

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISION DE INGENIERIA**



**Determinación del Coeficiente de Desarrollo (Kc) para el Maíz  
(*Zea mays* L.), Híbrido AN-447**

**Por:**

**PABLO MARTINEZ HERNANDEZ**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:**

**Ingeniero Agrónomo en Irrigación**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Abril de 1999**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISION DE INGENIERÍA**

**Determinación del Coeficiente de Desarrollo (Kc) para el Maíz  
(Zea mays L. ), Híbrido AN-447**

**Realizado por:**

**PABLO MARTINEZ HERNANDEZ**

**Que Somete a Consideración del H. Jurado Examinador  
como Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

**Ingeniero Agrónomo en Irrigación**

**Presidente del Jurado**

---

**Dr. Raúl Rodríguez García  
Asesor Principal**

---

**Dra. Diana Jasso de Rodríguez.  
Asesor**

---

**Ing. Carlos Rojas Peña.  
Asesor**

---

**Ing. Orlando Téllez Obregón  
Asesor**

---

**Ing. Jesús Valenzuela García  
Coordinador de la División de Ingeniería**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Abril de 1999**

## **AGRADECIMIENTO**

A mi Dios le doy las gracias por haberme permitido venir a este mundo en que ahora vivimos y ser en mí su voluntad.

A mi Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, con el respeto que se merece por haberme formado en sus aulas y por todo lo bueno que me brindó durante mi estancia.

Al Departamento de Riego y Drenaje, que mediante sus maestros me brindaron las bases y conocimientos para seguir adelante en las actividades como estudiante y para mi superación personal.

Al Dr. Raúl Rodríguez García, maestro investigador del Departamento de Riego y Drenaje, por brindarme su amistad, conocimientos y su tiempo para la elaboración y terminación de éste trabajo.

A la Dra. Diana Jasso de Rodríguez por su gran apoyo en la asesoría y revisión de la presente investigación.

Al Ing. Carlos Rojas Peña por sus sugerencias y observaciones para el complemento de éste trabajo.

Al Ing. Orlando Téllez Obregón, por su confianza y apoyo depositado en mí y por su valiosa ayuda que de manera desinteresada me brindó durante la elaboración y revisión del presente trabajo.

AL M.C. José Luis Quemé de León, por su tiempo dedicado con sus valiosos consejos y orientaciones en la realización de éste trabajo.

Al MC. Luis Samaniego Moreno, por su gran amistad que me brindó como maestro y como persona, durante mis estudios en la Universidad.

A la Ing. Amparo Cuadra Reyes por su gran confianza me brindó durante la elaboración de éste trabajo.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron e hicieron posible la terminación de éste trabajo.

## **DEDICATORIA**

**A MIS PADRES:**

Eustaquio Martínez De La cruz

María Hernández Hernández

Porque a través de toda mi vida, aún cuando han existido momentos difíciles, han depositado en mí su confianza y cuyos esfuerzos, sacrificios, amor y sus sabios consejos; supieron encaminarme hacia mi más grande anhelo, mi formación como persona y como profesional. Mi más grande amor y admiración para toda la vida.

### **A MIS HERMANOS *con afecto*:**

Merced

Como un pequeño atributo a su gran esfuerzo que ha traducido en sacrificios, motivaciones, consejos y apoyo económico que me ha brindado durante toda mi preparación profesional, así como también por todos los grandes detalles de comprensión que ha tenido sobre mí.

A su familia: Ambrosia su esposa; y sus hijos Ma. Cleofas, Jorge, Ma. Del Socorro, Eric, y Noemí. Como un regalo les dedico este trabajo en honor a la inmensa alegría y entusiasmo que me han otorgado para seguir adelante; y además:

Rogelio y Familia

Artemio y Familia

Justiniano

Teodora

Román y Familia

Rosalío y Familia

Basilía

Ma. Saturnina

Carmelita

Aurelia

Serafín y

Froylán.

Con quienes he compartido momentos de tristezas y alegrías que nos ha dado la vida y como respuesta a su confianza les dedico este trabajo y los motivo a superarse cada día más.

### **A MIS TIOS Y ABUELOS:**

En especial a mi abuelo Inocente por sus grandes consejos.

**A MIS PRIMOS:**

Diógenes, Jacobo, Abad, Braulio, Rosa, Aurora, Martha, Noemí, Cándida, por su apoyo incondicional y sus grandes consejos.

**A MI FAMILIA:**

Como un humilde testimonio de quien busca la superación, aún con todas las adversidades que presenta la vida, algún día tiene su recompensa. Sigamos siempre adelante.

**A LA GENERACION LXXXVI DE INGENIEROS AGRONOMOS EN IRRIGACIÓN.**

Marcos, Gilberto, Angel, Francisco, Salvador, Juan De Dios, J. Luz, Valentín, por el compañerismo que mantuvimos durante nuestra formación como grandes profesionales.

**A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS:**

Policarpo Florencio, Plutarco, Antonio, Luis Rodolfo, Anacleto, Vicente, Raúl, Mundo, Luis, Julio César, Zulma, Orlando, Patricio, Lorenzo, Eliseo, Santiago, Ricardo, Sergio, Josué Maximino, Hugo, Pedro, Bruno, Eudosiso, Perfecto, Flora, Renán, Ing. José Francisco.

Por su amistad incondicional y los momentos gratos de convivencia que compartimos.

**A TI:**

Por tu gran amor, tu confianza y tu gran corazón.

**A MI ALMA MATER:**

Por su incansable labor en el desarrollo del agro mexicano.

**A LA FAMILIA BELTRÁN DE LA CRUZ**

Por la gran amistad, apoyo y confianza que durante toda mi carrera me brindaron.

**INDUCE DE CONTENIDO**

	<b>Página</b>
AGRADECIMIENTO.....	i

	DEDICATORIA.....	ii
	INDICE DE CONTENIDO.....	iv
	INDICE DE CUADROS.....	vi
	INDICE DE FIGURAS.....	vi
	INDICE DE CUADROS DEL APENDICE.....	vii
I	INTRODUCCION.....	1
	OBJETIVOS.....	2
II	REVISION DE LITERATURA.....	3
	2.1. Generalidades del maíz.....	3
	2.2.Requerimiento de Agua del Maíz.....	4
	2.3. Factores que Influyen en los Requerimientos de Agua por el Cultivo de Maíz.....	6
	2.4. Evapotranspiración.....	7
	2.5. Medición de la Evapotranspiración.....	11
	2.6. Coeficiente de Cultivo Kc.....	13
III	MATERIALES Y METODOS.....	18
	3.1. Ubicación del Sitio Experimental.....	18
	3.2. Características del Clima.....	18
	3.3. Características del Suelo.....	19
	3.3.1. Análisis Físico.....	19
	3.3.1. Análisis Químico.....	21
	3.4. Establecimiento y Desarrollo del Experimento.....	22
	3.4.1. Siembra.....	22
	3.4.2. Material Genético Utilizado.....	22
	3.4.3. Fertilización.....	23
	3.4.4. Control Fitosanitario.....	23
	3.4.5. Calibración del Dispensor de Neutrones.....	23
	3.4.6. Dispositivo Experimental.....	24
	3.4.7. Medición de la evapotranspiración Máxima del Cultivo.....	26
	3.5. Datos Climatológicos.....	26

3.5.1. Descripción del Modelo para Estimar el Coeficiente de Ajuste por Desarrollo del Cultivo.....	27
3.5.2. Cálculo de Kc Real.....	28
3.5.3 Rendimiento.....	30
3.6. Variables de Clima.....	30
IV RESULTADOS Y DISCUSION.....	31
4.1. Coeficiente de Ajuste por Desarrollo del Cultivo.....	31
4.2. Análisis de Tendencias.....	31
4.3. Evaluación del Modelo.....	32
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
VI RESUMEN.....	45
VII BIBLIOGRAFIA.....	47
APENDICE.....	49

## INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CUADRO	Página
3.1. Valores de Densidad Aparente, Capacidad de Campo y Punto de Marchitamiento Permanente del Sitio Experimental.....	20

3.2.	Texturas del Suelo del Sitio Experimental.....	20
3.3	Propiedades Químicas del Suelo.....	21
3.4.	Tratamientos de riego implementado en el experimento.....	25
4.1.	Coefficientes de la Regresión y de la Determinación par el Modelo.....	33
4.2.	Valores de la Evapotranspiración actual, Evaporación acumulada, valores de Kc real (observados), DVR, UCA.....	34
4.3.	Valores de Kc para las diferentes etapas de desarrollo del cultivo.....	35

### INDICE DE FIGURAS

CUADRO		Página
4.1.	Relación entre el Kc y los Días Después de la Siembra para el Modelo.....	37
4.2.	Relación entre el Kc y el Desarrollo Vegetativo Relativo para el Modelo.....	38
4.3.	Relación entre el Kc y las Unidades Calor Acumuladas para el Modelo.....	39
4.4.	Relación entre el Kc y los Días Julianos para el Modelo.....	40
4.5.	Evolución de la humedad del Suelo (en cm ) Durante el ciclo del Cultivo en la Parcela ETM-Referencial.....	41
4.6.	Consumo de agua por el cultivo durante el ciclo fenológico.....	42
4.7.	Etapas vegetativas y reproductivas de la planta de maíz.....	43

### INDICE DE CUADROS DEL APENDICE



<b>CUADRO</b>		<b>Página</b>
I	Croquis del Campo Experimental y Localización de la Parcela.....	50
II	Datos Climatológicos Tomados Durante el Desarrollo del Cultivo del Maíz en la UAAAN en 1998.....	51
III	Valores de Kc utilizando las ecuaciones del modelo cúbico para las diferentes variables en diferentes fechas.....	57

## I. INTRODUCCION

El maíz (*Zea mays L.*) es uno de los principales cultivos del mundo, ocupa el tercer lugar en producción mundial después del trigo y el arroz. En México es una de las principales fuentes de alimento básico. Aproximadamente se cultiva una superficie total de 8, 193, 968 ha, obteniendo una producción de 18, 235, 826 toneladas con un promedio de 2.226 ton/ha. Es un cereal que se adapta ampliamente a diversas condiciones ecológicas y edáficas (INEGI, 1996).

El crecimiento excesivo de la población requiere una mayor demanda de alimentos, lo cual ha motivado a la intensificación de investigaciones y estudios de los diversos factores que influyen sobre el rendimiento de los cultivos (agua, nutrientes, plagas, clima, etc.).

Es importante señalar que los recursos hidráulicos del país son escasos y mal distribuidos. Por lo tanto el hacer un uso eficiente del agua, es de vital importancia en la agricultura actual.

Para lograr lo anterior, se requiere disponer de técnicas que permitan determinar los requerimientos hídricos de los cultivos en diferentes condiciones de clima y de acuerdo a la etapa de desarrollo del cultivo, a la disponibilidad de agua en el suelo, etc.

El programa de mejoramiento de maíz de la UAAAN está liberando híbridos altamente rendidores como es el caso del híbrido AN-447. Requiriéndose conocer cuales son las necesidades hídricas de este cultivo y un procedimiento sencillo de estimarlas, para que los agricultores que utilicen este

material genético puedan calcular en forma práctica la cantidad de agua que deben aplicar al momento de los riegos.

Uno de los procedimientos para estimar los requerimientos hídricos de los cultivos bajo condición potencial o de máximo consumo de agua, es el de utilizar el coeficiente de desarrollo de cultivo "Kc", el cual representa la demanda de agua por la planta en sus diferentes etapas de desarrollo, la demanda del clima está representada por la evapotranspiración potencial de un cultivo de referencia o la evaporación de una superficie libre de agua.

Se consideró, que el procedimiento antes mencionado para estimar el consumo de agua del híbrido AN-447 era el más adecuado, siendo esta la finalidad del trabajo la de obtener los valores de Kc para este material vegetativo.

#### **OBJETIVOS**

Medir la evapotranspiración potencial o máxima del híbrido AN-447 en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

Calcular el coeficiente de desarrollo "Kc" durante el ciclo de desarrollo del cultivo y obtener las ecuaciones de ajuste en función del desarrollo vegetativo relativo y de las unidades calor acumuladas.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades del Maíz

De acuerdo con estudios de la FAO (1993), definen la planta del maíz como un sistema metabólico cuyo producto final son los granos, los que contienen básicamente grandes cantidades de almidón.

En cuanto a los usos del maíz, tiene una gran diversidad entre los que se destacan :

Alimentación humana, alimentación de ganado, materia prima en la industria y la utilización de semilla para siembra.

El maíz en la industria básica se utiliza para producir artículos que son utilizados como insumos en la industria complementaria o como productos para el consumo final.

El maíz en cuanto al valor nutricional, es un cultivo de indudables bondades, pero se le confiere un bajo valor nutricional dentro del conjunto de alimentos. Si no se complementa con otros alimentos, difícilmente se consigue una alimentación completa.

En 100 gramos de peso neto, el maíz contiene 362 Kilocorías; 7.9 gramos de proteína, 4.7 gramos de grasa, 73 gramos de carbohidratos, 159 miligramos de calcio, 3.2 miligramos de hierro, 0.36 miligramos de tiamina, 0.06 miligramos de riboflavina, y 1.9 miligramos de niacina.

Durante el proceso de transformación vía industrialización, el maíz en grano sufre alteraciones químicas que reducen su contenido nutricional, de tal manera que la tortilla, como principal forma de consumo, en una cantidad de 100 gramos contiene 244 Kilocorías, 5.9 gramos de proteínas, 1.5 gramos de

grasa, 47.2 gramos de carbohidratos, 108 miligramos de calcio, 2.5 miligramos de hierro, 0.17 miligramos tiamina, 0.08 miligramos de riboflavina, y 1.5 miligramos de niacina.

## **2.2. Requerimiento de Agua del Maíz**

Palacios (1994), menciona para que el maíz pueda desarrollarse necesita agua en cantidad considerable. Esta agua puede ser proporcionada por la lluvia solamente en algunos lugares, en otros es necesario complementar sus necesidades mediante el riego.

Para un desarrollo óptimo de este cultivo, no sólo requiere de cierta cantidad de agua, sino que su aplicación debe dosificarse adecuadamente durante el tiempo que dura su ciclo vegetativo, desde la siembra hasta su maduración. Si el agua escasea durante periodos prolongados, el rendimiento de la planta disminuye proporcionalmente al déficit de humedad que sufra, pudiendo llegar a marchitarse y morir prematuramente si la escasez de agua se prolonga. Por otra parte, cuando la cantidad de agua que recibe es excesiva y el sobrante no puede ser fácilmente drenado, también el rendimiento se afectará, llegando a ser nulo si la humedad afecta el intercambio de oxígeno y por lo tanto la respiración de las raíces.

Para lograr cosechas óptimas, no solamente debe cuidarse de proporcionar el agua en la cantidad y oportunidad adecuada, si no que muchos otros factores que influyen en el rendimiento también deben ser tomados en consideración, como lo es la selección de semillas más apropiadas, las preparaciones de la tierra, la fertilización, el control de plagas y enfermedades, así como otras actividades que garanticen el desarrollo del cultivo en condiciones favorables. En general, se dispone de suficiente tecnología agrícola, que si es debidamente utilizada, garantizará rendimientos muy superiores a los que actualmente se obtienen en la mayoría de los cultivos; sin embargo, la mayor parte de los agricultores no la utilizan bien y en consecuencia sus rendimientos son bastante menores que los potenciales.

Desgraciadamente, en gran parte del país el agua de lluvia no es suficiente para lograr cosechas económicamente productivas, por lo que es necesario regar. También es evidente que

el agua se está volviendo un recurso escaso porque su demanda crece continuamente, no sólo para los usos agrícolas, sino también para el abastecimiento de los usos domésticos e industriales.

Aldrich (1974), cita que el abastecimiento de agua es uno de los factores que limitan el crecimiento y producción de maíz, se considera que el cultivo requiere aproximadamente 750 litros de agua por kg de grano producido ya que las lluvias que se registran entre el periodo de siembra y la madurez del grano, difícilmente alcanzan para suministrar los 400 a 610 mm de agua que se necesitan para producir de 6, 200 a 10, 800 kg de maíz por ha. en un ciclo de crecimiento de los 100 a 130 días.

### **2.3. Factores que Influyen en los Requerimientos de Agua por el Cultivo de Maíz**

#### **Influencia del clima**

Si el cultivo se desarrolla en un clima soleado y caliente, necesita más agua por día que el mismo cultivo desarrollado en un clima frío y nublado. Sin embargo, existen aparte de brillantez del sol y temperatura, otros factores climáticos que influyen sobre el uso consuntivo. Estos factores son: humedad y velocidad del viento. Cuando es seco, el uso consuntivo del cultivo es más alto que cuando es húmedo. En climas ventosos, los cultivos utilizarán más agua que en climas sin viento.

Los usos consuntivos más altos se encuentran en áreas que son calurosas, secas, ventosas y soleadas. Los valores más bajos se encuentran en lugares frescos, húmedos y nublados con poco o ningún viento.

## **Influencia del tipo de Cultivo sobre el Uso Consuntivo**

Es importante en dos maneras:

El tipo de cultivo influye sobre el uso consuntivo diario de un cultivo completamente desarrollado; ejem., el uso consuntivo diario mayor del cultivo de maíz será superior que un cultivo completamente desarrollado de cebolla.

El tipo de cultivo influye sobre la duración del ciclo vegetativo. Hay cultivos de corta duración, ejem., chícharo, con un ciclo vegetativo de 90 a 100 días y cultivos de duración más larga, ejem., el melón, con una duración total de 120 a 160 días. (FAO, 1977).

## **2.4. Evapotranspiración**

La evapotranspiración (ET) es la cantidad de agua que los cultivos transpiran, además de la cantidad de agua evaporada directamente del suelo (Blaney y Criddle, 1962; Gavande, 1982).

Blaney (1955), cita que el estudio de la evapotranspiración de los cultivos, es de gran importancia en la agricultura, dado que su conocimiento permite determinar en que momento y en que cantidad se debe reponer el agua en el suelo que se ha perdido por dicho proceso. La intensidad con que ésta se realiza estará supeditada a las condiciones atmosféricas y a la habilidad de las plantas para extraer y conducir el agua desde el suelo hacia la atmósfera.

Brady (1974), establece que ambos fenómenos, transpiración y evaporación obedecen a las mismas causas físicas. Esto es, obedecen a diferencias de presión de vapor de agua entre las hojas o el suelo y la atmósfera.

Para cada gramo evaporado, se requieren 540 calorías. El sol es el que provee dicha energía, por lo que a mayor cantidad de irradiación solar, las pérdidas por transpiración o evaporación serán mayores.

Si la diferencia de presión de vapor de agua es alta, entonces la evapotranspiración ocurre con mayor intensidad, pero si es baja entonces se considera un día "húmedo" y la evapotranspiración es lenta.

Torres (1984), menciona que la evapotranspiración puede ser considerada como potencial (ETp), si se realiza bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo, y es medida en un cultivo agrícola de porte bajo y de cobertura completo. Si la evapotranspiración se realiza bajo condiciones óptimas de humedad pero en un cultivo cuya cobertura no sea completa se define como máxima (ETm).

La evapotranspiración real (ETr) se define como la cantidad de agua que un cultivo ha evapotranspirado en condiciones no óptimas de humedad en el suelo, es decir en condiciones restringidas de agua, cuyo límite inferior corresponde a la Etr de un cultivo pluvial o de temporal.

Jensen et al., (1970), señala que la separación de la evapotranspiración (ET) en evaporación del suelo (E) y transpiración del cultivo (T) y sus interacciones son un problema importante en la conservación y manejo del agua. En un enfoque empírico para la predicción de la ET, las respuestas del cultivo del sistema suelo planta atmósfera y el manejo de factores más importantes como el coeficiente para el cultivo en diferentes etapas de crecimiento, las necesidades actuales de agua del cultivo son obtenidas por multiplicación de la ET de referencia por la etapa y el coeficiente específico del cultivo.

Ritchie (1973), menciona que en la predicción de las tasas de evaporación de los cultivos, es importante considerar la influencia de la condición del agua en el suelo sobre la tasa de evaporación actual con relación a la tasa potencial. El realizó un experimento para determinar la tasa de evaporación actual del maíz influenciada por el contenido de humedad del



suelo y la tasa de evaporación potencial. Encontró que las tasas de evaporación son totalmente independientes del contenido de humedad de suelo para todas las condiciones prevalecientes de evaporación potencial. Durante la estación de crecimiento del cultivo fueron removidos más de 200 mm. de lámina de agua del perfil del suelo de 20 cm. de profundidad. Mediciones de resistencia a la difusión y el potencial hídrico de la hoja indicaron que por lo menos el 80% de la humedad aprovechable estuvo disponible para la planta.

Eavis y Taylor (1979), afirmaron que la tasa de transpiración está determinada por las condiciones climáticas y por la disponibilidad del agua en el suelo, la transpiración se reduce cuando las raíces no reabastecen el agua perdida por los estomas, de tal manera que la respuesta de la hoja es cerrar los estomas dependiendo del comportamiento del estrés previo de la planta, la longitud y edad de las raíces. Las relaciones son muy complejas y difíciles de modelar, empíricamente, aún cuando muchos investigadores lo han intentado, un enfoque mecanista requiere realizar varios ajustes durante cada simulación.

García y Briones (1986), mencionan que el uso consuntivo es para cualquier propósito práctico idéntico a la evapotranspiración. El factor climático mas importante que afecta la evapotranspiración es la radiación solar, porque es la fuente de la energía necesaria para transferir de un estado líquido a un estado vapor, tanto en la planta como en el suelo.

De los Santos (1971), menciona que la latitud tiene influencia considerable en la cantidad del agua consumida en diversas plantas, debido al movimiento de la tierra y la inclinación del eje de la misma, las horas del día durante el verano son mayores en latitudes boreales (del norte) que el ecuador. Dado que el sol es la fuente de toda energía empleada en el desarrollo de los cultivos y en la evaporación del agua, esta duración mayor del día permite a las plantas continuar transpirando por un periodo mayor durante cada día lo que produce un efecto similar a la prolongación del periodo de crecimiento.

De acuerdo con Rosemberg (1974), se define como evapotranspiración potencial a evaporación del agua, de un cultivo verde, de pequeña talla, que cubre totalmente la superficie de suelo que presenta una mínima resistencia al flujo de agua, y que continuamente es regada. Obsérvese que de acuerdo a esta definición, se pretende que la oferta de agua por parte de la planta y el suelo, sea prácticamente ilimitada; es decir la evapotranspiración potencial depende fundamentalmente de los factores atmosféricos.

La evapotranspiración potencial es menor o cuando más igual a la evaporación del agua en una superficie libre.

## **2.5. Medición de la Evapotranspiración**

Según Tanner (1967), los métodos para medir la evapotranspiración pueden ser divididos en tres clases: Primero los métodos que utilizan el balance hídrico o hidrológico; segundo los métodos meteorológicos y tercero los métodos empíricos.

El método de balance de agua para medir la evapotranspiración, consiste en medir los cambios en la humedad del suelo en un intervalo de tiempo dado, considerando las aportaciones por lluvia y riego y las pérdidas por drenaje. Los cambios de humedad en el suelo, pueden ser medidos por medio de muestreos gravimétricos periódicos o controlando los cambios de peso de una masa de suelo contenida en un recipiente (lisímetros).

Los métodos micrometeorológicos proporcionan una medición de la densidad de flujo de vapor de agua en la capa límite de la atmósfera, basándose en leyes físicas de balance de energía o del transporte del vapor de agua en un medio turbulento.

Los métodos empíricos son principalmente fórmulas relacionando mediciones climatológicas y la evapotranspiración. Estas relaciones usualmente se aplican para una

localidad dada, vegetación, etapa de desarrollo y estación. Las ecuaciones son basadas en radiación solar, temperatura media, aproximación simple de Dalton, tanque evaporímetro y atmómetros.

Torres (1984), cita los mismos métodos y además menciona el método de la técnica del coeficiente de Bowen, el cual se basa en datos de radiación neta, calor específico del aire, gradiente de temperatura, calor de vaporización del agua.

Linsley (1979), menciona que el tanque evaporímetro es sin lugar a dudas el instrumento de evaporación de mayor uso en la actualidad, su aplicación en el diseño hidrológico y en estudios de operación ha sido reconocida desde hace mucho tiempo por la Organización Meteorológica Mundial.

Considerando que la evapotranspiración y la evaporación a partir de una superficie de agua libre están afectadas por los mismos factores meteorológicos: Radiación, humedad relativa, viento y temperatura. Aunque existen diferencias en cuanto a la rugosidad de la superficie, su albedo y posiblemente otros factores involucrados, la evaporación del agua libre debe ser un mejor índice de la evapotranspiración potencial que la temperatura del aire.

Gavande (1982), menciona que la estimación de Penman es intermedia entre la evapotranspiración medida en parcelas húmedas y secas. Mientras no se encuentran métodos mejores, la fórmula de Penman parece preferible a los otros métodos para estimar la evapotranspiración potencial, por cuanto en gran parte se basa en principios físicos.

García y Briones (1986), mencionan que el método modificado de Jensen–Haise es considerado como uno de los mejores para estimar la evapotranspiración potencial entre las regiones áridas y semiáridas del país.

## **2.6. Coeficiente de Cultivo Kc**

Jensen (1974), menciona que el coeficiente del cultivo es normalmente obtenido bajo condiciones óptimas de desarrollo del cultivo, por medio de la relación de evapotranspiración máxima y evapotranspiración potencial. En un cultivo en particular el coeficiente varía con el tiempo y constituye una curva del cultivo, lo cual puede ser expresada como una función del desarrollo vegetativo relativo (DVR) o las unidades de calor acumuladas (UCA).

Torres (1995), menciona que los coeficientes decenales del cultivo, indica la fracción de la ETP que se considera como necesidad hídrica del cultivo, y varía según la etapa fenológica del mismo, el autor recomienda los siguientes valores de  $K_c$  para una curva normalizada.

- a) Primera etapa.- De la fase de emergencia hasta tres semanas antes de la floración. El  $K_c$  aumenta de 0.3 en emergencia hasta 0.9 al final de esta etapa.
- b) Segunda etapa. Máxima cobertura del cultivo; va desde tres semanas antes, hasta cuatro semanas después de la floración aproximadamente. El  $k_c$  vale 1.0.
- c) Tercera etapa. Desde cuatro semanas después de la floración (aproximadamente), hasta la madurez fisiológica del cultivo. El  $K_c$  tiene valores aproximados de 0.9 a 0.4.

Sammis y Mapel (1985), cita que el valor del “ $K_c$ ” es importantísimo en el resultado final y por lo tanto en las dosis de agua a aplicar, lo que mediante la experimentación se puede fijar valor para cada lugar.

Palacios (1980), menciona que para obtener estimaciones aceptables de evapotranspiración real o actual de los cultivos, deben considerarse los factores edáficos. Además este mismo autor señala que en condiciones de máxima evapotranspiración, sólo la planta afecta la oferta de agua. En éstas condiciones la estimación de la evapotranspiración potencial por un coeficiente que es función del cultivo. Por otro lado, si se considera que la evaporación del tanque es el estimador de la evapotranspiración potencial, entonces el valor del  $K_{ci}$  estará dado por:

$$K_{ci} = \frac{E_{txi}}{E_{vi}}$$

Donde:

$K_{ci}$  = Coeficiente del ajuste de demanda evapotranspirativa potencial por desarrollo (adimensional).

$E_{txi}$  = Evapotranspirativa máxima del cultivo en el  $i$ -ésimo período de desarrollo (lámina/tiempo).

$E_{vi}$  = Evaporación del tanque tipo "A" en el  $i$ -ésimo período de desarrollo (lámina/tiempo).

De acuerdo a las investigaciones realizadas por Palacios y Exebio (1989), se encontró que para calcular  $k_c$ , puede usarse un valor medio del índice de área foliar del cultivo, y el desarrollo vegetativo relativo del cultivo. Ellos citan que la función usada para calcular  $K_c$ , es la propuesta por Norero.

$$K_c = k + F \left( \frac{t}{T_c} \right)^2 - F \left( \frac{t}{T_c} \right)^3$$

Dónde:

$K_c$  = Coeficiente de ajuste de la evapotranspiración por desarrollo del cultivo;

$k$  = coeficiente que representa la proporción de la evaporación del suelo desnudo;

$F$  = factor cuyo valor es aproximadamente 1/3 del índice del área foliar medio del cultivo;

$t$  = número de días de desarrollo del cultivo;

$T_c$  = días totales del ciclo vegetativo del ciclo.

Wright (1982), indica que los coeficientes para un cultivo en particular varían con el tiempo y constituyen una curva del cultivo. La cual puede ser expresada como una relación de

ETM/ETP con respecto al tiempo, donde el tiempo puede estar dado en días julianos o días desde la siembra.

Doorenbos y Kassan (1979), mencionan que la curva del cultivo, donde el coeficiente puede ser constante o incrementarse linealmente en la etapa. Siendo necesario expresar el número de días en cada etapa.

Horton (1970), estima el  $K_c$  por una función que involucra el índice de área foliar ( $IAF$ ).

$$K_c = 0.55 * IAF$$

Bastin (1970), menciona que el crecimiento y desarrollo depende de todos los factores del medio ambiente; en cuanto al efecto de la temperatura indica que en general, el crecimiento de una planta se sitúa entre un mínimo ligeramente superior a 0°C un máximo de 40°C a 50°C y que entre éstos extremos se encuentra la llamada temperatura óptima (de 25°C a 35°C), a la cual la velocidad del crecimiento es máximo.

Heilman *et. al* (1982), desarrollaron las relaciones entre los  $K_c$  promedio para alfalfa y porcentaje de cobertura vegetal y también la relación entre el índice de vegetación perpendicular (PVI), y el porcentaje de cobertura vegetal, tales relaciones permitieron inferir el coeficiente del cultivo promedio para alfalfa a partir de estimaciones espectrales de la cobertura vegetal. Este proceso multifase es cansado, por que más de una relación debe ser desarrollada para un cultivo dado; una estimación directa del  $K_c$  sería más aplicable en los modelos de calendarización del riego.

Fritschen y Sahw (1961), obtuvieron una relación de evapotranspiración a evaporación llamado coeficiente de desarrollo ( $K_c$ ), para maíz de 0.82 que fue constante después de que la planta tuvo una altura de 1.27 m.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ubicación del Sitio Experimental**

El presente trabajo de investigación se realizó en terrenos de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN), en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México situada entre los paralelos  $25^{\circ} 16' 13''$  y  $25^{\circ} 21' 28''$  latitud norte y los meridianos  $101^{\circ} 59' 43''$  y  $101^{\circ} 00' 25''$  longitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich y a una altitud de 1743 msnm.

### **3.2. Características del Clima**

A continuación se presenta la descripción del clima, de acuerdo a la clasificación de Köppen modificado por García (1964) en el cual se presentan los siguientes tipos de clima para el área de ubicación de los terrenos de la UAAAN.

Bs, Kx .- Corresponde a un seco, semiseco templado con lluvias escasas todo el año, el porcentaje de precipitación invernal es mayor de 18 por ciento con respecto al total anual, verano cálido, la temperatura media anual varía entre 12°C-18°C, siendo para el mes más cálido de 18° C y para el mes más frío oscilan entre -3°C-18°C.

b) Cx .- Templado semiárido, con lluvias escasas todo el año y la precipitación pluvial invernal mayor de 18 por ciento con respecto al total anual.

La precipitación media anual es de alrededor de 345 milímetros, siendo los meses más lluviosos de junio a septiembre presentándose la máxima precipitación en el mes de junio.

La evaporación promedio mensual es de 178 milímetros, presentándose la máxima entre los meses de mayo y junio (236 y 234 mm respectivamente).

### **3.3. Características del Suelo**

#### **3.3.1. Análisis Físico**

El terreno experimental es de un suelo profundo, buena agregación y sin problemas de salinidad.

Previo al inicio del experimento se determinaron las propiedades físicas del suelo siendo estas: la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente por el método de la membrana de presión, la densidad aparente por el método del cilindro. Estas propiedades



se determinaron es seis estratos hasta una profundidad de 1.30 m, los valores se presenta en el cuadro 3.1

La textura del suelo se determinó en el laboratorio utilizando para ello el método Bouyoucos.

**Cuadro 3.1. Valores de densidad aparente (DA), capacidad de campo (CC) y punto de marchitamiento permanente del sitio experimental.**

<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>DA</b>	<b>CC BASE</b>	<b>PMP BASE</b>
<b>(cm)</b>	<b>(gr/cc)</b>	<b>VOL. (%)</b>	<b>VOL.(%)</b>
0-20	1.28	26.80	13.07
20-40	1.09	25.94	12.71
40-60	1.10	24.50	13.80
60-80	1.08	25.50	14.26
80-100	1.24	28.41	13.70
100-130	1.24	28.41	13.70

**CUADRO 3.2 Texturas del suelo del sitio experimental.**

<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>ARENA</b>	<b>LIMO</b>	<b>ARCILLA</b>	<b>TEXTURA</b>
<b>(cm)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	
0-20	56.4	15.6	28.0	MAA
20-40	57.6	16.0	26.4	MAA
40-60	49.6	16.0	34.4	MAA
60-80	41.6	20.0	38.4	MA
80-100	41.6	18.0	40.4	A

100-130                      45.6                      14.0                      40.4                      AA

---

Migajón-Arcillo-Arenoso = MAA; Migajón-Arcilloso = MA; A = Arcilla;

AA = Arcilla-Arenosa

### 3.3.2 Análisis Químico

El análisis químico se efectuó para determinar las características químicas del suelo donde se estableció el experimento tales como salinidad y sodicidad. Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 3.3. Los análisis fueron hechos por estratos de 20 cm.

**CUADRO 3.3. Propiedades Químicas del Suelo.**

PARAMETRO	PROFUNDIDAD (cm)					
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120
PH	6.44	6.49	6.40	6.21	6.24	6.19
CE (ds/lm)	1.20	0.809	0.60	0.95	0.83	0.58
MO (%)	4.15	5.20	1.44	1.81	1.06	0.91
N (%)	0.21	0.26	0.076	0.09	0.057	0.05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/ha)	112.5	90.40	52.20	81.45	50.85	53.10
K+ (Kg/ha)	900.0	103.5	337.5	499.50	333.00	360.0
CO <sub>3</sub> (%)	68.13	65.68	68.13	59.31	61.76	59.80

### 3.4. Establecimiento y Desarrollo del Experimento

#### 3.4.1. Siembra

El área experimental era de 408 m<sup>2</sup> (34x12m), en la cual se ubicaron tres parcelas de 120 m<sup>2</sup> cada uno (12x10). El día 7 de mayo se barbechó toda la superficie. El día 22 de mayo se dio doble paso de rastra, se sembró y se fertilizó con maquinaria. La separación de siembra entre líneas de plantas fué de 0.85 m. La densidad de población recomendada era de 60,000 pl./ha., la cantidad de semilla que se sembró fue superior al de la densidad recomendada, el día 16 de junio se efectuó el aclareo, dejando 6 plantas por metro lineal para una densidad de 70,588 pl./ha.

#### **3.4.2. Material Genético Utilizado.**

Las características del híbrido de maíz AN-447 son principalmente: ciclo vegetativo intermedio, altura promedio de la planta 2.8 m, altura promedio de mazorca 1.3 m, de 75 a 80 días a la floración, de 140 a 150 días a cosecha, color de la planta verde claro, espiga blanca y tipo de grano blanco, semidentado.

#### **3.4.3. Fertilización**

La dosis de fertilizante aportada fue la fórmula 180-104-70, al momento de la siembra se aportó el 45% del nitrógeno, el 100% del fósforo y el 43% del potasio. El resto se incorporó al momento del aporque 42 días después de la siembra en forma manual. Las fuentes de fertilización fueron sulfato de amonio, MAP y sulfato de potasio.

#### **3.4.4. Control Fitosanitario**

El cultivo no tuvo problemas con plagas o enfermedades. Las malezas se controlaron con el aporque efectuado a los 42 días después de la siembra.

### 3.4.5. Calibración del Dispersor de Neutrones

Se realizó la calibración del aparato, para esto se instalaron tres tubo de aluminio, enterrándose a una profundidad de 120 cm, en una superficie de un metro cuadrado por tubo, en uno de los tubos el suelo se encontraba en condiciones de capacidad de humedad de campo (punto húmedo), otro tubo se encontraba en un suelo seco y otros se encontraban en suelos donde el contenido humedad era entre los dos rangos. Se tomaron medidas de humedad con el dispersor de neutrones y por el método gravimétrico por estratos de 20 cm hasta llegar a los 120 cm, con estos puntos se realizó la regresión para calibrar el aparato. Se obtuvieron dos ecuaciones, una donde solo involucra al primer estrato ( 0 - 20 cm) y la otra ecuación involucra a los demás estratos (20-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-120cm). La ecuación para el primer estrato fue:

$$\%Vol Real = 9.35 + 0.76 * \%Vol.Dispersor \rightarrow r^2 = 1$$

**La ecuación para los demás estratos fue:**

$$\%Vol.Real = 1.94 + 0.86 * Vol.Dispersor \rightarrow r^2 = 0.9$$

*Dónde:*

%Vol. Real = Contenido de humedad en el suelo base volumen de suelo en %

%Vol. Dispersor = Contenido teórico de humedad en el suelo base volumen de suelo, en %. El aparato está calibrado de fábrica y proporciona un valor teórico.

### 3.4.6. Dispositivo Experimental

El área experimental contaba con tres unidades de 120 m<sup>2</sup> cada una. En las cuales se establecieron tres condiciones diferentes de manejo de agua que se presentan en el cuadro 3.4.

**Cuadro 3.4 Tratamientos de riego implementados en el experimento**

<p>Tratamiento 1</p> <p>Tratamientos referencial (ETM-REF), en el cual no existieron restricciones de humedad durante todo el ciclo vegetativo del cultivo, para lo cual se aplicaron riegos frecuentes a intervalos máximos de 10 días a excepción que debido a la lluvia el suelo tuviera su máximo contenido de agua.</p>
<p>Tratamiento 2</p> <p>Se aplicaron solamente dos riegos de auxilio el primer riego recibió en la etapa vegetativa (22 días después de la siembra y otro en la etapa de floración (72 días después de la siembra).</p>
<p>Tratamiento 3</p> <p>Se aplicó un sólo riego de auxilio en la etapa vegetativa.</p>

El tratamiento 1, representa la condición potencial o de máximo consumo de agua por el cultivo, la información para el desarrollo del trabajo se obtuvo de esta parcela.

Al centro de la unidad experimental se colocó un tubo para que la sonda del dispersor accediera a los diferentes estratos con el dispersor de neutrones, marca Troxler 3320 y así poder medir el contenido de humedad hasta una profundidad de 120 cm por estratos de 20 cm.

### 3.4.7. Medición de la Evapotranspiración Máxima del Cultivo

Para medir el consumo de agua por el cultivo en función del tiempo, se utilizaron mediciones frecuentes (a intervalos máximos de 7 días) del contenido de humedad con el dispersor de neutrones. Para calcular la evapotranspiración en los diferentes intervalos de tiempo a través del desarrollo del cultivo, se utilizó la ecuación de balance de agua en el suelo:

$$(HS_p - HS_a = -ETi + Ri + Pi$$

*Dónde:*

*HS<sub>p</sub>* = Contenido de Humedad del suelo en el día posterior en cm

*HS<sub>a</sub>* = Contenido de Humedad en el suelo en el día anterior en cm

*Ri* = Riego en el intervalo de tiempo *i* en cm

*Pi* = Precipitación en el intervalo de tiempo *i* en cm

*ETi* = Evapotranspiración en el intervalo de tiempo *i*.

Por lo tanto la ecuación para medir la evapotranspiración es la siguiente.

$$ETi = (HS_p - HS_a) - Ri - Pi$$

## 3.5. Datos Climatológicos

Durante el tiempo que duró el experimento se tomaron mediciones de evaporación diarias del tanque tipo "A", temperaturas diarias, y precipitación.

En los cuadros II del apéndice se muestra ésta información.

### 3.5.1. Descripción del Modelo para Estimar el Coeficiente de Ajuste por Desarrollo del Cultivo.

El modelo fue probado para obtener una función ajustada que estime el coeficiente de ajuste por desarrollo del cultivo ( $K_c$ ) ya sea en función del desarrollo vegetativo relativo o en función de las unidades calor acumuladas para el tratamiento.

La obtención del modelo consiste en realizar una regresión de tercer orden con el coeficiente real del cultivo ( $K_c$ ) en función del desarrollo vegetativo relativo, o unidades calor acumuladas, la ecuación del modelo es la siguiente:

$$K_c = B_0 + B_1 * (X) + B_2 * (X)^2 + B_3 * (X)^3$$

*Dónde:*

*$K_c$  = Es el coeficiente de ajuste por desarrollo del cultivo.*

*$B_0, B_1, B_2,$  y  $B_3$  = Coeficientes de la regresión.*

*$X$  = Desarrollo Vegetativo Relativo (DVR) o Unidades Calor Acumuladas (UCA).*

### 3.5.2. Cálculo del $K_c$ Real

El  $K_c$  del cultivo para la condición potencial o de máximo consumo, se obtuvo relacionando la evapotranspiración máxima del cultivo en cada uno de los intervalos de muestreo con la evaporación del tanque tipo "A", en ese mismo intervalo.

$$K_{ci} = \frac{ET_{Mi}}{E_{Vi}}$$

*Dónde:*

*Evi = Evaporación del tanque tipo "A" en el período i.*

*ETMi = Evapotranspiración máxima del cultivo en el período i.*

Para obtener las ecuaciones de ajuste (cúbica) de Kc en función del DVR; Kc en función del las UCA se calculó el desarrollo vegetativo del cultivo y las unidades calor acumuladas.

### **Calculo del Desarrollo Vegetativo Relativo y de las Unidades Calor Acumuladas**

El desarrollo vegetativo relativo es la representación de la evolución del cultivo desde la emergencia hasta el fin del ciclo, como una fracción de la duración total del ciclo del cultivo.

$$DVR = \frac{DDE}{DCF}$$

*Dónde:*

*DVR = Desarrollo Vegetativo Relativo*

*DDE = Días después de la emergencia*

*DCF = Duración del ciclo vegetativo.*

### **Cálculo de las Unidades Calor Acumuladas**

Para determinar las unidades calor acumuladas se tienen que tomar las temperaturas medias diarias del aire después de la emergencia, hasta la maduración.

Es muy importante tener en consideración el punto crítico (PC) para el cultivo, el cual presenta la temperatura media del aire a partir de la cual empieza el crecimiento de la planta (Torres, 1986). En el caso del maíz el punto crítico es considerado a una temperatura media de 7°C.

Para determinar la unidad de calor diaria se obtiene la diferencia entre la temperatura media diaria (*Tm*) y el punto crítico (*PC*).

$$UC = [Tm - PC]$$



La temperatura media es obtenida con la siguiente ecuación.

$$Tm = \left[ \frac{T \text{ máxima} + T \text{ mínima}}{2} \right]$$

*Dónde:*

*T máxima = Temperatura máxima diaria (°C).*

*T mínima = Temperatura mínima diaria (°C).*

Para las unidades calor acumuladas será una sumatoria de las unidades calor diarias de todo el ciclo fenológico como muestra la ecuación siguiente:

$$UCA = \sum_{i=1}^n (UC)$$

n = Número de días contados después de la emergencia.

La acumulación de las unidades calor durante una etapa vegetativa, es algo variable para lugares diferentes y en un mismo lugar para años distintos y en diferentes fechas de siembra.

### **3.5.3. Rendimiento**

La cosecha se efectuó a los 158 días después de la siembra, considerando al cultivo en la etapa de madurez fisiológica, se cosecharon 60 plantas de los surcos centrales de la parcela útil que corresponde a 10 m<sup>2</sup> de la parcela útil, se obtuvo 10.55 ton/ha de rendimiento.

### **3.6. Variables de Clima**

La información climatológica correspondiente a evaporación del tanque tipo "A", lluvia y temperatura media diaria del aire fueron proporcionada por la estación del Servicio Meteorológico Nacional ubicado en terrenos de la Universidad Autónoma agraria Antonio Narro,

considerando el período en que se desarrolló el experimento de campo (de Mayo a Septiembre de 1998).

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSION**

Es necesario aclarar que los resultados obtenidos corresponde al tratamiento bajo condición ETM.

##### **4.1. Coeficientes de Ajuste por Desarrollo del Cultivo**

Los coeficientes de Kc real obtenidos en las diferentes fechas aplicando la metodología descrita en la sección de materiales y métodos se muestra en el cuadro 4.2. Con estos valores se realizó una regresión de tercer orden con el desarrollo vegetativo relativo (DVR) y las unidades calor acumuladas (UCA), para desarrollar el ajuste estadístico del modelo.

##### **4.2. Análisis de tendencias**

Las figuras 4.1., 4.2., 4.3., y 4.4., muestran la evolución del coeficiente de ajuste por desarrollo del cultivo (Kc) en función del desarrollo vegetativo relativo y de las unidades calor acumuladas. Observándose que el Kc tiende a incrementarse hasta llegar a un máximo, posteriormente tiende a disminuir.

La explicación a este comportamiento, es que al inicio la planta dispone de menor área foliar por lo tanto es mayor la evaporación del suelo que la transpiración, al incrementarse el desarrollo de la planta se incrementa el área foliar y por consecuencia la evapotranspiración.

La evapotranspiración máxima es alcanzada en el período reproductivo, la disminución de la evapotranspiración es ocasionada porque las plantas entran en la etapa senescente y comienzan a perder hojas y por lo tanto pierde la capacidad de transpiración.

En la figura 4.3 que representa el modelo para estimar el Kc en función de las unidades calor acumuladas se puede observar que el Kc máximo del cultivo se representa cuando ha acumulado entre 1500 a 1600 grados de temperatura.

#### **4.3. Evaluación del Modelo**

El ajuste de datos fue ensayado para el modelo cúbico para el tratamiento que se mantuvo a ETM, del cual resultaron 4 ecuaciones, y se evaluaron en base a la significancia de sus coeficientes de regresión (B0, B1, B2, B3) y determinación ( $r^2$ ), los cuales se presentan en el cuadro 4.3. El coeficiente de determinación para las Unidades Calor Acumuladas muestra el mejor ajuste ( $r^2=0.822$ ), en los otros tres variables el ajuste ( $r^2=0.80$ ). En el Cuadro 3 se presenta los valores ajustados de Kc para las cuatro variables.

#### **CUDRO 4.1. Coeficiente de la Regresión y de la Determinación para el Modelo.**

VARIABLE INDEPENDIENTE	COEFICIENTES DE REGRESION				COEFICIENTE
	B0	B1	B2	B3	R <sup>2</sup>
UCA	0.07899	-2.558e-4	1.678e-6	-6.695e-10	0.822
DDS	-0.24400	2.071e-2	2.471e-5	-8.757e-70	0.80
DVR	-0.03293	2.70050	1.03180	-3.520400	0.80
DIAS JULIANOS	-0.23716	-3.826e-2	3.943e-4	-8.7161e-7	0.801

**CUADRO 4.2. Valores de Evapotranspiración Actual, Evaporación Acumulada, Valores de Kc Real (observados), DVR, y UCA.**

FECHA	DDS	ET(cm)	EV (MM)	Kc (REAL)	DVR	UCA
31/05/98	10	1.7260	8.8070	0.1764	0.0199	178.8
16/06/98	26	2.0514	13.079	0.1787	0.1258	475.6
21	31	0.9304	4.6410	0.2968	0.1589	573.9
24	34	1.0432	2.6540	0.3871	0.1788	626.6
29	39	1.3770	3.6130	0.4865	0.2119	713.1
05/07/98	45	1.7220	2.9090	0.7061	0.2517	806
09	49	2.300	2.8040	0.6998	0.2781	870.3
12	52	1.4120	2.4370	0.6887	0.2980	922.5
19	59	3.1750	3.9790	0.7754	0.3444	1033.3
23	63	1.4530	1.9300	0.7746	0.3709	1096.5
26	66	1.4660	1.8410	0.8327	0.3907	1142.5
29	69	1.4732	1.6950	1.0768	0.4106	1187.6
01/08/98	72	2.5008	1.9470	1.4052	0.4305	1234.7
04	75	2.9040	1.9030	1.2405	0.4503	1278.7
08	79	1.1202	1.1730	0.881	0.4768	1336.2
11	82	1.3316	1.6500	1.1583	0.4967	1379.8
15	86	3.9582	2.6220	1.4588	0.5232	1442.7
19	90	2.4400	1.7330	1.2351	0.5497	1500.3
26	97	5.6020	5.274	1.1752	0.5960	1599.5
29	100	1.3680	1.0620	1.591	0.6159	1637.4
02/09/98	104	2.4980	1.3190	1.4231	0.6424	1685.6
05	107	1.1600	1.2180	1.1087	0.6623	1722.3
12	114	2.4960	1.9730	0.9488	0.7086	1802.9
16	118	0.7160	1.1320	0.8942	0.7351	1848.9
21	123	1.4460	1.2510	1.0967	0.7682	1908.3
25	127	1.0520	1.0140	0.8097	0.7947	1957.2
30	132	1.0220	1.7560	0.5896	0.8278	2022.3
05/10/98	137	1.1160	1.8690	0.693	0.8609	2098.7
09	141	0.942	1.1940	0.6973	0.8874	2129.8
14	146	0.9740	1.6080	0.6713	0.9205	2186.1
18	150	0.8120	1.1020	0.5655	0.9470	2239.2
22	154	0.0820	0.208	0.4376	0.9735	2262.5
26	158	0.3660	0.761	0.2405	1	2284

CUADRO 4.3. Valores de Kc para las diferentes etapas de desarrollo del cultivo

DDS	ETAPA	NOMENCLA TURA.	DVR	UCA	Kc
10	Vegetativa	V3	0.0199	178.8	0.0831
26	Vegetativa	V7	0.1258	475.6	0.2650
31	Vegetativa	V8	0.1589	573.9	0.3586
34	Vegetativa	V10	0.1788	626.6	0.4131
39	Vegetativa	V10	0.2119	713.1	0.5075

45	Vegetativa	V12	0.2517	806	0.6129
49	Vegetativa	V12	0.2781	870.3	0.6866
52	Vegetativa	V13	0.2980	922.5	0.7461
59	Vegetativa	V14	0.3444	1033.3	0.8685
63	Vegetativa	V15	0.3709	1096.5	0.9343
66	Vegetativa	V16	0.3907	1142.5	0.9797
69	Vegetativa	V18	0.4106	1187.6	1.0216
72	Panoja Masculina	VT	0.4305	1234.7	1.0623
75	Llenado grano	R1	0.4503	1278.7	1.0971
79	Llenado grano	R1	0.4768	1336.2	1.1374
82	Llenado grano	R1	0.4967	1379.8	1.1635
86	Llenado grano	R2	0.5232	1442.7	1.1938
90	Llenado grano	R2	0.5497	1500.3	1.2131
97	Llenado grano	R2	0.5960	1599.5	1.2252
100	Llenado grano	R3	0.6159	1637.4	1.2221
104	Llenado grano	R3	0.6424	1685.6	1.2114
107	Llenado grano	R3	0.6623	1722.3	1.1980
114	Llenado grano	R3	0.7086	1802.9	1.1513
118	Llenado grano	R3	0.7351	1848.9	1.1136
123	Llenado grano	R4	0.7682	1908.3	1.0520
127	Llenado grano	R5	0.7947	1957.2	0.9899
132	Llenado grano	R5	0.8278	2022.3	0.8905
137	Llenado grano	R5	0.8609	2098.7	0.7479
141	Llenado grano	R5	0.8874	2129.8	0.6816
146	Llenado grano	R5	0.9205	2186.1	0.5485
150	Maduración	MF	0.9470	2239.2	0.4072
154	Maduración	MF	0.9735	2262.5	0.3403
158	Maduración	MF	1	2284	0.2757

En el cuadro 4.3 se presentan los valores ajustadas de Kc en función de las unidades calor acumuladas, y los correspondientes valores de DVR, UCA, DDS,. Con la finalidad, de que la persona que quiera utilizar el Kc para determinar el consumo de agua por el cultivo o sus requerimientos de riego, pueda guiarse por cualquiera de las variables.

El desarrollo fenológico del cultivo se clasificó de acuerdo al método de Hanway y Ritchie, (1984).

Las etapas fenológicas y su nomenclatura se ajustaron con los datos muestreados en el campo y con el método citado anteriormente.

## **V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

De acuerdo al coeficiente de determinación, el mejor grado de ajuste se obtuvo con el Kc en función de las unidades calor acumuladas, el valor del coeficiente de determinación de 0.822, indica que la estimación de la

evapotranspiración máxima para el híbrido AN-447 utilizando el  $K_c$ , será lo más cercano al valor real, que en comparación con el  $K_c$  estimado con las otras variables (DDS, DVR, Días Julianos) que tuvieron un ajuste menor ( $r^2 = 0.80$ ).

Considerando que la utilización de las unidades calor para estimar el  $K_c$  en localidades que tengan diferentes condiciones climáticas será más apropiado que utilizar el desarrollo vegetativo relativo, debido a que no se podrá con exactitud predecir el ciclo del cultivo debido a las condiciones climáticas que pueden presentarse, las cuales alargarían o acortarían el ciclo vegetativo y por lo tanto es más difícil calcular el  $K_c$  con el desarrollo vegetativo relativo.

Se recomienda integrar los resultados obtenidos en este trabajo con los obtenidos en otras investigaciones similares con la finalidad de obtener un modelo general para maíz con las características agronómicas del que se utilizó en este trabajo.

Se recomienda este modelo para estimar el  $K_c$  del cultivo de maíz para la elaboración de los calendarios de riego.

## **VI. RESUMEN**

Esta investigación se realizó en terrenos de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN), en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México situada entre los paralelos 25° 16’



13" y 25° 21' 28" latitud norte y los meridianos 101° 59' 43" y 101° 00' 25" latitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich y a una altitud de 1743 msnm.

Las características climáticas del área en la cual se encontraron dos tipos de clima :

El primero : seco y semiseco templado y el segundo templado semiárido ; ambos con una precipitación pluvial escasa todo el año.

El cultivo utilizado para esta investigación fue maíz, variedad AN-447, la parcela experimental fue tomada de un experimento establecido para determinar un programa de riego para el cultivo en sus diferentes etapas fenológicas, la cual fue la que se mantuvo a evapotranspiración máxima.

Para el estudio se consideraron las etapas fenológicas del cultivo, así como los consumos de humedad en las diferentes etapas.

Se consideraron características del suelo mediante un análisis. Se probó un modelo de tercer orden (cúbico), para estimar el coeficiente de ajuste del cultivo (Kc) en diferentes fechas del ciclo vegetativo en relación al desarrollo vegetativo relativo y las unidades calor acumuladas.

Para aprobar el modelo se obtuvieron datos durante todo el ciclo vegetativo del cultivo, como son evaporación, evapotranspiración, desarrollo vegetativo relativo, temperatura máxima y mínima, así como precipitación los cuales fueron tomados en diferentes fechas. La temperatura crítica para el cultivo del maíz que se consideró fue de 7°C.

Las unidades calor acumuladas fueron calculadas con el punto crítico del cultivo utilizando el método residual ya que es el que más se ha utilizado para estimar unidades calor. Acumulándose las unidades calor desde la emergencia del cultivo hasta el término del ciclo fenológico.

Se realizó un análisis de regresión, con la finalidad de obtener coeficientes del modelo, considerando como variable dependiente el Kc real y variable independiente las unidades calor acumuladas y el desarrollo vegetativo relativo.

De acuerdo al coeficiente de la regresión  $R^2 = 0.82$  el Kc en función de las unidades calor acumuladas es tuvo un ajuste aceptable para estimar Kc.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Aldrich, S. R. 1974, Producción Moderna del maíz. 1a. Edición. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina.
- Bastin, R. 1970. Tratado de Fisiología Vegetal. Editorial Continental.
- Blaney, H. F. y W. D. Criddle. 1962. Determining Consumptive Use and Irrigation Water Requirements. U. S. Dept. Agr. Bull. No. 1275 p 59.
- Brady, N. C. 1974. The nature and Properties of Soils. Sava. Edición. Mac Millan Publishing CO. Inc. N. York. Pp 189-219.
- De Los Santos, V. S. 1971. Metodología para la determinación y Cálculo del uso consuntivo del agua. Memorandum. Técnico. No. 290, S.A.R.H. México.
- Doorenbos, S. And AH. Kassam. 1979. Yield Response To Water. FAO. Irrig. Drain. Paper No.33: 1-193.
- Eavis, B. W. and H. M. Taylor. 1979. Transpiration of soybeans as related to leaf area, root length and soil water content. Agronomy Journal. Vol. 71: 441-445.
- FAO (1977). Crop Water Requeriments. Irrigation and Drainage Paper 24. Rome.
- F.A.O. 1993. El maíz en la nutrición Humana. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación. Roma. Pp. 1-13
- Fritschen. L. J. and R. H. Shaw. 1961. Transpiration and Evapotranspiration of Corn as Related to Meteorological Factors. Agr. J. 53(2): 71-74
- García, C. I. y Briones, S. G. 1986. Diseño y Evaluación de Sistemas de Riego por aspersión y goteo. Departamento de Riego y Drenaje. U.A.A.A.N Saltillo, Coahuila.
- García, E de M. 1974. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen, Primera Edición.
- Gavande, S. A. 1982. Física de Suelos. Principios y aplicaciones. Editorial Limusa. México. Pp. 243.
- Heilman, J. L. and W.E. Heilman 1982. Evaluating the Crop coefficient Using Spectral Reflectance. Agronomy J. Vol. 74 Pp 967-968.

- Horton, M.L., M.Namken, and J.T. Ritchie 1970. Role of Plant Canopies in Evapotranspiration. Great plains Agricultural Council, publication No. 50 Kansas State University, Manhattan, Kansas, Pp301-338.
- INEGI, 1996. El sector Alimentario de México.
- Jensen, M. E., D. C. N. Robb and C. E. Franzoy. 1970. Scheduling irrigation using climate-crop-soil data. J. Irrigation And Drainage Div., ASCE. Vol. 96 : 25-38
- Jensen, M. E. 1974 Consumptive use of water and irrigation water requirements. Rpt. Tech. Comm on irrigation Water Requirements, ASCE. 1-215 pp
- Linsley, R. K., Kohler, M. A. 1979. Hidrología para Ingenieros. 2ª Edición.
- Palacios.V.E 1994., Importancia del Riego en los cultivos. III Curso Internacional de Sistemas de Riego Vol. 1: 1-1 Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco Estado de México.
- Palacios, V. E. 1980. Estimación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos para Conocer el Cuando y Cuanto Regar. Boletín Técnico No. 11 U.A.C.H., México.
- Palacios, V. E. Y Exebio, G.A. 1989. Introducción a la Teoría de la operación de distritos y sistemas de riego. Colegio de Postgraduados ed. E.N.A. Chapingo, México.
- Ritchie, J. T. 1973. Influence of soil status and meteorological conditions on evaporation For a corn canopy. Agronomy Journal. Vol. 65: 893-897
- Rosemberg N. J. 1974. Microclimate. The biological environment. John Wiley & Sons, New York.
- Sammis, T. W. And C. L. Mapel. 1985. Evapotranspiration crop coefficients predicted using Growing-Degree-Days. Transactions of the ASAE. 28: 773-780.
- Tanner, C. B. 1967. Measurement of evapotranspiration. In Irrigation of agricultural lands. Edited by Hagan. R. M; Haise. H. R. and Edminster. T. W. American Society of Agronomy. Publisher. 29: 534-574.
- Torres, R. E. 1984. Agrometeorología. Primera Edición. Editorial Diana. México.
- Torres, R. E.,1995. Agrometeorología, 1ª. Edicion,Trillas. México.
- Wright, J. L. 1982. New Evapotranspiration Crop Coefficients J. Irrigation Drain. Div. ASCE. 108 (IRI): 57-74

# APENDICE

**CUADRO I Croquis del Campo Experimental y Localización de la Parcela.**



**CUADRO II. Datos Climatológicos Tomados Durante el Desarrollo del Cultivo del Maíz en la UAAAN en 1998**

FECHA	DIAS DESDE SIEMBRA	TEMPERATURA °C			EVAPORACION TANQUE TIPO "A"(MM)	PRECIPITACION PLUVIAL (MM)
		MAX	MIN	MED		
22/05/98	1	36.5	21.5	29.0	11.06	0.0
23	2	34.5	19.5	27.0	8.73	0.0
24	3	33.0	18.4	25.7	9.97	0.0
25	4	32.2	20.0	26.1	8.38	Inap.
26	5	31.3	16.2	23.8	6.41	Inap.
27	6	31.0	18.4	24.7	10.23	Inap.
28	7	32.0	15.7	23.9	6.41	7.2
29	8	31.3	14.2	22.8	5.94	Inap.
30	9	30.4	15.3	22.9	10.29	0.0
31	10	32.0	13.8	22.9	10.65	0.0
01/06/98	11	31.3	11.0	21.2	9.36	0.0
2	12	34.0	16.2	25.1	8.82	0.0
3	13	36.5	19.8	28.2	10.70	0.0
4	14	36.0	21.2	28.6	10.01	Inap.
5	15	35.2	22.4	28.8	9.38	0.0
6	16	30.1	17.4	23.8	4.84	Inap.
7	17	32.5	15.0	23.8	8.19	0.0
8	18	33.5	19.5	26.5	10.38	7.9
9	19	31.1	19.0	25.1	6.74	7.2
10	20	29.8	17.3	23.6	12.21	Inap.
11	21	27.4	18.0	22.7	3.6	9.6
12	22	31.7	19.5	25.6	7.03	Inap.
13	23	33.5	18.0	25.8	9.09	Inap.
14	24	33.5	19.5	26.5	6.57	4.9
15	25	33.5	20.4	27.0	6.52	Inap.
16	26	33.2	19.8	26.5	7.35	Inap.
17	27	35.8	19.5	27.7	9.5	0.0

**CUADRO II. CONTINUACION.**

FECHA	DIAS DESDE SIEMBRA	TEMPERATURA °C			EVAPORACION TANQUE TIPO "A"(MM)	PRECIPITACION PLUVIAL (MM)
		MAX	MIN	MED		
18	28	33	21	27	8.92	Inap.
19	29	34	19.5	26.8	9.13	0.0
20	30	33	19.7	26.4	7.99	0.0
21	31	32.5	18.3	25.4	10.87	0.0
22	32	31.5	19	25.3	8.74	0.0
23	33	30	18.7	24.4	9.20	0.0
24	34	30.1	17.8	24	8.6	0.0
25	35	30	15.8	22.9	8.36	0.0
26	36	31.2	15.8	23.5	4.94	0.0
27	37	32.6	18.5	25.6	9.48	Inap.
28	38	31.5	18.9	25.2	7.17	Inap.
29	39	30	18.5	24.3	6.18	46
30	40	27	14.5	20.8	2.23	1.4
01/07/98	41	27	18.3	22.7	5.55	1.4
2	42	27.8	17.2	22.5	6.94	0.0
3	43	25.7	16.8	21.3	1.95	0.0
4	44	28.5	17.2	22.9	6.19	12.9
5	45	31.7	17.7	24.7	6.23	0.0
6	46	29.8	18.4	24.1	6.15	Inap.
7	47	30.6	17.2	23.9	10.03	Inap.
8	48	29.5	15.2	22.4	8.0	0.0
9	49	28.5	15.2	21.9	3.86	0.0
10	50	29.2	16.8	23	8.26	14.4
11	51	31.5	17.4	24.5	8.34	0.0
12	52	32.8	18.5	25.7	7.77	0.0
13	53	31.6	18	24.8	8.41	0.0
14	54	31.2	17	24.1	5.97	0.0

CUADRO II. CONTINUACION.

FECHA	DIAS DESDE SIEMBRA	TEMPERATURA °C			EVAPORACION TANQUE TIPO "A"(MM)	PRECIPITACION PLUVIAL (MM)
		MAX	MIN	MED		
15	55	26.2	15.2	20.7	4.20	Inap.
16	56	26.4	15.8	21.1	5.05	Inap.
17	57	28.5	15	21.8	4.13	2.4
18	58	29.7	16.5	23.1	5.92	Inap.
19	59	29.5	18.8	24.2	6.11	0.0
20	60	28.6	16	22.3	4.56	Inap.
21	61	29.6	16.8	23.2	4.8	0.0
22	62	29.1	16.8	23	5.11	3.0
23	63	29	16.3	22.7	4.83	2.4
24	64	29.5	15.5	22.5	5.03	8.8
25	65	29	16.5	22.8	7.64	18.7
26	66	27.2	16.2	21.7	5.74	0.0
28	67	27.5	16	21.8	5.86	2.6
27	68	27.6	16.5	22.1	5.81	2.1
29	69	28.2	16.2	22.2	5.28	1.6
30	70	30	17.8	23.9	6.24	10.0
31	71	30.2	15.5	22.9	8.18	0.0
01/08/98	72	27.5	15	21.3	5.05	0.0
2	73	28	15	21.5	4.76	0.0
3	74	29.5	15.1	22.3	7.72	3.9
4	75	28.2	14.2	21.2	7.05	Inap.
5	76	28	16	22	2.16	0.0
6	77	28.5	14.2	21.4	4.45	11.7
7	78	26.7	16.5	21.6	3.83	Inap.
8	79	25	16	20.5	1.29	9.6
9	80	27.2	15.2	21.2	5.65	7.9
10	81	27.7	16	21.9	4.5	Inap.

## CUADRO II. CONTINUACION.

FECHA	DIAS DESDE SIEMBRA	TEMPERATURA °C			EVAPORACION TANQUE TIPO "A"(MM)	PRECIPITACION PLUVIAL (MM)
		MAX	MIN	MED		
11	82	28.2	14.7	21.5	6.44	1.0



12	83	29	15.6	22.3	7.11	Inap.
13	84	30.2	17	23.6	7.94	0.0
14	85	30	17.6	23.8	7.73	0.0
15	86	26.5	15.9	21.2	3.44	Inap.
16	87	25	17	21	3.33	15.1
17	88	26.8	15.3	21.1	2.62	18.4
18	89	27.2	17	22.1	2.96	1.0
19	90	26.2	16.5	21.4	8.42	Inap.
20	91	24.5	14.4	19.5	.82	0.0
21	92	25	14.2	19.6	4.21	Inap.
22	93	25.2	15.6	20.4	3.64	0.0
23	94	27.4	15	21.2	2.73	Inap.
24	95	29	17.7	23.4	3.7	10.7
25	96	28.2	17.6	22.9	3.44	3.8
26	97	26	16.4	21.2	0.9	4.6
27	98	25	15.4	20.2	2.66	3.0
28	99	26.3	13.7	20	4.78	0.0
29	100	23.2	14.2	18.7	3.18	0.0
30	101	25	12.8	18.9	3.80	0.0
31	102	24.8	13	18.9	4.25	0.0
01/09/98	103	23	15	19	2.60	Inap.
2	104	23.2	15.6	19.4	2.54	0.0
3	105	23.7	15.4	19.6	2.28	0.0
4	106	26.2	12	19.1	5.86	0.0
5	107	25.1	12.8	19	4.04	Inap.
6	108	22.3	14.4	18.4	0.04	22.8

CUADRO II. CONTINUACION.

FECHA	DIAS DESDE SIEMBRA	TEMPERATURA °C			EVAPORACION TANQUE TIPO "A"(MM)	PRECIPITACION PLUVIAL (MM)
		MAX	MIN	MED		
7	109	22.2	15	18.6	1.80	0.0
8	110	23.6	15.4	19.5	4.41	0.0
9	111	19.1	15	17.1	0.22	25.7
10	112	20.2	14.5	17.4	6.97	1.4

11	113	23.7	14.6	19.2	2.78	0.0
12	114	25.2	13.5	19.4	3.51	0.0
13	115	26	14.8	20.4	4.03	0.0
14	116	26.8	12.4	19.6	5.57	4.4
15	117	18.3	15.2	16.8	1.42	40.0
16	118	19	15.4	17.2	0.30	9.6
17	119	24	14.2	19.1	1.60	23.3
18	120	16.8	14.8	15.8	0	3.5
19	121	22.7	12.8	17.8	1.90	7.4
20	122	27.2	14.6	20.9	4.32	0.0
21	123	28.6	13	20.8	4.69	0.0
22	124	26.2	12	19.1	3.65	0.0
23	125	22.5	16	19.3	0.94	5.1
24	126	21.5	15.2	18.4	1.79	0.0
25	127	25	15.2	20.1	3.76	0.0
26	128	26.2	15.3	20.8	2.66	0.0
27	129	26.2	13.4	19.8	2.73	Inap.
28	130	26	13.2	19.6	4.31	0.0
29	131	26.2	12.4	19.3	3.98	0.0
30	132	28.2	13	20.6	3.88	0.0
01/10/98	133	25.2	15.2	20.4	2.62	1.6
2	134	26.8	14.3	20.6	3.18	Inap.
3	135	28.2	16.2	22.2	3.94	0.0

**CUADRO II. CONTINUACION.**

FECHA	DIAS DESDE SIEMBRA	TEMPERATURA °C			EVAPORACION TANQUE TIPO "A"(MM)	PRECIPITACION PLUVIAL (MM)
		MAX	MIN	MED		
4	136	29.7	16	22.9	4.80	0.0
5	137	31.8	18.8	25.3	4.15	0.0
6	138	23.2	8.6	15.9	2.44	1.2
7	139	18.5	7.8	13.2	2.11	0.0
8	140	20.8	5.6	13.2	3.68	0.0
9	141	24	9.5	16.8	3.71	0.0

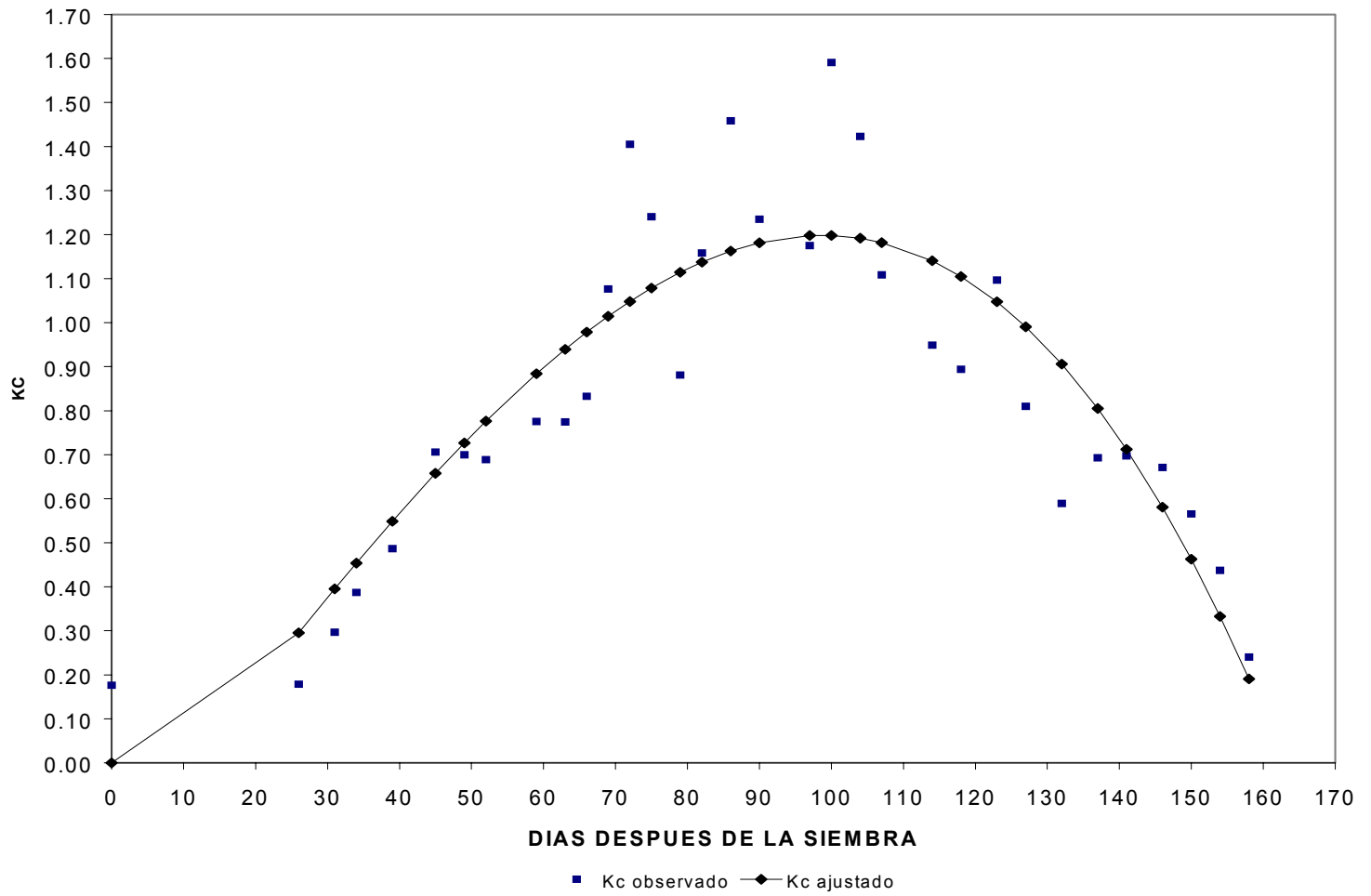
10	142	26.8	11.5	19.2	5.26	0.0
11	143	26.8	10.8	18.8	3.35	0.0
12	144	22.4	14.6	18.5	1.75	24.5
13	145	22.3	13	17.7	2.09	0.0
14	146	23.2	11	17.1	3.63	0.0
15	147	27.2	12.3	19.8	4.92	0.0
16	148	27.5	14.2	20.9	2.26	0.0
17	149	29.1	15.6	22.4	3.53	0.0
18	150	22.5	13.4	18	0.31	13.7
19	151	15.5	12.5	14	0.41	5.9
20	152	18.5	10.7	14.6	1.11	Inap.
21	153	15.6	11.8	13.7	0.31	2.0
22	154	11	7	9	0.25	1.3
23	155	10	6.7	8.4	0.35	0.0
24	156	18.2	5.5	11.9	1.68	0.0
25	157	21.4	7.2	14.3	2.88	0.0
26	158	22.2	7.5	14.9	2.70	0.0

CUADRO IV. Valores de Kc utilizando las ecuaciones del modelo cúbico para las diferentes variables en diferentes fechas.

FECHA	Kc DDS	Kc DVR	Kc UCA	DIAS JULIANOS
31/05/98	0.0000	-0.0330	0.0831	-0.0360
16/06/98	0.2954	0.3162	0.2650	0.2952
21	0.3953	0.4082	0.3586	0.3952
24	0.4539	0.4628	0.4131	0.4539
29	0.5489	0.5522	0.5075	0.5490
05/07/98	0.6578	0.6559	0.6129	0.6580
09	0.7267	0.7223	0.6866	0.7269
12	0.7763	0.7703	0.7461	0.7765

<b>19</b>	0.8837	0.8756	0.8685	0.8840
<b>23</b>	0.9395	0.9309	0.9343	0.9398
<b>26</b>	0.9784	0.9698	0.9797	0.9787
<b>29</b>	1.0147	1.0061	1.0216	1.0149
<b>01/08/98</b>	1.0481	1.0399	1.0623	1.0483
<b>04</b>	1.0785	1.0709	1.0971	1.0788
<b>08</b>	1.1143	1.1077	1.1374	1.1145
<b>11</b>	1.1373	1.1316	1.1635	1.1302
<b>15</b>	1.1626	1.1582	1.1938	1.1627
<b>19</b>	1.1814	1.1785	1.2131	1.1816
<b>26</b>	1.1979	1.1978	1.2252	1.1980
<b>29</b>	1.1982	1.1992	1.2221	1.1982
<b>02/09/98</b>	1.1918	1.1944	1.2114	1.1919
<b>05</b>	1.1819	1.1855	1.1980	1.1819
<b>12</b>	1.1405	1.1462	1.1513	1.1404
<b>16</b>	1.1049	1.1114	1.1136	1.1047
<b>21</b>	1.0474	1.0545	1.0520	1.0472
<b>25</b>	0.9908	0.9979	0.9899	0.9905
<b>30</b>	0.9060	0.9126	0.8905	0.9057
<b>05/10/98</b>	0.8052	0.8103	0.7479	0.8048
<b>09</b>	0.7125	0.7159	0.6816	0.7121
<b>14</b>	0.5810	0.5813	0.5485	0.5805
<b>18</b>	0.4629	0.4599	0.4072	0.4624
<b>22</b>	0.3330	0.3259	0.3403	0.3324
<b>26</b>	0.1909	0.1790	0.2757	0.1903

---



**Figura 4.1** Relación entre el  $K_c$  y los días después de la siembra para el modelo cúbico

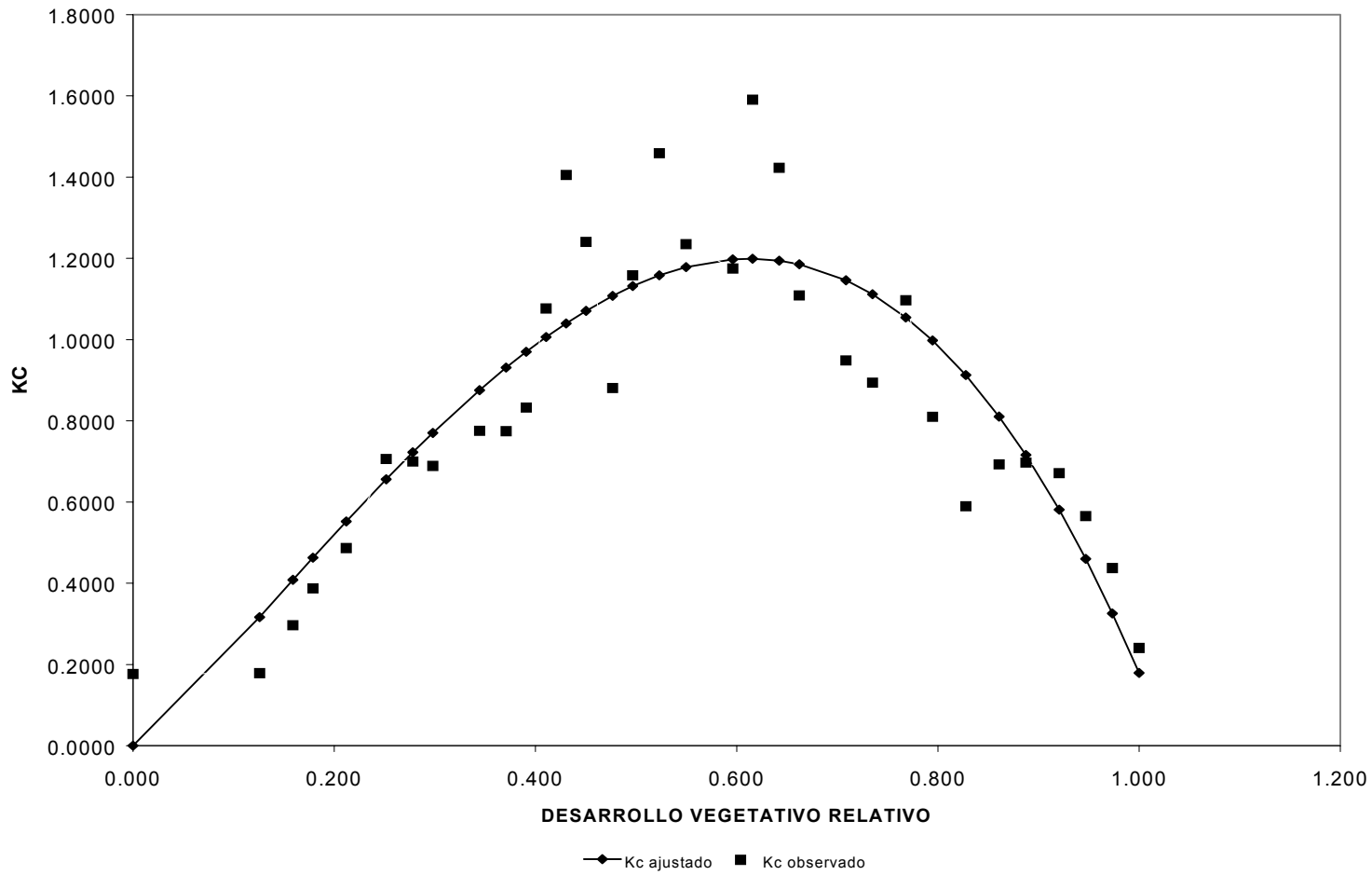


Figura 4.2 Relación entre el Kc y el desarrollo vegetativo relativo para el modelo cúbico

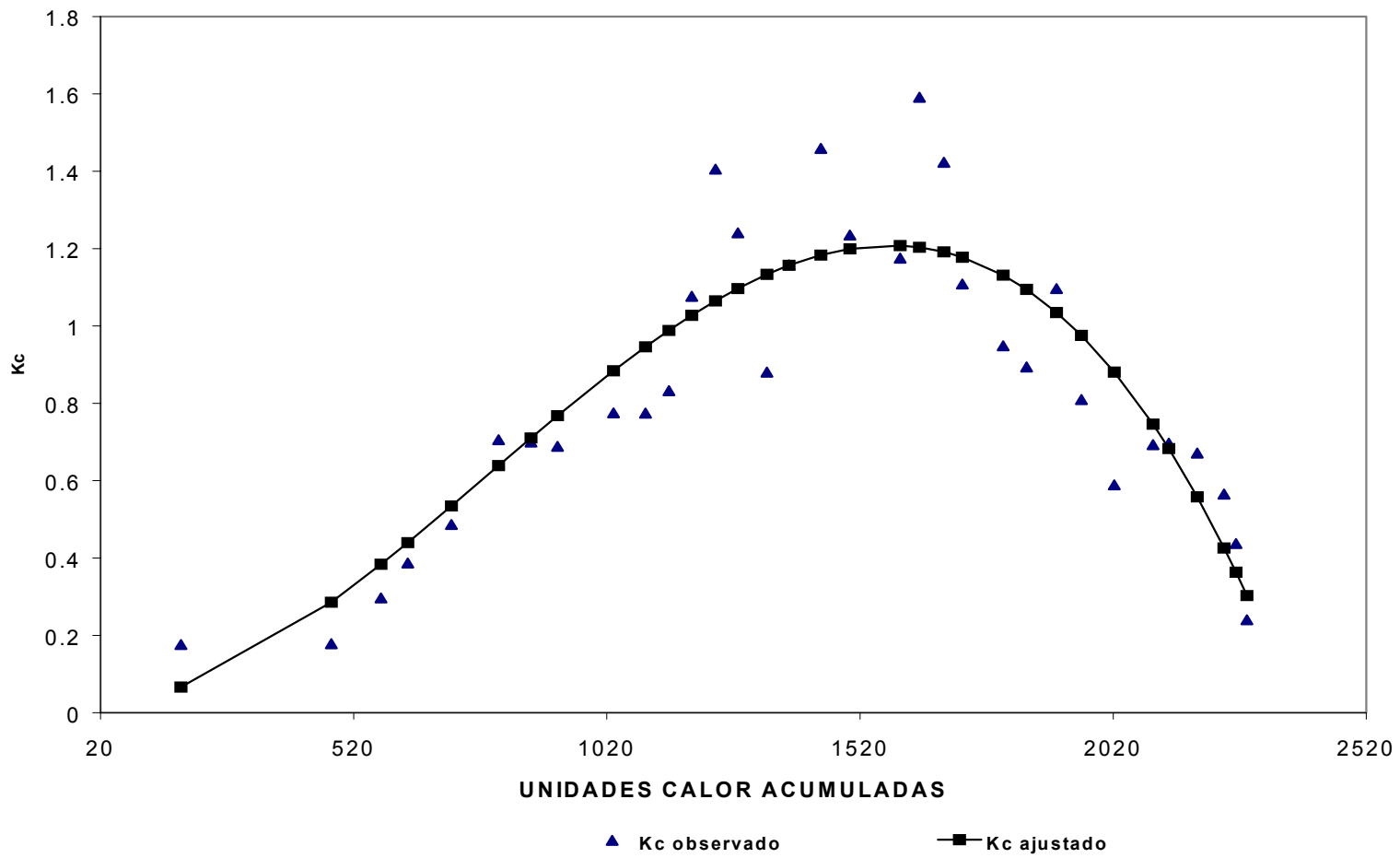


Figura 4.3 Relación entre el  $K_c$  y las unidades calor acumuladas para el modelo cúbico.

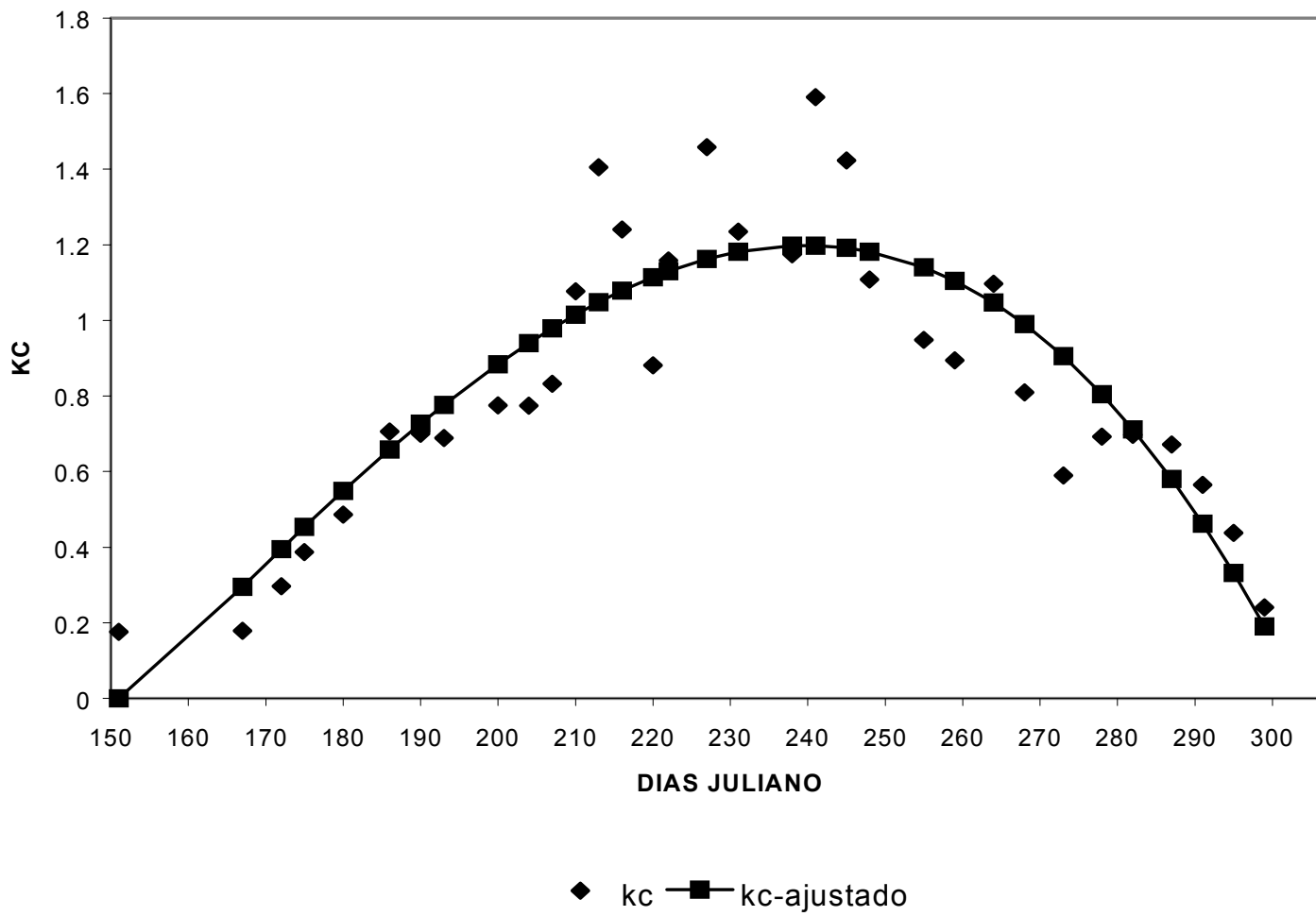
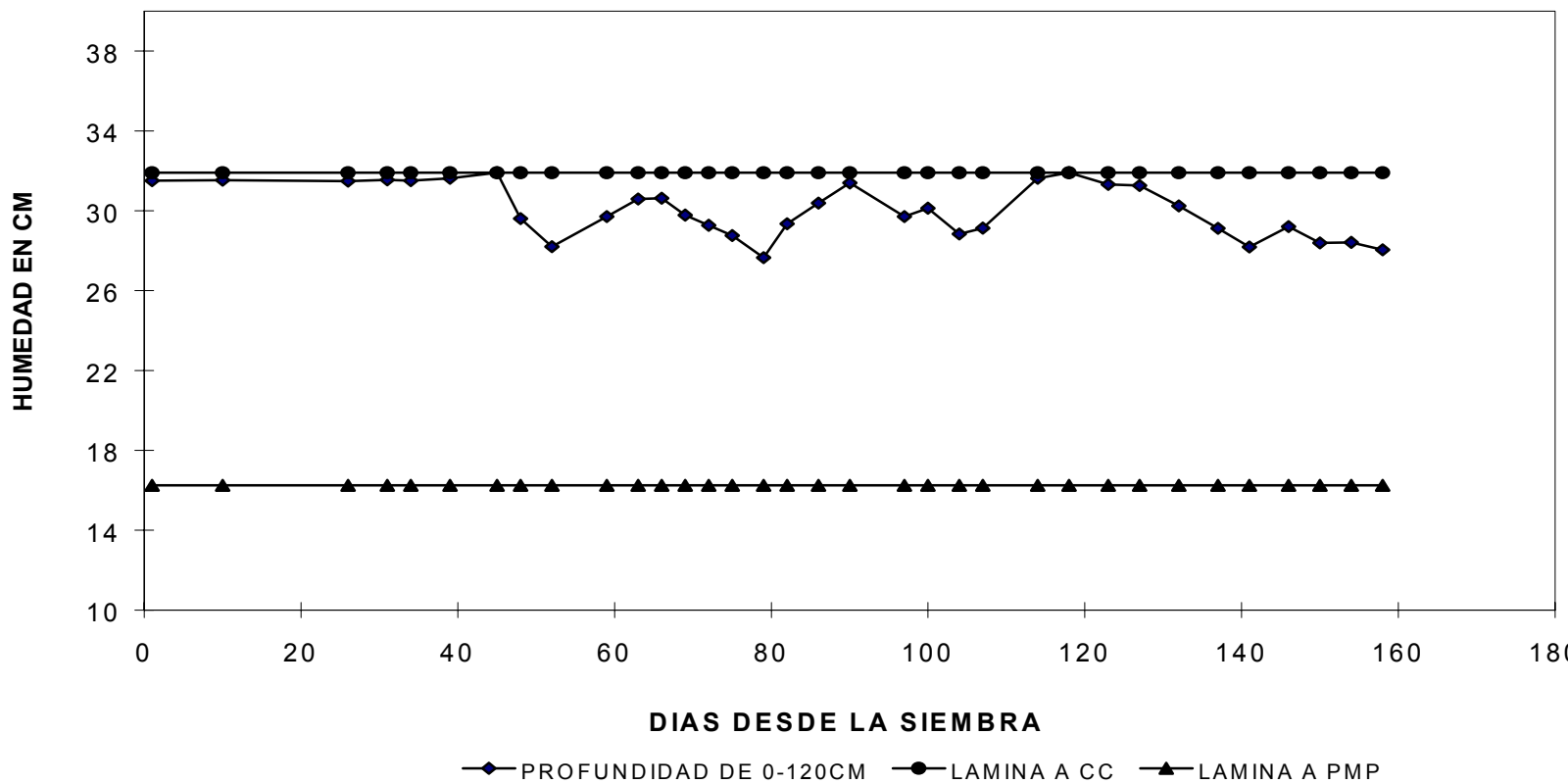


Figura 4.4 Relación entre el Kc y los días julianos para el modelo cúbico





**Figura 4.5** Evolución de la humedad en el suelo durante el ciclo del cultivo

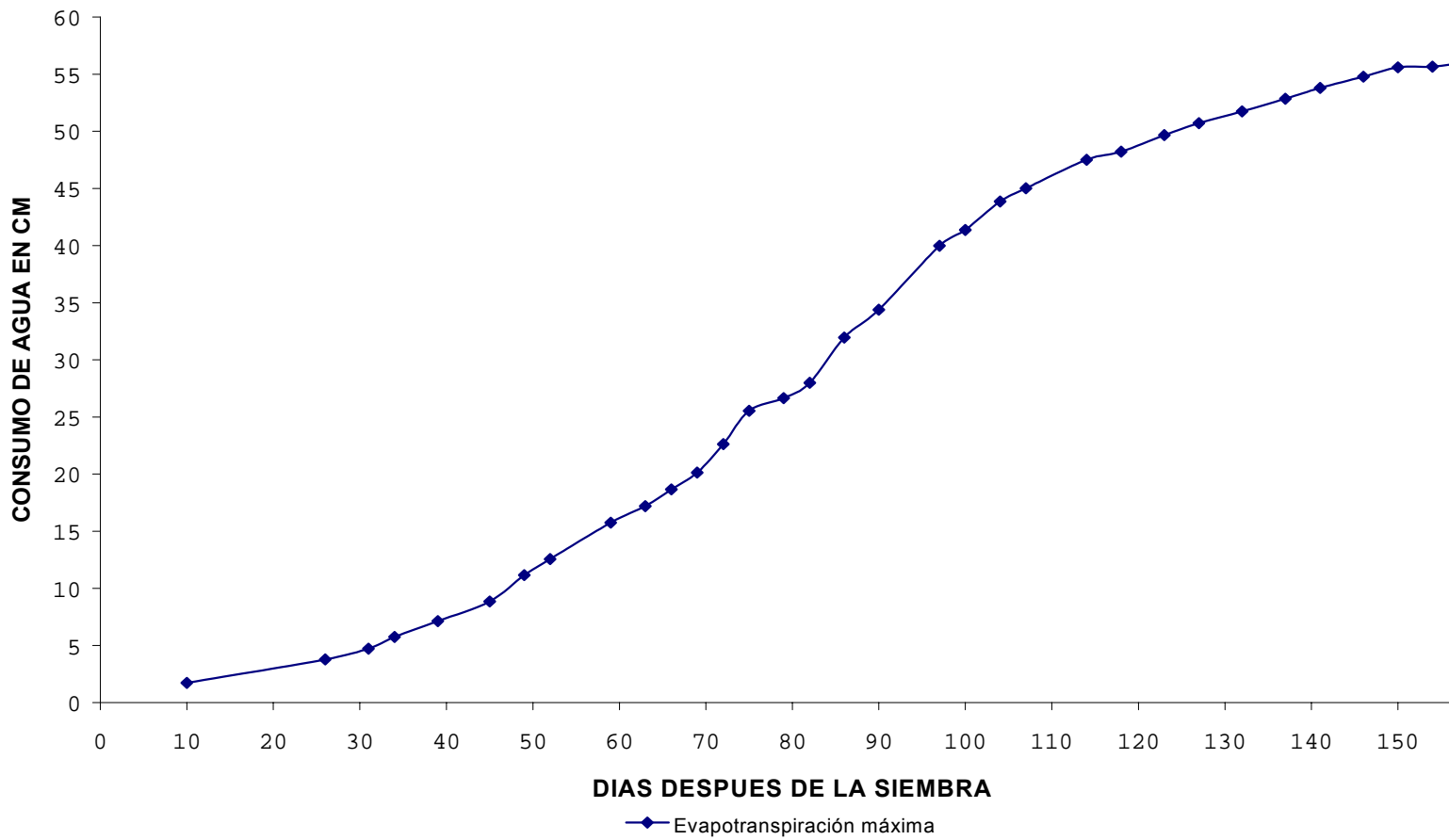
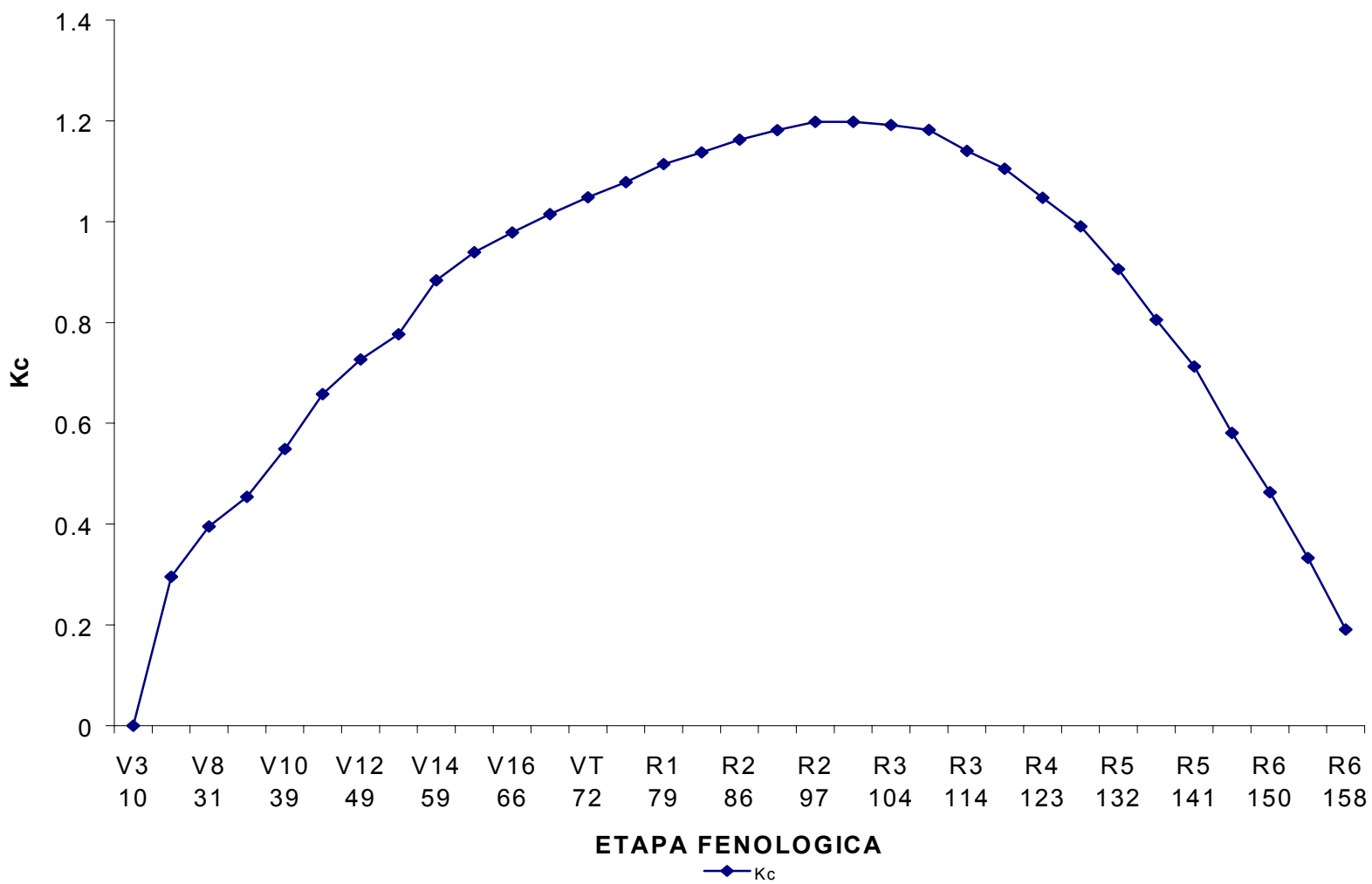


Figura 4.6 Nos muestra los consumos de agua (Evapotranspiración) del cultivo durante todo el ciclo del cultivo



**Figura 4.7** Etapas vegetativas y reproductivas de la planta de maíz