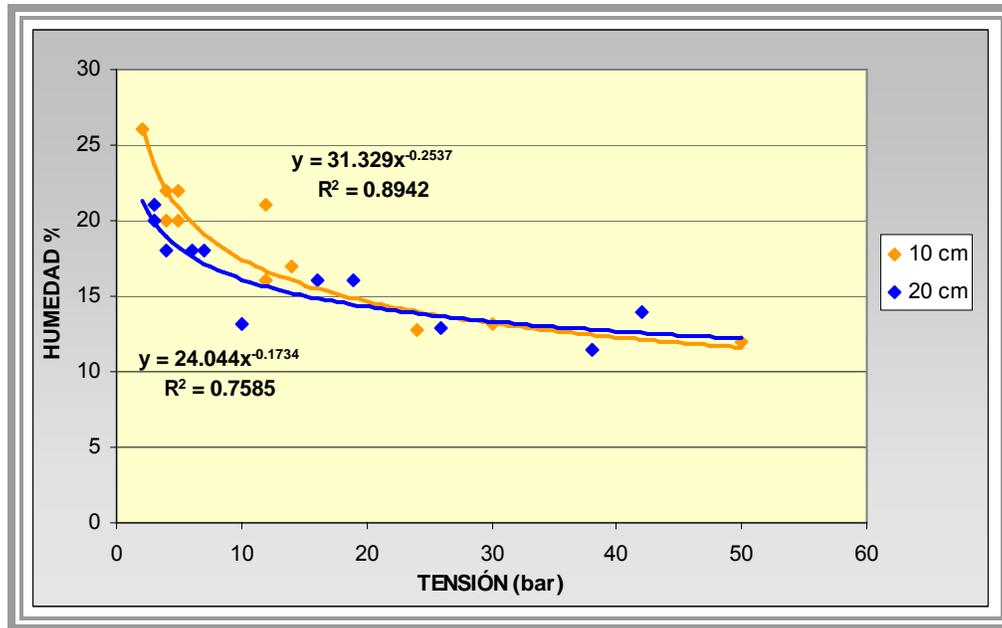


Figura 5. Curvas de retención de humedad calibradas con tensiómetros

## 4.2 Control de humedad del suelo

Los registros de humedad diaria del suelo a profundidades de 10 y 20 cm durante el ciclo vegetativo del cultivo, muestran la fluctuación de humedad por entradas y salidas de agua al sistema denominado área experimental del tabaco.

Comparando las graficas se observa que en los primeros 10 cm de profundidad el suelo pierde humedad con mayor rapidez, dando lugar a mayor fluctuación de la curva respecto a los 20 cm de profundidad del suelo. Esto es debido a la exposición directa de la superficie del suelo a la atmósfera, la cual ejerce un efecto Desecante sobre las superficies incrementando en los primeros centímetros el potencial mátrico (figuras 6 y 7).

Los puntos en la grafica por encima de la línea de capacidad de campo, equivalen al agua que escurre o percola a través de la macroporosidad del suelo, alcanzando el suelo el punto de saturación. Los puntos intermedios entre las líneas de capacidad de campo y punto de marchitez permanente corresponden a la humedad aprovechable por las raíces de las plantas de tabaco necesaria para sus procesos fisiológicos.

El tensiómetro ubicado a 20 cm de profundidad mostró una mayor regulación de la humedad asociada a menor afección por el clima externo del lugar, teniendo esta fracción de agua mayor importancia para el suministro y abastecimiento a la plantación. Obsérvese las caídas bruscas de la grafica, indicando que el poder desecante de la atmósfera, factor determinante en la tasa de evapotranspiración

del área agrícola, lleva los primeros 10 cm del suelo a puntos cercanos a la Marchitez permanente; mientras que los 20 cm siguientes mantenían un nivel de agotamiento del 50 al 60% para el mismo periodo analizado. Esto significa que existen reservas de agua en profundidad que garantizan el abastecimiento entre riegos o entre lluvias a la plantación.

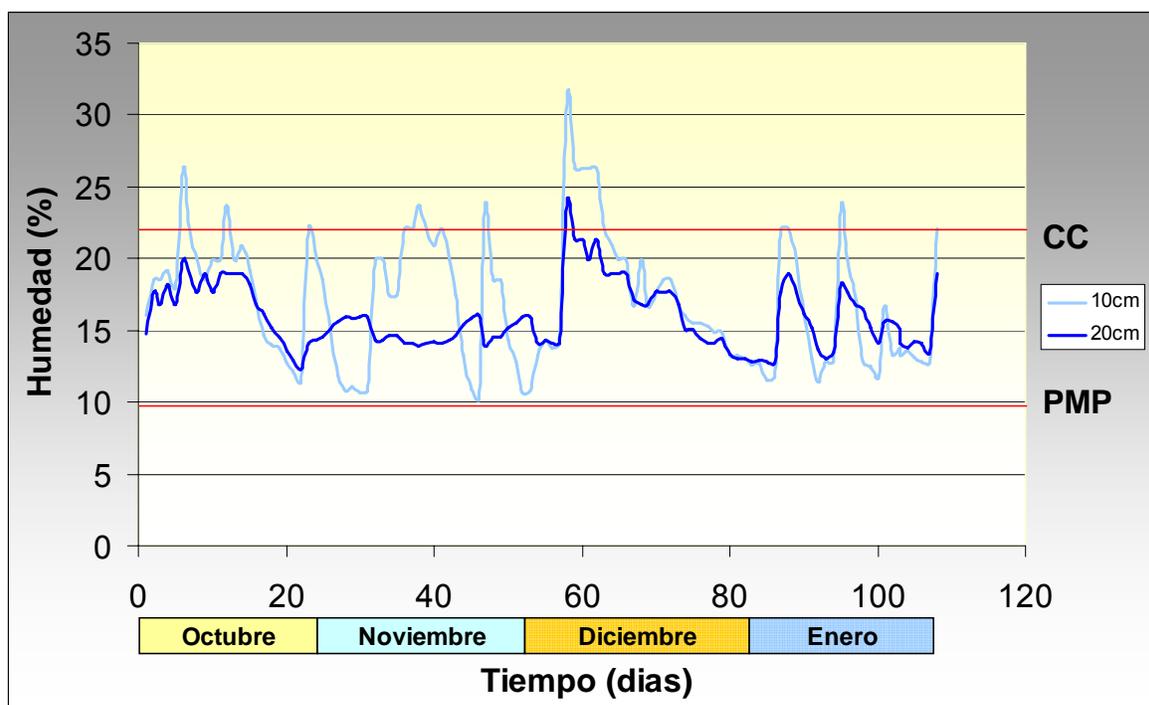


Figura 6. Registro de humedad en los tensiómetro de 10 y 20 cm de profundidad

### 4.3 Balance hídrico del área de cultivo

4.3.1 Balance Hídrico diario. En el análisis del balance hídrico se asociaron las variables precipitación – evaporación mostrando fluctuaciones desde 8 a 77 mm respectivamente durante el periodo agosto 2006 - enero 2007, perteneciente al periodo vegetativo de la plantación de tabaco (figura 8).

Se observa que durante los primeros 75 días después del trasplante, ocurrió un frecuente e intenso aporte hídrico a la plantación por precipitación en el área, considerándose de suma importancia aquellas fracciones superiores a 10 mm, para el abastecimiento al suelo. Se aplicó un bajo número de riegos al cultivo determinado por la alta frecuencia de lluvias durante el periodo vegetativo. El riego se incrementó en los últimos 30 días, durante el tiempo deficitario por ausencia de lluvias en el sector.

La evaporación diaria no presentó cambios bruscos durante el ciclo vegetativo del cultivo, alcanzando una evaporación media de 3.5 mm/día. De manera general, el

balance hídrico para el periodo de estudio muestra la dominancia del exceso sobre el déficit hídrico, a causa del año húmedo climático (fenómeno Niña).

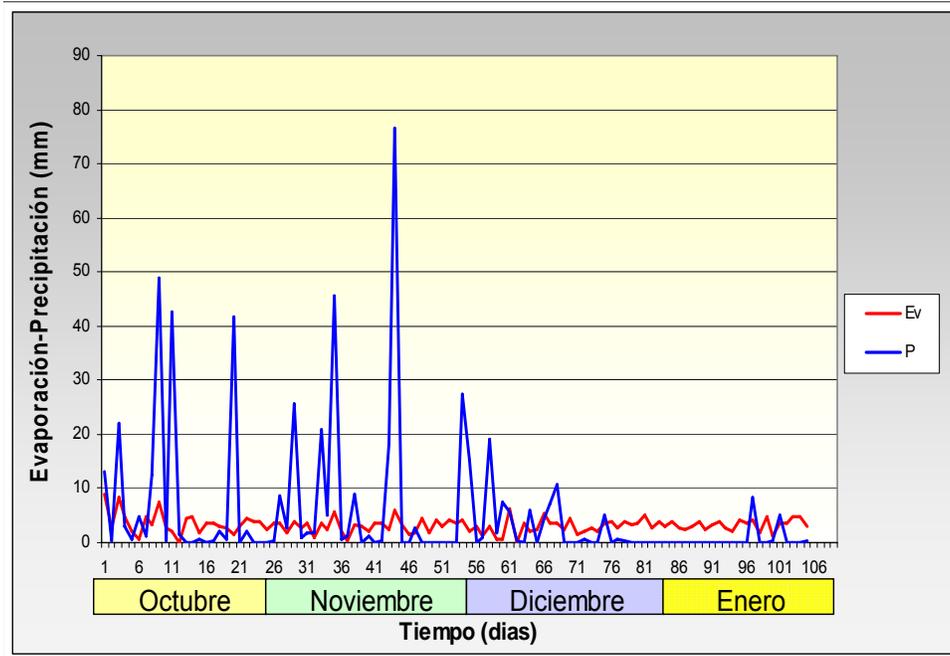


Figura 7. Balance Hídrico diario del cultivo de tabaco en Campoalegre.

4.3.2 Balance Hídrico decadal. El balance hídrico decadal permite observar con mayor claridad que la precipitación se mantuvo por encima de la evaporación desde el día 13 de octubre hasta el día 25 de diciembre. A partir del día 26 de diciembre hasta finalizar la recolección de las hojas de tabaco, la variable precipitación estuvo por debajo de la evaporación, dando lugar a la aplicación de riego para abastecer las necesidades hídricas de la plantación (figura 8).

#### 4.4 Crecimiento de las raíces del tabaco.

El seguimiento del crecimiento de las raíces de tabaco en Campoalegre, dio lugar al trazado gráfico, observándose un crecimiento rápido de raíces durante los primeros 40 días después del trasplante, seguido de un crecimiento lento de raíces hasta los 70 días, alcanzando a los 80 días el crecimiento efectivo de las raíces, momento de máxima elongación, manteniéndose luego constante hasta el final de su ciclo (figura 9).

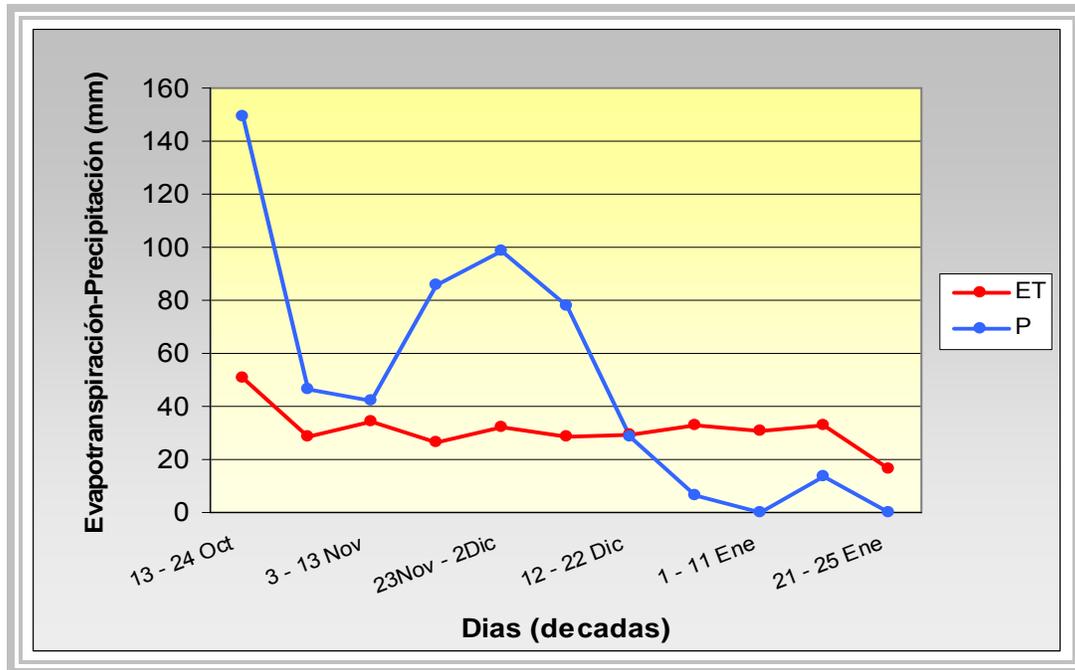


Figura 8. Balance Hídrico decadal para el cultivo de tabaco en Campoalegre.

#### 4.5 Determinación del coeficiente del cultivo Kc

En la determinación del coeficiente empírico de cultivo se cuantificó la lámina de agua decadal por concepto de evapotranspiración resultante del balance hídrico edafoclimático de la plantación de tabaco y la evaporación del agua en el tanque Evaporímetro clase A (cuadro 4).

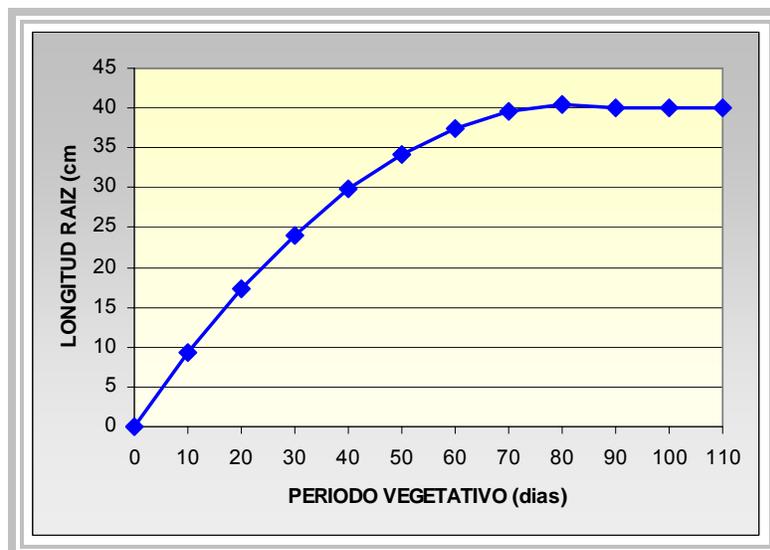


Figura 9. Crecimiento efectivo radicular del tabaco

Cuadro 4. Variables y determinación del Kc

Fases del cultivo	Década (días)	Lámina decadal			Kc	*Kc
		ETR (mm)	ETR (m <sup>3</sup> /ha)	EV (mm)		
Crecimiento Lento	0 - 11	32.92	329.2	46.80	0.66	0.3 - 04
	11 - 21					
	21 - 31					
Crecimiento Rápido	31 - 41	35.86	358.6	43.16	0.83	0.7 - 0.8
	41 - 51					
	51 - 61					
Floración	61 - 71	42.63	426.3	46.35	0.92	1.0 - 1.2
	71 - 81					
Maduración	81 - 91	37.84	378.4	45.35	0.87	0.75 - 0.85
	91 - 101					
	101 - 105					
<b>TOTAL</b>	<b>105</b>	<b>405.12</b>	<b>4.051.2</b>	<b>498.63</b>		

ETR: Evapotranspiración Real, EV: Evaporación en la bandeja clase A, Kc: Coeficiente empírico del cultivo hallado, \*Kc: Coeficiente del cultivo - Fuente FAO, 2001.

La evapotranspiración real de la plantación varía con las décadas, observándose que incrementa hasta la etapa de floración del cultivo, alcanzando un valor máximo de 42.63 mm/10 días. El proceso de evaporación fue muy uniforme a lo largo del ciclo vegetativo de la plantación, sin embargo se presentan ligeras diferencias decadales, registrando durante el periodo inicial de rápido crecimiento el mayor valor correspondiente a 46.80 mm/10 días. Este último valor indica que en el mes de octubre, se registraron importantes efectos evaporativos de la atmósfera local sobre el área de estudio.

El Kc determinado es el producto de la relación evapotranspiración real y evaporación del tanque clase A. Los valores de Kc encontrados incrementan de la misma forma que la evapotranspiración real hasta la etapa de floración, fase donde alcanza el máximo valor de 0.92. Estos valores hallados se comparan con FAO - 2001, observándose diferencias especialmente en las primeras décadas. Se presenta diferencia significativa del Kc, solamente en el primer periodo correspondiente al crecimiento lento del cultivo de tabaco, periodo que coincidió con el adiestramiento del observador en campo y donde se hicieron los ajustes para la consolidación del proceso de observación y el seguimiento controlado de los instrumentos en campo.

El coeficiente de cultivo (Kc) presenta variaciones a lo largo de las distintas fases fenológicas del tabaco. En el tabaco se diferencia 4 etapas o fases de cultivo, como se muestra en la figura 10. Se observa que las necesidades de agua del cultivo tienen un crecimiento progresivo desde el momento de la siembra hasta la etapa de floración. De la etapa de floración hasta la etapa de maduración se

observa un leve decrecimiento de la curva, debido a la dinámica fisiológica de este cultivo.

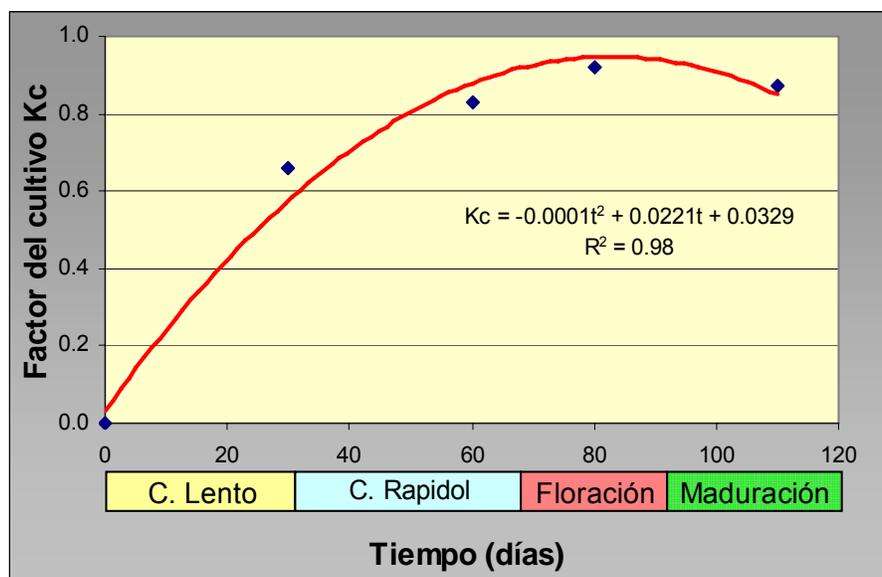


Figura 10. Curva del coeficiente Kc de cultivo

La tendencia de la curva de la figura 10, determinada con los valores hallados en la investigación, es muy similar a la reportada por FAO (2001) para suplir las demandas de agua del cultivo del tabaco. Las necesidades mínimas de agua de la planta de tabaco se presentan en la fase de crecimiento lento y los máximos requerimientos de agua ocurren en el periodo de floración, requiriendo en este último los mayores cuidados en el control de la humedad para que los rendimientos sean los óptimos.

#### 4.6 Determinación de las variables de cosecha.

En la evaluación de las variables de cosecha para el cultivo de tabaco se observa que las hojas de mejor calidad física son las correspondientes al piso foliar alto, ya que presentan la mayor longitud, el mayor ancho, el mayor peso en húmedo y seco. Igualmente se observó el mayor peso de vena, fracción foliar que no tiene utilidad para consumo, como también menor humedad frente a los pisos bajo y medio en la planta de tabaco (cuadro 5).

Cuadro 5. Variables de cosecha para el cultivo de tabaco.

Piso Foliar	Estadística	Húmedo			Seco				Humedad
		Longitud (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)	Peso de vena (g)	
Bajo	Xm	56.42	28.33	48.20	49.31	21.04	5.54	1.54	0.89
	Sx	7.70	4.56	17.82	5.56	4.17	2.98	0.79	0.03
	Var	59.36	20.79	317.43	30.93	17.38	8.90	0.62	0.00
	Cv	0.14	0.16	0.37	0.11	0.20	0.54	0.51	0.03
	Cs	1.05	0.91	1.05	0.88	1.18	1.53	1.26	-1.13
Medio	Xm	64.25	32.48	67.98	56.17	25.67	12.48	3.08	0.82
	Sx	5.49	5.49	14.75	4.80	5.91	3.61	0.76	0.04
	Var	30.11	30.16	217.45	23.02	34.97	13.02	0.58	0.00
	Cv	0.09	0.17	0.22	0.09	0.23	0.29	0.25	0.05
	Cs	0.44	0.64	0.35	0.23	0.52	-0.64	-0.06	0.21
Alto	Xm	<b>73.83</b>	<b>33.58</b>	<b>104.13</b>	<b>63.08</b>	<b>25.67</b>	<b>23.01</b>	<b>6.28</b>	<b>0.78</b>
	Sx	5.02	4.08	25.32	3.63	4.03	6.75	3.69	0.05
	Var	25.24	16.63	641.24	13.17	16.24	45.56	13.59	0.00
	Cv	0.07	0.12	0.24	0.06	0.16	0.29	0.59	0.06
	Cs	1.64	0.29	0.76	1.23	0.96	0.65	2.63	-0.78
Coperas	Xm	48.83	18.75	35.98	43.25	14.92	8.30	1.61	0.76
	Sx	6.42	3.77	13.63	5.53	3.70	2.99	0.79	0.04
	Var	41.24	14.20	185.82	30.57	13.72	8.97	0.62	0.00
	Cv	0.13	0.20	0.38	0.13	0.25	0.36	0.49	0.05
	Cs	0.01	0.32	1.09	-0.22	-0.13	1.73	0.50	-1.43

Xm promedio aritmético, Sx desviación estándar, Var varianza, Cv coeficiente de variación y Cs coeficiente de asimetría.

Es de anotar que acorde con el nivel foliar, la humedad varia disminuyendo desde el piso bajo hacia la copa donde se presenta la menor humedad, por la exposición de la lamina foliar a la radiación solar directa, facilitando así el proceso de evaporación.

La variación de la humedad es ligera e inferior al 6%, según el coeficiente de variación. Este valor determinado en base humedad, fluctuó entre 76 y 89%.

El porcentaje en peso de la vena con relación al peso total de la hoja fluctuó para los diferentes pisos entre el 27.8% y el 19.39%, siendo este menor para las hojas coperas, significando mayor cantidad de tejido aprovechable para el consumo y por ende mayor retribución de capital al productor.

La mayor varianza de los índices estudiados correspondió al peso foliar, esto debido a la heterogeneidad de las hojas cosechadas en el área de cultivo al final del ciclo productivo.

El rendimiento de cosecha se estimó teniendo como base el material seco a la estufa a 70°C durante 24 horas, para un porcentaje de humedad de las laminas foliares de tabaco del 81.25%, para lo cual resulto una producción promedio de 2.699.5 Kg. Este rendimiento no considera el peso de las venas de las hojas del tabaco colectadas en el muestreo aleatorio de campo, al momento de la cosecha de los diferentes pisos foliares.

## 5. CONCLUSIONES

- Los coeficientes empíricos de cultivo (kc) para el cultivo de Tabaco en el municipio de Campoalegre son: En la fase de crecimiento lento 0.66, en la fase de crecimiento rápido 0.83, en la fase de floración 0.92 y en la fase de maduración 0.87.
- El uso consumo total de agua del cultivo de tabaco durante el periodo vegetativo de 110 días en Campoalegre, departamento del Huila fue de 405.12 mm, correspondiente a 4.051.2 m<sup>3</sup> de agua/ha.
- El mayor valor de evapotranspiración del cultivo de tabaco ocurrió en la etapa de floración, alcanzando un requerimiento hídrico de 42.63 mm/10 días.
- La eficiencia de aplicación por el método de riego en surcos en el cultivo de tabaco fue del 50 %, siendo esta eficiencia baja frente a otros métodos de riego con mayor incorporación de tecnología.
- El rendimiento del cultivo de tabaco para la variedad Gold - 375 en el Centro Agropecuario La Angostura del municipio de Campoalegre ascendió a 2.699.5 kg/ha, valor que esta por encima del promedio departamental (2.43 ton/ha).
- La humedad promedio en porcentaje de las hojas de tabaco al momento de su recolección fue del 81.25%.
- Las hojas del cultivo de Tabaco que mostraron las mejores características físicas en cuanto a tamaño en húmedo (longitud promedio 73.38 cm, ancho promedio 33.58 cm) y peso (104.13g), fueron aquellas localizadas en el piso foliar alto.
- El uso de tensiómetros a diversas profundidades en la zona de raíces del cultivo permitió hacer seguimiento y evaluación de la humedad del suelo, instrumento útil en el seguimiento del balance hídrico del área cultivada.

## 6. RECOMENDACIONES

- Continuar con el proceso investigativo sobre los requerimientos hídricos en el cultivo de tabaco cubriendo periodos tanto húmedos como secos del año, ya que durante el periodo de evaluación sucedieron frecuentes lluvias.
- Replicar la presente investigación bajo diferentes métodos de riego, para así determinar cual es el método más eficiente y recomendado para el uso controlado de los recursos suelo-agua en cultivo de tabaco.
- Sembrar en las localidades más aptas siguiendo la zonificación agrológica del departamento, para hacer más eficiente el uso de los recursos y los retornos de las inversiones de capital.
- Aplicar los desarrollos tecnológicos en el manejo y control del agua de riego con el fin de obtener mayores eficiencias en el ciclo productivo.

## 7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Avidan A. et. al. Criterios de selección, funcionamiento y mantenimiento de tensiómetros. Centro de Cooperación Internacional para el Desarrollo Agrícola (CINADCO). Traducido del Hebreo por Abraham Edery y Jaia Komorowsky, 1994.

Cordero, P.; Juan, G. R. y González, C. E. Respuesta del tabaco negro variedad Criollo a diferentes niveles de humedad del suelo. Ciencia y Técnica de la Agricultura Tabaco 8 (1), 1985.

Cruz, L. R.; León, S. L. E. Respuesta del tabaco Virginia de la variedad Spehigt G-28 a diferentes niveles de humedad del suelo. Revista Voluntad Hidráulica No. 79: (7-9), 1988.

Cruz, L. R.; Juan, G. R. Régimen de riego óptimo del tabaco Burley de las variedades Ky-17 y Burley -37. Cultivos Agroindustriales Vol.2(2): 49-61, 1992.

Doorembos, J. A. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma. FAO. No 33, (24) .1976.

FAO. Las necesidades de agua de los cultivos. N° 24. Estudios del agua sobre riego y drenaje. Roma.194 p. 1976.

Juan, G. R.; Álvarez P. y Cruz L. R. Correlación de la evapotranspiración del tabaco Virginia con los elementos del clima. Agrotecnia de Cuba. Vol.22(1): 65-73.1990.

Juan, G. R. Recomendaciones sobre el riego del tabaco de las variedades que se cultivan en Cuba. Voluntad Hidráulica 67:35-40. 1985.

Juan, G. R.; Cordero, P. L. Régimen de riego del tabaco negro de la variedad criollo. Ciencia y técnica de la agricultura Serie Riego y Drenaje. Vol. (8) N0 1 .1985.

Rajvaiah, C. V.; Krishnamurthy, S. Efecto of methods of irrigation on yield and quality of cigar filler tobacco (N. Tabacum). Indian Journal of Agriculture Science. Vol. 62 (1): 16-19, 1992.

Zlatev, et. al Influencia de la irrigación sobre la cantidad y calidad de los tabacos Orientales. Instituto del Tabaco. Plovdiv, Bulgaria. 1979.

# **ANEXOS**

## ANEXO A. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO

**Clasificación:** Typic Troorthent  
**Régimen de Humedad:** Ústico  
**Régimen de Temperatura:** Isohipertérmico

**Horizonte A<sub>1</sub>:** 0 - 21cm  
 Textura: Franco Arenoso  
 Estructura: Bloque Angular Fino  
 Color: 10YR5/3 Brown  
 Consistencia:  
 - Seco: Muy Duro  
 - Húmedo: Firme  
 Raíces: Escasas  
 Poros: Poca Presencia  
 Organismos: no hay

**Horizonte A<sub>2</sub>C:** 21 - 49 cm  
 Textura: Arenoso Franco  
 Estructura: Bloque Angular Fino  
 Color: 10YR4/2 Dark Grayish Brown  
 Consistencia:  
 - Seco: Duro  
 - Húmedo: Friable  
 - Mojado: No adherente  
 Raíces: Escasas  
 Poros: Poca Presencia  
 Organismos: no hay

**Horizonte A<sub>3</sub>C:** 49 – 64 cm  
 Textura: Arenoso  
 Estructura: Bloque muy Fino  
 Color: 10YR4/3  
 Consistencia:  
 - Seco: Blando  
 - Húmedo: Muy Friable  
 - Mojado: No adherente  
 Raíces: Escasas  
 Poros: Poca Presencia  
 Organismos: no hay  
 Presencia de gravas heterométricas.

**Horizonte C:** 64 – x cm  
 Textura: Arenosa, presencia de gravas y arenas gruesas  
 Estructura: Sin estructura  
 Color: 10YR7/3



Perfil del suelo

**ANEXO B. PROPIEDADES HIDRAULICAS DEL SUELO**

Características de Infiltración del área experimental:

Prueba	Infiltración Acumulada	Infiltración Instantánea	Infiltración básica (cm/hora)	Clasificación
1 - Zona alta	$I = 2.80T^{0.391}$	$i = 1.09T^{-0.609}$	6.47	Mod. Rápida
2 - Zona baja	$I = 1.19T^{0.583}$	$i = 0.69T^{-0.417}$	8.55	Mod. Rápida

Características de Conductividad Hidráulica del área experimental:

Prueba	Conductividad Hidráulica (cm/hora)	CLASIFICACION
1 - Zona alta	7.78	Mod. Rápida
2 - Zona baja	6.30	Mod. Rápida

## ANEXO C. ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO

Nombre del solicitante: **Protabaco S.A.**  
 Finca: **La Angostura – SENA**  
 Cultivo: **Tabaco Variedad Virginia estufado**  
 Fecha: **2006 – 09 – 28**

Vereda:  
 Municipio: **Campoalegre**  
 Departamento: **Huila**

No. Laboratorio	4543		Rango Adecuado		Método Analítico Empleado	
Muestra						
PARAMETROS QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO	CALIFICACION			
pH		6.06	Muy fuertemente ácido			Potenciómetro
Materia Orgánica (MO)	%	3.14				Walkley - Black
Nitrogeno (N)	%	0.16	D	0.30	0.70	NH <sub>4</sub> OAc – pH 7
C.I.C.	Meq (100 g) <sup>-1</sup>	6.28				Electrométrico
Fósforo (P)	ppm	58.26		15.00	40.00	Bray II
Calcio (Ca)	Meq (100 g) <sup>-1</sup>	4.52	D	3.00	6.00	NH <sub>4</sub> OAC
Magnesio (Mg)	Meq (100 g) <sup>-1</sup>	1.52	D-O	1.50	3.00	
Sodio (Na)	Meq (100 g) <sup>-1</sup>	0.11	D-O	<0.5	0.00	
Potasio (K)	Meq (100 g) <sup>-1</sup>	0.14	D	0.25	0.50	
Azufre (S)	ppm	15.86	D-O	10.00	32.00	Turbidimetría
Hierro (Fe)	ppm	44.75	D-O	25.00	50.00	Doble Ácido
Cobre (Cu)	ppm	1.79	D-O	1.50	3.00	
Cinc (Zn)	ppm	2.95	D-O	2.50	3.50	
Manganeso (Mn)	ppm	5.85	D	10.00	25.00	
Boro (B)	Ppm	0.74	D-O	0.40	0.80	H <sub>2</sub> O Caliente
Relación Ca/k		33.44		8.00	17.00	
Relación Ca/Mg		2.97	D-O	2.00	4.00	
Relación ( Ca +Mg )/K		44.70	D-O	12.87	57.00	
Relación Mg/K		11.26	D-O	4.29	16.70	
<b>TEXTURA</b>	Clase	FA	Franco Arenoso		Bouyoucos	
Arcilla (Ar)	%	6.40				
Limo (L)	%	35.0				
Arena (A)	%	58.60				

ANALISTA QUIMICO: Jenny Marcela Gómez S  
 Calificación: D: Deficiente O: Optima A: Alta  
 Fuente: Laboratorios Agrosoil Lab Bogota D.C. 2006

**ANEXO D. PRUEBAS DE AVANCE E INFILTRACION EN RIEGO POR SURCOS**LOCALIZACION: Granja Angostura

FECHA: 18 – 09 - 2006

TEXTURA: Franco - Arenosa

CONTENIDO DE HUMEDAD: 10 %

SURCO \_\_\_\_\_

PENDIENTE: 0.3%Q<sub>máx.</sub>: 2.5 lt/seg.

Tiempo reloj Hora:min:seg	Tiempo acumulado min:seg	Estación metros
3:54:36	0:00	0
3:55:45	1:15	10
3:56:34	1:96	20
3:57:18	2:69	30
3:58:10	3:56	40
3:58:40	4:06	50
3:59:20	4:73	60
4:00:03	5: 73	70
4:01:10	6:56	80
4:02:27	7:84	90
4:03:43	9:11	100

OBSERVACIONES: El espaciamiento entre surcos será el establecido para el cultivo de Tabaco y la longitud entre canaletas de aforo de 50 m.

**ANEXO E. BALANCE HIDRICO DIARIO DEL CULTIVO DE TABACO**

MES: Octubre      AÑO: 2006

<b>DIA</b>	<b>LAS (mm)</b>	<b>EV (mm)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>R (mm)</b>	<b>Ex (mm)</b>
10		-54,3	0.0	0	
11	-3.26	-0,9	0.0	0	8.60
12	-4.44	-0,5	0.0	0	0.00
13	3.88	12,8	13.0	0	16.21
14	-0.35	4	0.2	0	2.43
15	-2.50	12,1	22.0	0	0.00
16	-3.89	36,8	2.9	0	0.00
17	-2.50	6,1	0.5	0	0.00
18	-2.50	-2	4.8	0	9.13
19	1.32	6,8	1.3	0	49.00
20	-2.50	4,6	12.5	0	0.00
21	-1.56	10,7	49.0	0	40.60
22	-3.26	3,8	0.4	0	0.00
23	-5.33	3	42.7	0	0.00
24	-7.72	0,1	1.4	0	0.00
25	-8.38	6,4	0.0	0	0.00
26	-8.66	6,7	0.0	0	0.00
27	-9.66	2,6	0.5	0	0.00
28	-10.23	4,9	0.0	0	0.00
29	-10.98	5,3	0.2	0	0.00
30	-0.35	4,3	2.1	0	40.73
31	-2.50	3,8	0.5	0	0.00

LAS: Lámina de Agua en el Suelo, EV: Evaporación, P: Precipitación,  
R: Riego, Ex: Excesos

MES: Noviembre AÑO: 2006

<b>DIA</b>	<b>LAS (mm)</b>	<b>EV (mm)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>R (mm)</b>	<b>Ex (mm)</b>
1	-4.62	7.15	4.31	0	0.00
2	-5.98	6.73	0.1	0	0.00
3	-7.89	6.30	2.2	0	0.00
4	-9.18	5.74	0.0	0	0.00
5	-9.87	5.17	0.0	0	0.00
6	-10.01	4.81	0.0	0	0.00
7	-9.87	4.34	0.4	0	0.00
8	-4.62	4.69	8.6	0	8.86
9	-3.77	4.71	2.6	0	0.00
10	-4.62	6.72	25.5	0	0.00
11	-4.62	6.43	1.0	0	0.00
12	-2.49	6.08	1.7	0	11.85
13	-2.49	6.16	1.9	0	0.00
14	-0.08	7.75	20.8	0	45.22
15	-3.77	7.94	5.2	0	0.00
16	-3.20	11.7-5.30	45.5	0	0.00
17	-2.49	4.98	0.6	0	0.00
18	-4.23	5.16	1.1	0	0.00
19	-4.62	5.57	8.9	0	0.00
20	-6.17	5.15	0.1	0	0.00
21	-7.32	4.99	1.3	0	0.00
22	-0.08	4.48	0.0	0	18.02
23	-0.08	4.03	0.4	0	56.32
24	-3.77	5.51	18.3	0	0.00
25	-3.77	12.3-6.09	76.6	0	0.00
26	-5.76	5.65	0.1	0	0.00
27	-6.17	5.44	0.1	0	0.00
28	-8.20	5.47	2.8	0	0.00
29	-8.05	4.85	0.0	0	0.00
30	-7.32	4.58	0.0	0	0.00

LAS: Lámina de Agua en el Suelo, EV: Evaporación, P: Precipitación,  
R: Riego, Ex: Excesos

MES: Diciembre AÑO: 2006

<b>DIA</b>	<b>LAS (mm)</b>	<b>EV (mm)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>R (mm)</b>	<b>Ex (mm)</b>
1	-7.08	3.98	0.0	0	0.00
2	-7.32	3.56	0.0	0	0.00
3	2.68	2.98	0.0	0	1.16
4	2.64	2.49	0.0	0	15.30
5	-0.08	4.64	27.5	0	0.00
6	-0.08	5.87	15.3	0	0.72
7	-1.52	5.44	0.1	0	13.62
8	-0.08	5.37	1.0	0	1.42
9	-2.49	6.86	19.1	0	0.00
10	-2.49	6.74	1.7	0	0.00
11	-2.49	7.6	7.5	0	0.00
12	-2.49	7.26	5.6	0	0.00
13	-4.23	7.28	0.4	0	0.00
14	-4.62	6.77	0.0	0	0.00
15	-4.40	7.06	5.9	0	0.00
16	-3.77	6.73	0.0	0	0.00
17	-3.77	6.41	4.6	0	0.00
18	-3.77	6.59	7.1	0	0.00
19	-4.62	7.16	10.7	0	0.00
20	-6.35	6.82	0.0	0	0.00
21	-6.35	6.17	0.0	0	0.00
22	-6.96	5.95	0.0	0	0.00
23	-7.32	5.74	0.7	0	0.00
24	-7.32	5.36	0.0	0	0.00
25	-6.96	5.08	0.0	0	0.00
26	-8.05	5.07	5.0	0	0.00
27	-8.34	4.52	0.0	0	0.00
28	-8.34	4.17	0.5	0	0.00
29	-8.59	3.66	0.3	0	0.00
30	-8.47	3.19	0.0	0	0.00
31	-8.59	2.67	0.0	0	0.00

LAS: Lámina de Agua en el Suelo, EV: Evaporación, P: Precipitación,  
R: Riego, Ex: Excesos

MES: Enero AÑO: 2007

<b>DIA</b>	<b>LAS (mm)</b>	<b>EV (mm)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>R (mm)</b>	<b>Ex (mm)</b>
2	-8.70	1.95-2.72	0.0	18	0.00
3	-2.49	2.35	0.0	0	0.00
4	-3.77	1.79	0.0	0	0.00
5	-3.77	1.37	0.0	0	0.00
6	-5.26	0.81-6.71	0.0	0	0.00
7	-6.17	6.32	0.0	0	0.00
8	-7.72	5.99	0.0	0	0.00
9	-8.34	5.57	0.0	2	0.00
10	-7.97	5.01	0.0	17	0.00
11	-3.20	4.68	0.0	0	0.00
12	-3.77	4.21	0.0	0	0.00
13	-4.62	3.64	0.0	0	0.00
14	-4.96	3.26	0.0	0	0.00
15	-6.17	2.95	0.0	0	0.00
16	-7.32	2.34	0.0	0	0.00
17	-5.76	1.83-7.18	0.0	0	0.00
18	-5.76	7.41	8.4	0	0.00
19	-6.35	7.15	0.1	0	0.00
20	-7.32	6.45	0.0	0	0.00
21	-7.63	6.29	0.3	0	0.00
22	-7.20	6.28	5.0	0	0.00
23	-7.32	5.75	0.0	0	0.00
24	-7.89	5.06	0.0	0	0.00

LAS: Lámina de Agua en el Suelo, EV: Evaporación, P: Precipitación,  
R: Riego, Ex: Excesos

## ANEXO F. HUMEDAD DEL SUELO

FECHA	Profundidad (cm)	Wt (g)	Wh+T (g)	Wh (g)	Ws+T (g)	Ws (g)	H (%)
26-10-2006	10	11.2	11.7	106.1	103.2	92.0	15.33
	20	27.6	107.2	79.6	95.4	67.8	17.40
31-10-2006	10	71.1	156.9	85.8	140.9	69.8	22.9
L1	20	73.5	195.3	121.8	178.6	105.2	16.0
31-10-2006	10	46.7	144.6	97.9	126.1	79.4	23.30
L2	20	48.2	112.9	64.7	102.7	54.5	18.71
09-11-2006	10	71.1	148.5	77.4	140.4	69.3	11.68
L1	20	73.5	142.2	68.7	135.1	61.1	11.53
09-11-2006	10	46.7	96.0	49.3	89.6	42.9	14.90
L2	20	48.2	95.1	46.9	88.8	40.7	15.23
14-11-2006	10	43.2	112.3	69.1	98.6	55.4	24.7
L1	20	48.2	118.9	70.7	105.3	57.1	23.8
14-11-2006	10	71.1	169.3	98.2	152.5	81.4	20.6
L2	20	73.6	164.1	90.5	147.2	73.6	23.0
14-11-2006	10	97.1	194.2	97.1	175.5	78.4	23.8
L3	20	70.5	165.5	95.0	146.5	76.0	25.0
21-11-2006	10	46.7	96.9	49.8	90.8	44.1	12.8
L1	20	70.4	130.4	60.0	123.4	53.0	13.2
21-11-2006	10	48.1	110.1	62.0	99.8	51.7	20.0
L2	20	70.0	143.5	73.5	131.8	61.8	19.0
21-11-2006	10	71.1	143.1	72	130.0	58.9	22.2
L3	20	73.6	154.7	81.1	141.7	68.1	19.1
23-11-2006	10	46.5	103.4	56.9	96.8	50.3	13.1
L1	20	48.2	110.0	61.8	102.9	54.7	12.9
23-11-2006	10	71.2	153.4	82.2	141.1	69.9	17.6
L2	20	70.0	142.3	72.3	131.2	61.2	18.1
23-11-2006	10	70.5	156.9	86.4	143.3	72.8	18.7
L3	20	73.6	121.5	47.9	113.8	40.2	19.1

Wt: Peso tara, Wh+t: Peso húmedo mas tara, Wh: peso húmedo, Ws+t: peso seco mas tara, Ws: Peso seco, H: Humedad del suelo

## HUMEDAD DEL SUELO

FECHA	Profundidad cm	Wt	Wh+T	Wh	Ws+T	Ws	H (%)
28-11-2006	10	46.4	94.8	48.4	85.5	39.1	23.8
L1	20	48.2	112.2	64.0	102.1	53.9	18.7
28Nov2006	10	71.7	124.2	52.5	118.1	46.4	12.5
L2	20	70.1	134.9	64.8	127.0	56.9	13.8
28Nov2006	10	70.5	156.1	85.6	139.6	69.1	23.9
L3	20	73.6	146.9	73.3	133.9	60.3	21.5
01Dic2006	10	46.4	99.9	53.5	94.4	48.0	11.4
L1	20	48.2	83.1	34.9	79.5	31.d3	11.50
01Dic2006	10	71.7	153.9	82.2	141.1	69.4	18.4
L2	20	70.1	122.8	52.7	114.9	44.8	17.6
01Dic2006	10	70.5	137.4	66.9	128.6	58.1	15.1
L3	20	73.6	118.0	44.4	111.7	38.1	16.5
05 Dic2006	10	46.4	112.6	66.2	100.6	54.2	22
L1	20	48.2	97.0	48.8	88.5	40.3	21
05 Dic2006	10	71.7	149.9	78.2	137.6	65.9	19
L2	20	70.1	129.4	51.3	120.1	50.0	18
05 Dic2006	10	70.5	137.3	66.8	125.7	55.2	21
L3	20	73.6	137.1	63.5	126.7	53.1	19
07 Dic2006	10	46.4	88.5	42.1	81.0	34.6	22
L1	20	48.2	91	42.8	84.5	36.3	18
07 Dic2006	10	71.7	154.2	82.5	140	68.3	21
L2	20	70.1	147.5	77.4	135.2	65.1	19
07 Dic2006	10	70.5	124.8	54.3	116.4	45.9	18
L3	20	73.6	142.9	69.3	131.4	57.8	20
12 Dic2006	10	46.4	98.2	51.8	89.5	43.1	20
L1	20	48.2	106.8	58.6	98.7	50.5	16
12 Dic2006	10	71.7	138.8	67.1	126.5	54.8	22
L2	20	70.1	158.2	88.1	140.9	70.8	24
12 Dic2006	10	70.5	142.4	71.9	128.2	57.7	24
L3	20	73.6	137.7	64.1	125.6	52.0	23

## HUMEDAD DEL SUELO

FECHA	Profundidad cm	Wt	Wh+T	Wh	Ws+T	Wt	H%
16 Dic2006	10	46.4	95.3	48.9	88.4	42.0	16
L1	20	48.2	128.2	80.0	117.1	68.9	16
16 Dic2006	10	71.7	139.5	67.8	129.4	57.7	17
L2	20	70.1	144.3	74.2	133.9	63.8	15
16 Dic2006	10	70.5	138.7	68.2	128.2	57.7	22
L3	20	73.6	142.8	69.2	130.9	57.3	20
19 Dic2006	10	46.6	92.1	45.5	84.0	37.4	21
L1	20	48.2	99.4	51.2	91.7	43.5	18
19 Dic2006	10	71.2	127.4	56.2	117.7	46.5	20
L2	20	70.1	125.3	55.2	116.9	46.8	17
19 Dic2006	10	70.5	129.2	58.7	118.9	48.4	21
L3	20	73.6	123.8	50.2	115.8	42.2	19
21 Dic2006	10	46.6	84.5	37.9	78.9	32.3	17
L1	20	48.2	87.4	39.2	81.9	33.7	16
21 Dic2006	10	71.2	109.8	38.6	104.2	33.0	17
L2	20	70.1	93.8	23.7	90.6	20.5	15
21 Dic2006	10	70.5	131.2	60.7	120.8	50.3	21
L3	20	73.6	120.0	46.4	112.4	38.8	19
3 Ene2007	10	45.0	87.7	42.7	79.0	34.0	26
L1	20	45.3	114.1	68.8	103.1	57.8	20
3 Ene2007	10	44.7	87.2	42.5	80.6	35.9	18
L2	20	45.5	88.3	42.8	81.7	36.2	16
3 Ene2007	10	44.8	78.4	33.6	75.3	30.5	10
L3	20	33.1	64.4	31.3	60.9	27.8	12
5 Ene2007	10	46.8	95.3	48.5	86.9	40.1	20
L1	20	48.2	99.4	51.2	91.8	43.4	18
5 Ene2007	10	71.1	101.7	30.6	99.1	28.0	11
L2	20	70.0	120.9	50.9	116.1	46.1	9
5 Ene2007	10	70.5	153.8	83.3	142.1	71.6	16.0
L3	20	73.6	127.4	53.8	119.8	46.2	16.5

## HUMEDAD DEL SUELO

FECHA	Profundidad cm	Wt	Wh+T	Wh	Ws+T	Wt	W%
10 Ene2007	10	45.0	91.3	46.3	86.0	41.0	12
L1	20	45.3	86.5	41.2	81.3	36.0	14
10 Ene2007	10	44.7	87.4	42.7	82.9	38.2	12
L2	20	45.5	88.0	42.5	83.1	37.6	13
10 Ene2007	10	44.8	75.1	30.3	72.6	27.8	9
L3	20	33.1	56.6	23.5	54.3	21.2	11
12 Ene2007	10	46.8	94.9	48.1	85.9	39.1	24
L1	20	48.2	85.3	37.1	79.2	31.0	20
12 Ene2007	10	71.1	98.9	27.8	96.3	25.2	10
L2	20	70.0	108.3	38.3	104.8	34.8	10
12 Ene2007	10	70.5	105.4	34.9	102.9	32.4	8
L3	20	73.6	110.6	37.0	107.8	34.2	8
16 Ene2007	10	46.8	103.5	56.7	96.3	49.5	15
L1	20	48.2	105.7	57.5	98.4	50.2	14
16 Ene2007	10	71.1	124.5	53.4	120.7	49.6	7
L2	20	70.0	161.1	91.1	153.4	83.4	9
16 Ene2007	10	70.5	118.8	48.3	114.9	44.4	8
L3	20	73.6	136.1	62.5	130.4	56.8	10
26 Ene2007	10	46.7	107.0	60.3	95.6	48.9	23
L1	20	48.1	77.9	29.8	73.3	25.2	18
26 Ene2007	10	71.1	114.4	43.3	110.8	39.7	9
L2	20	70.1	103.1	33.0	100.0	29.9	10
26 Ene2007	10	70.5	106.2	35.7	104.0	33.5	7
L3	20	73.6	103.2	29.6	101.2	27.6	7

**ANEXO G. SECADO DE HOJAS****HOJAS BAJERAS (19 DIC 2006)**

No. HOJA	Humedo			Seco			Peso de la vena (g)	Humedad
	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)		
H1	52	26	39.3	46	18.0	3.8	1.0	0.90
H2	49	26	29.7	51	20.5	2.9	0.7	0.90
H3	50	23	32.4	43	17.5	4.7	1.3	0.85
H4	59	28	54.3	54	20.0	8.5	2.0	0.84
H5	61	29	47.3	44.5	19.0	4.4	1.3	0.91
H6	72	38	47.8	52.5	21.5	4.2	1.1	0.91
H7	53	29	83.9	62.0	27.5	9.5	2.9	0.89
H8	69	35	41.6	46.5	18.5	4.2	3.2	0.90
H9	49	24	79.5	52.0	30.0	12.5	1.4	0.84
H10	50	23	26.2	42	16.0	2.9	0.7	0.89
H11	56	29	48.8	50	24	4.3	1.4	0.91
H12	57	30	47.6	48.2	20	4.6	1.5	0.90

**HOJAS MEDIA MATA (05 ENERO 2007)**

No. HOJA	Humedo			Seco			Peso de la vena (g)	Humedad
	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)	longitud (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)		
H1	62.0	42.7	85.0	57.0	36.5	14.7	3.9	0.83
H2	68.0	37.5	88.4	61.5	29.0	17.1	4.0	0.81
H3	58.0	27.5	43.7	51.5	19.5	6.0	1.8	0.86
H4	71.5	32.5	70.0	61.0	25.5	10.5	3.0	0.85
H5	64.0	27.5	54.6	55.0	20.5	7.9	2.2	0.89
H6	65.5	28.0	55.4	57.5	24.5	7.8	2.4	0.86
H7	75.0	40.5	93.4	65.0	34.5	16.8	4.2	0.82
H8	63.5	31.5	67.0	57.5	25.0	13.9	3.4	0.79
H9	66.0	35.0	70.3	51.0	29.5	13.5	3.7	0.81
H10	55.5	30.5	63.2	48.5	26.0	14.2	2.7	0.78
H11	60.0	31.5	65.3	53.0	18.0	13.2	2.8	0.80
H12	62.0	25.0	59.5	55.5	19.5	14.2	2.9	0.76

## HOJAS ALTERAS (16 ENERO 2007)

No. HOJA	Humedo			Seco			Peso de la vena (g)	Humedad
	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)	longitud (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)		
H1	69	28	90.4	62	24	22.4	4.5	0.75
H2	74	33	121.8	58	20	17.7	4.0	0.85
H3	73	40	82.8	64	35	13.7	3.9	0.83
H4	70	38	114.5	65	29	24.5	6.2	0.79
H5	75	30	113.1	66	24	25.0	5.9	0.78
H6	70	32	81.5	61	25	18.0	3.8	0.78
H7	73	33	86.3	60	23	20.3	4.4	0.76
H8	76	37	133.5	60	25	29.6	7.3	0.78
H9	77	30	113.0	62	21	27.4	7.8	0.76
H10	87	39	156.7	72	29	37.6	17.1	0.76
H11	74	34	79.4	63	27	14.8	4.0	0.81
H12	68	29	76.5	64	26	25.1	6.4	0.67

## HOJAS COPERAS (26 ENERO 2007)

No. HOJA	Humedo			Seco			Peso de la vena (g)	Humedad
	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)	longitud (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)		
H1	40	18	25.2	36	14	7.1	1.0	0.72
H2	40	13	25.2	36	10	5.6	0.6	0.78
H3	60	23	67.3	50	19	16.2	3.2	0.66
H4	53	22	41.2	47	16	8.4	1.9	0.80
H5	46	16	25.1	40	11	6.0	0.9	0.76
H6	42	16	19.8	36	10	5.0	0.8	0.75
H7	53	26	50.7	46	20	10.3	2.2	0.80
H8	44	14	25.9	40	11	6.6	0.9	0.74
H9	55	18	41.0	49	16	9.3	2.1	0.77
H10	53	20	38.0	49	18	9.4	1.9	0.75
H11	51	20	30.0	48	19	6.9	1.5	0.77
H12	49	19	42.3	42	15	8.8	2.3	0.79

## ANEXO H. ECUACIONES UTILIZADAS PARA EL BALANCE HIDRICO

$$1. \quad ETR = \Delta\omega + P - p$$

La ecuación corresponde a la Evapotranspiración Real del cultivo, donde:

$\Delta\omega$ : Delta diario de humedad en el suelo, P: Precipitación o riego diario y, p: Perdidas por percolación profunda y escorrentía.

$$2. \quad Kc = ETR/ Ev$$

Está segunda ecuación corresponde al coeficiente del cultivo  $Kc$ , donde las variables que se tienen en cuenta para la determinación de este son la ETR (Evaporación real) y la  $Ev$  (Evaporación del tanque evaporímetro).

$$3. \quad d = (CC - PMP)/ 100*( \rho_a * Prof)$$

Está corresponde al volumen de agua que necesita el suelo para mantenerse a capacidad de campo donde CC: Capacidad de campo, PMP: Punto de marchitez permanente y  $\rho_a$ : Densidad aparente del suelo.

$$4. \quad Ef = dn / db$$

Está corresponde a la eficiencia del sistema de Riego, donde  $dn$ : lámina neta y  $db$ : lámina bruta o total de agua.

$$5. \quad H_{bh} = (Wh - Ws)/\omega h * 100$$

Está corresponde al porcentaje de humedad de las hojas en base humedad, donde:  $Wh$ : Peso de hoja recién cosechada,  $Ws$ : Peso de hoja en seco en la estufa a 70°C.