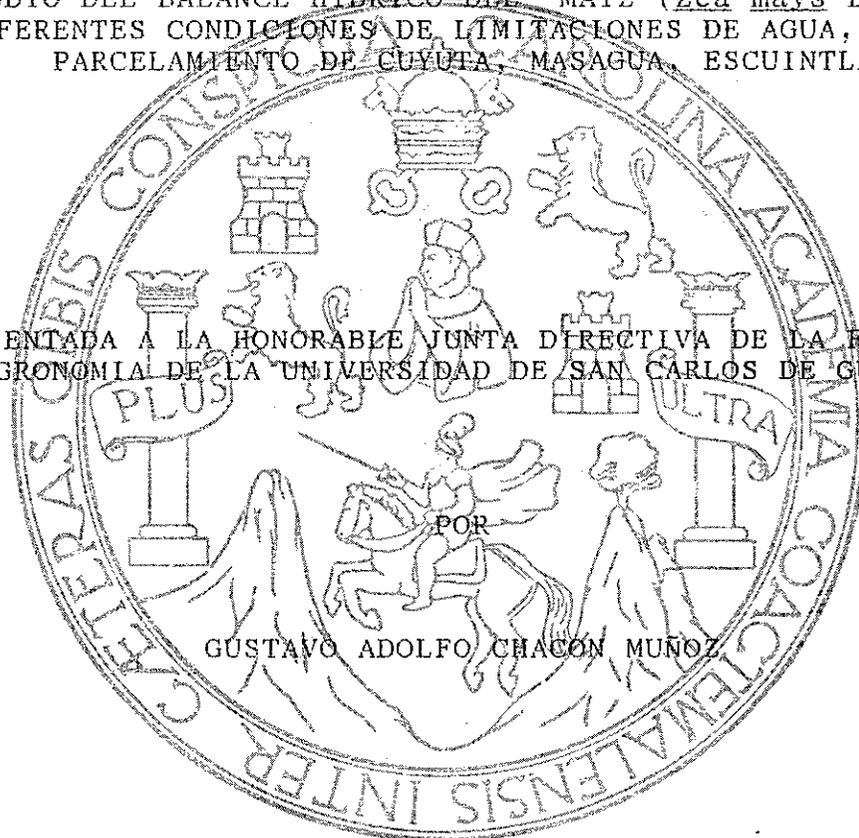


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

ESTUDIO DEL BALANCE HIDRICO DEL MAIZ (*Zea mays* L.) BAJO
DIFERENTES CONDICIONES DE LIMITACIONES DE AGUA, EN EL
PARCELAMIENTO DE CUYUTA, MASAGUA, ESCUINTLA

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD
DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRONOMO
EN SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1,996

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central



615)

7

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. JAFETH ERNESTO CABRERA FRANCO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Juan José Castillo Mont
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. William Escobar López
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Carlos Roberto Motta
VOCAL CUARTO	P. Agr. Henry Estuardo España Morales
VOCAL QUINTO	Br. Mynor Joaquín Barrios Ochaeta
SECRETARIO	Ing. Agr. Guillermo Méndez Beteta



Guatemala, noviembre de 1,996

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señores Miembros:

De conformidad con la Ley Orgánica de Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a la consideración de Ustedes, el trabajo de tesis titulado:

ESTUDIO DEL BALANCE HIDRICO DEL MAIZ (Zea mays L.) BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE LIMITACIONES DE AGUA, EN EL PARCELAMIENTO DE CUYUTA, MASAGUA, ESCUINTLA.

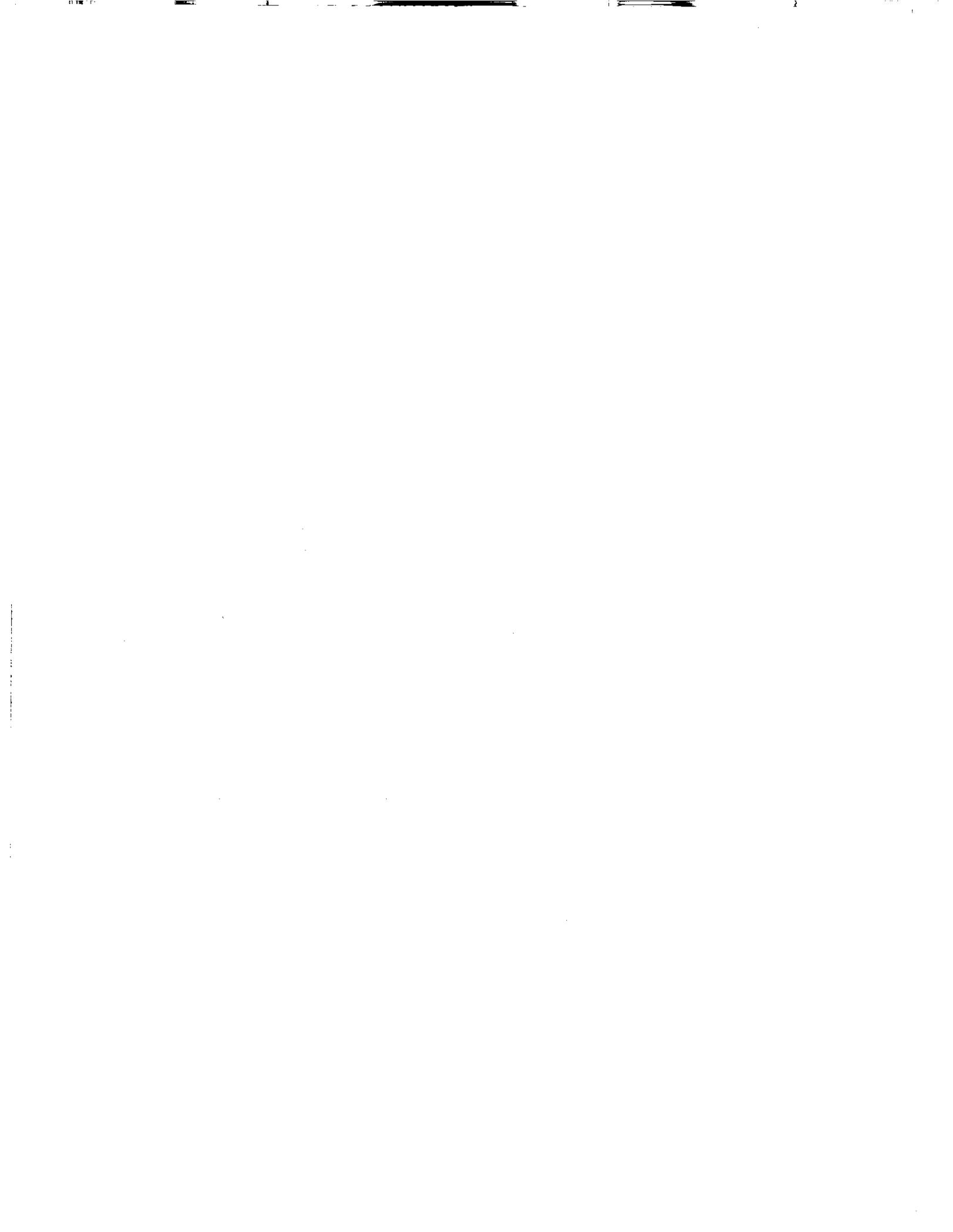
Como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando contar con la aprobación del mismo, me suscribo.

Atentamente,



Gustavo Adolfo Chacón Muñoz



ACTO QUE DEDICO

A: Dios Por haberme llevado de su mano hasta el día de hoy. El temor a Jehová es el principio de la sabiduría.

MIS PADRES Otto René Chacón Bolaños
Gilma Esclarisa Muñoz García
Por su apoyo oportuno

MIS HERMANOS Oto, Griselda, Orlando, René y Rosangela

MIS ABUELOS José Margarito Muñoz Cruz
María del Socorro (Q.E.P.D.)

MI SOBRINO José Marcelo Bustamante Chacón

MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

Por la motivación compartida.

A los estudiantes que tengan la meta de graduarse, que los obstáculos personales o sociales les sirvan de medio de fortalecer sus habilidades intelectuales y/o espirituales.

MIS AMIGAS : Con especial cariño.



TESIS QUE DEDICO

A: Mi patria Guatemala.

 Facultad de Agronomía.

 Agricultores del país.



AGRADECIMIENTO

A:

Mis asesores, los Ingenieros Agrónomos Hugo Cardona, Otto René Castro, Leonel Muller, Axel García, en las apropiadas orientaciones realizadas.

Memoria del Ing. Agr. Rolando Ayala López (Q.E.P.D).

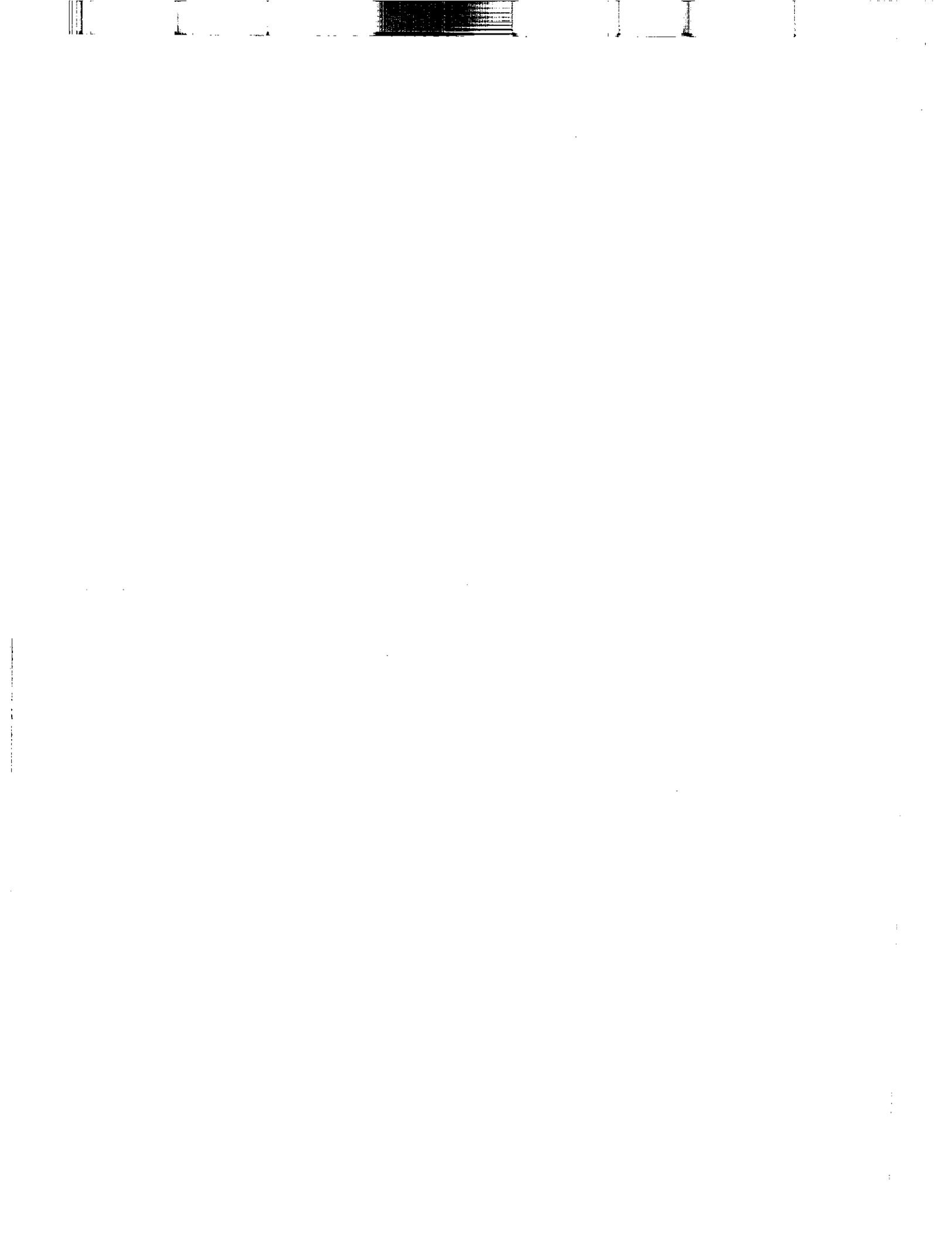
Personal del Centro de Documentación e Información Agrícola

INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS (ICTA).

Patricia Ramos, por su oportuna y amable colaboración en los trámites de esta tesis.

Ing. Agr. Manuel Nájera Caal, por sus consejos.

Todas las personas, que de una u otra forma, ayudaron en la realización del presente documento.



CONTENIDO

1.	INTRODUCCION	1
2.	DEFINICION DEL PROBLEMA	2
3.	JUSTIFICACION	2
4.	MARCO TEORICO	3
	4.1 MARCO CONCEPTUAL	3
	4.1.1 Capacidad de campo.	3
	4.1.2 Densidad aparente, Da.	4
	4.1.3 Punto de Marchitez.	4
	4.1.4 Textura del suelo.	5
	4.1.5 Evapotranspiración potencial (ETP).	5
	4.1.6 Evapotranspiración máxima.	8
	4.1.7 Evapotranspiración real.	8
	4.1.8 Balance hídrico.	9
	4.1.9 Retención y disponibilidad del agua en el suelo.	11
	4.1.10 Tensiómetros.	12
	4.1.11 Potencial de agua en el suelo.	13
	4.2 MARCO REFERENCIAL	15
	4.2.1 Antecedentes de investigaciones realizadas sobre frecuencias de riego y evapotranspiración en el cultivo de maíz.	15
	4.2.2 Ubicación y descripción del área experimental.	16
5.	OBJETIVOS	18
	5.1 General.	18
	5.2 Específicos.	18
6.	METODOLOGIA	19
	6.1 Determinaciones de características del suelo.	19
	6.1.1 Análisis físico-químico.	19
	6.1.2 Determinación de la humedad volumétrica mediante muestreos gravimétricos.	19
	6.2 Manejo del cultivo.	20
	6.3 Manejo del experimento.	21
	6.3.1 Período de conducción del experimento.	21
	6.3.2 Método de riego y lámina de agua a aplicar en cada riego.	21
	6.3.3 Riegos Generales.	22
	6.3.4 Control de la humedad del suelo.	22
	6.3.5 Determinación de las láminas consumidas.	24
	6.3.6 Diseño de campo.	27
	6.3.7 Descripción de los tratamientos.	27
	6.3.8 Ensayo experimental.	27
	6.4 Variables evaluadas.	28
	6.5 Metodología de análisis.	29

7.	RESULTADOS Y DISCUSION	30
7.1	Láminas consumidas medidas por el Método gravimétrico (ETR) y láminas de evapotranspiración máxima (ETM) calculadas por el Método de Penman.	30
7.2	Relación entre los componentes del balance hídrico.	31
7.3	Almacenamiento de la humedad del suelo de acuerdo con la profundidad radicular.	35
7.4	Efectos de los tratamientos de riego sobre la variable rendimiento.	40
7.5	Relación entre la altura de planta en las diferentes parcelas estudiadas.	42
7.6	Análisis de dominancia sobre maíz con relación al uso del riego en las diferentes parcelas estudiadas en este ensayo.	43
7.7	Análisis de presupuesto parcial sobre maíz con relación al uso del riego en las diferentes parcelas estudiadas en este ensayo.	45
8.	CONCLUSIONES	48
9.	RECOMENDACIONES	50
10.	BIBLIOGRAFIA	51
	APENDICE	53
	- Descripción de los métodos empleados para los análisis físico-químicos en el suelo.	69
	- Balance Hídrico (Método de acuerdo a características del suelo).	70

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	Croquis de campo de los tratamientos del estudio sobre balance hídrico en maíz.	23
FIGURA 2.	% de humedad en el suelo del cultivo del maíz en la parcela A	38
FIGURA 3.	% de humedad en el suelo del cultivo del maíz en la parcela B.	38
FIGURA 4.	% de humedad en el suelo del cultivo del maíz en la parcela C.	39
FIGURA 5.	% de humedad en el suelo del cultivo del maíz en la parcela D.	39
FIGURA 6.	Rendimiento de maíz en grano (Tm/ha).	42

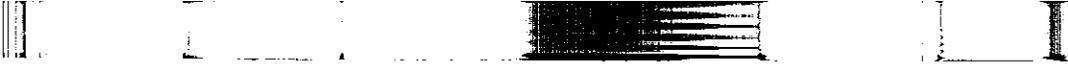
FIGURA 7.	Relación entre la altura de planta en las parcelas estudiadas.	43
FIGURA 8A.	Evapotranspiración real en el cultivo del maíz, parcela A.	54
FIGURA 9A.	Evapotranspiración real en el cultivo del maíz, parcela B.	54
FIGURA 10A.	Evapotranspiración real en el cultivo del maíz, parcela C.	55
FIGURA 11A.	Evapotranspiración real en el cultivo del maíz, parcela D.	55
FIGURA 12A.	Evapotranspiración máxima en el cultivo del maíz y riego+lluvia en la parcela A.	56
FIGURA 13A.	Evapotranspiración máxima en el cultivo del maíz y riego+lluvia en la parcela B.	56
FIGURA 14A.	Evapotranspiración máxima en el cultivo del maíz y riego+lluvia en la parcela C.	57
FIGURA 15A.	Evapotranspiración máxima en el cultivo del maíz y riego+lluvia en la parcela D.	57
FIGURA 16A.	Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 3, de parcela A.	58
FIGURA 17A.	Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 5, de la parcela A.	58
FIGURA 18A.	Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 6, de la parcela A.	59
FIGURA 19A.	Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 5, de la parcela B.	59
FIGURA 20A.	Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 6, de la parcela B.	60
FIGURA 21A.	Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 2, de la parcela C.	60
FIGURA 22A.	Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 3, de la parcela C.	61
FIGURA 23A.	Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 2, de la parcela D.	61
FIGURA 24A.	Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 3, de la parcela D.	62

FIGURA 25A.	Croquis de ubicación de lugar donde se realizo el estudio.	66
FIGURA 26A.	Dimensiones de la parcela experimental.	67

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Tensiones a las cuales el riego debe ser aplicado para algunos cultivos.	13
Cuadro 2.	Distribución de los diferentes tensiómetros utilizados en el estudio.	26
Cuadro 3.	Relación entre la conductividad capilar K_h y la succión mátrica h_m .	26
Cuadro 4.	Láminas consumidas medidas por el Método gravimétrico (ETR) y láminas estimadas por el Método de Penman (ETM).	32
Cuadro 5.	Componentes del balance hídrico en el cultivo del maíz (<i>Zea mays</i> L.).	35
Cuadro 6.	Almacenamiento de humedad en el suelo de acuerdo a profundidad radicular.	36
Cuadro 7	Resultados organizados para rendimiento de maíz en grano (Tm/ha), Junio de 1993.	41
Cuadro 8.	Relación entre la altura de planta (cms) en las parcelas estudiadas.	44
Cuadro 9.	Análisis de dominancia sobre maíz con relación al uso del riego.	45
Cuadro 10A.	Datos climáticos observados.	62
Cuadro 11A.	Datos de los componentes del balance hídrico en el cultivo del maíz (<i>Zea mays</i> L.).	62
Cuadro 12A.	Parámetros físicos con fines de riego ICTA-Cuyuta, 1er Semestre de 1993.	63
Cuadro 13A.	Profundidad radicular y punto crítico del cultivo de maíz en relación a días después de la germinación (DDG).	64
Cuadro 14A.	Descripcion de estratos.	64
Cuadro 15A.	Análisis químico del suelo.	65

Cuadro 16A. Balance diario de la humedad del suelo, en la parcela A.	70
Cuadro 17. Balance diario de la humedad del suelo, en la parcela B.	73
Cuadro 18. Balance diario de la humedad del suelo, en la parcela C.	76
Cuadro 19. Balance diario de la humedad del suelo, en la parcela D.	79



ESTUDIO DEL BALANCE HIDRICO DEL MAIZ (Zea mays L.) BAJO DIFERENTES
CONDICIONES DE LIMITACIONES DE AGUA, EN EL PARCELAMIENTO DE CUYUTA,
MASAGUA, ESCUINTLA.

STUDY OF THE HYDRIC BALANCE OF CORN (Zea mays L.) UNDER DIFERENT
LIMITATIONS OF WATER, IN CUYUTA, MASAGUA, ESCUINTLA

RESUMEN

En el parcelamiento Cuyuta, quienes actualmente utilizan el agua de riego, lo hacen ineficientemente y ponen en peligro el abastecimiento de agua en el futuro. No tienen información sobre el consumo real de los cultivos, laminas apropiadas a aplicar por cada riego y momento oportuno de riego.

Este estudio forma parte de un proyecto de la Cooperación Francesa, ICTA Y DIRYA, en el cual se evalúa el comportamiento fisiológico, el suelo y el balance hídrico en el cultivo del maíz; todo ello con el fin de dar recomendaciones de riego al Centro de Producción ICTA-Cuyuta, a agricultores del parcelamiento Cuyuta y a Agricultores de la costa Sur que tengan las mismas condiciones de suelo y clima.

La ecuación de balance hídrico utilizada es la siguiente: Evapotranspiración real (ETR) = Riego + lluvia - (\pm Drenaje \pm Variación de almacenamiento). Para el cálculo de riego, se llevó un control riguroso de la lámina de riego aplicada; los datos de lluvia se obtuvieron de la estación experimental del lugar; el cálculo del drenaje se hizo tomando en cuenta los datos de los tensiómetros instalados en las parcelas y los datos de conductividad hidráulica; para el cálculo de cambio de almacenamiento se realizaron muestreos gravimétricos en forma periódica, obteniéndose el dato, al restar, al valor del muestreo actual, el del muestreo anterior.

Los valores de Evapotranspiración real (ETR) obtenidos en este

estudio son los siguientes: parcela A = 423.99 mm, parcela B = 400.57 mm, parcela C = 554.07 mm, parcela D = 431.7 mm y el valor de Evapotranspiración máxima (ETM) de 487.9 mm para el cultivo de maíz en el ciclo de febrero a junio de 1993.

Los rendimientos bajo estas condiciones climáticas, son los siguientes : Parcela A = 8.446 Tm/ha, parcela B = 8.835 Tm/ha, parcela C = 8.572 Tm/ha y la parcela D = 8.210 Tm/ha.

Aún cuando algunas parcelas recibieron riego desde un principio y otras no, si las lluvias empiezan a los 46 días después de la germinación, la diferencia en el rendimiento, no sobrepasa el 10 %, de la media de rendimiento.

De acuerdo con el análisis económico realizado se puede decir que la aplicación de riego resultó beneficiosa frente a la no utilización del mismo, en la parcela B . De acuerdo a la tasa de retorno obtenida, por cada Q 1.00 de inversión (en el costo variable) se obtiene un retorno de Q 11.28.

Bajo condiciones que se analizó esta investigación, se recomienda regar tres veces, una con la siembra, una a los 23 días después de la germinación y otra a los 33 días después de la germinación, con una aplicación de 2.5 cms de lámina con la siembra (de humedecimiento), de 3.6 cm de lámina en el segundo riego y de 4.5 cm de lámina en el tercer riego. En caso de no presencia de lluvia, aplicar 40.06 cm de lámina de riego, distribuida en todo el ciclo de cultivo. No regar un exceso de agua en el período de formación del fruto (entre los 85 a 105 días después de la germinación), para ello aplicar la lámina de riego necesaria en intervalos de 10 ó 15 días, lo que permite un mayor consumo de la humedad aprovechable en el suelo.

1. INTRODUCCION

La presente investigación se realizó, en el Centro de Producción ICTA-Cuyuta, ubicado en el parcelamiento Cuyuta, Masagua, Escuintla. Este centro cuenta con un sistema de riego por gravedad en donde el agua es derivada del río Achiguate. En este estudio se analizó la alimentación hídrica del maíz (*Zea mays* L.) bajo cuatro diferentes grados de humedad en el suelo.

La parcela testigo (parcela D) se le cortó el riego a los 22 días después de la siembra. Los tratamientos evaluados consistieron en cortar el riego: 1) 43 días después de la siembra (parcela C). 2) 37 días después de la siembra (parcela B). 3) Sin corte de riego (parcela A), se regó cada 7 días, utilizando una lámina neta igual a la ETM (Evapotranspiración máxima).

El área bruta del experimento fue de 5940 m² (1485 m²/parcela) con un área neta de 1476 m² (369 m²/parcela).

Una de las formas de determinar si la lámina de humedad rápidamente aprovechable (LHRA) ya fue consumida por el cultivo es basándose en datos de la Evapotranspiración real del cultivo (ETR), lo que a la vez permite determinar el momento oportuno de riego basado en el déficit permitido de manejo (DPM). De acuerdo a estas consideraciones, y con el propósito de evaluar cada uno de los términos del balance hídrico, se realizó este estudio, para que los resultados del presente sirvan de información mínima necesaria para mejorar el uso del agua de riego.

Esta investigación forma parte de un proyecto en el que participaron El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, La Cooperación Francesa, La Dirección Técnica de Riego Y Avenamiento y el Instituto de Investigaciones Agronómicas -IIA-, de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

2. DEFINICION DEL PROBLEMA:

Quienes actualmente utilizan el agua para riego, lo hacen ineficientemente ya que no tienen información sobre el consumo real de los cultivos, láminas apropiadas a aplicar por cada riego y momento oportuno de riego.

Lo anterior pone en grave riesgo el abastecimiento futuro del agua para riego, principalmente si se considera que se pretende diseñar una unidad de riego para los agricultores del parcelamiento Cuyuta.

En consecuencia, se hace impostergable la realización de estudios que permitan mejorar la eficiencia técnica del riego.

3. JUSTIFICACION

Los agricultores del parcelamiento Cuyuta tienen una extensión de 3,000 ha. Y tienen como meta en el mediano plazo, hacer una unidad de riego. Para la planificación de ese proyecto, es necesario tener un mejor conocimiento de las relaciones agua-suelo-planta-atmósfera, conocer la respuesta del cultivo a limitaciones de agua en diferentes etapas de su desarrollo y herramientas para la toma de decisiones en cuanto a la gestión del riego.

El uso efectivo del riego es muy importante dentro de los recursos naturales de la estación experimental del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas -ICTA-, del Centro de Producción ICTA-Cuyuta y para los agricultores del parcelamiento Cuyuta. Los resultados de este estudio, podrán orientar estrategias para hacer un uso más efectivo del agua.

Este estudio forma parte de un proyecto de la Cooperación Francesa,

ICTA Y DIRYA, en el cual se evalúa la transpiración, comportamiento fisiológico, el suelo y el balance hídrico en el cultivo del maíz; todo ello con el fin de dar recomendaciones de riego al Centro de Producción ICTA-Cuyuta, a agricultores del parcelamiento Cuyuta y a Agricultores de la costa Sur con mismas condiciones de suelo y clima.

4. MARCO TEORICO

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1.1 Capacidad de campo.

La capacidad de campo (9), puede definirse como la cantidad máxima de agua que un suelo puede retener o almacenar, bajo condiciones de humedecimiento total seguido de drenaje libre (gravitacional).

La determinación de la capacidad de campo en el laboratorio se realiza sometiendo muestras obtenidas a la profundidad deseada y saturadas, a una succión entre 0.1 y 0.3 bares (0.1 bar para suelos arenosos y 0.3 bares para suelos arcillosos). Esas muestras se pesan, luego se secan en estufa a 105 °C durante 24 horas y se vuelven a pesar, obteniéndose el porcentaje de humedad gravimétrico.

El contenido de humedad en base a peso de suelo seco (Ps) se puede expresar por medio de la siguiente ecuación:

$$Ps = (Psh - Pss) / Pss * 100$$

Ps = Contenido de humedad en base a peso de suelo seco (%)

Psh = peso muestra suelo húmedo (g), a 0.1 - 0.3 bares

Pss = peso muestra suelo seco (g), a 105 °C.

4.1.2 Densidad aparente, D_a .

La densidad aparente (9) de un suelo es el peso de suelo seco por unidad de volumen de suelo, incluyendo los poros, se expresa en gramos por cm^3 .

$$D_a = P_{ss}/V_t$$

Donde : D_a = densidad aparente, gr/cm^3

P_{ss} = peso de suelo seco, gr.

V_t = volumen total de suelo, cm^3 .

Generalmente la densidad aparente de los suelos no cultivados varía entre 1.0 y 1.6, aunque los suelos compactados pueden tener densidades mayores. Los suelos arcillosos tienen mayor cantidad de poros que los arenosos, lo cual hace que su densidad aparente sea menor. La materia orgánica tiene densidad aparente pequeña. Como valores medios los suelos arcillosos tienen una densidad aparente de 1.00 a 1.30 gr/cm^3 (promedio 1.20), los francos de 1.30 a 1.50 gr/cm^3 (promedio 1.35 a 1.40), los arenosos de 1.55 a 1.80 gr/cm^3 (promedio 1.65) y los suelos orgánicos de 0.7 a 1.0 gr/cm^3 (8).

4.1.3 Punto de Marchitez.

El punto de marchitez (9), a veces llamado punto de marchitez permanente, se define como el límite inferior de humedad aprovechable, para las plantas. Por debajo de este umbral, las fuerzas de succión de las células de las raíces son insuficientes para extraer el agua retenida por el suelo.

Tradicionalmente la determinación del punto de marchitez en el laboratorio, se ha realizado en forma similar a la indicada para la capacidad de campo, solo que las muestras son sometidas a una succión de

15 bares. Este valor así obtenido es solamente un indicador general del límite inferior de humedad del suelo a que la planta puede extraer agua.

4.1.4 Textura del suelo

La textura del suelo (9), se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla del mismo. La importancia de discutirla en este documento radica en que determina en gran parte la capacidad de retención de agua, el movimiento de agua en el suelo y la cantidad de agua disponible a las plantas. Todo lo anterior, a su vez, determina considerablemente la cantidad de agua a ser aplicada en un riego, la frecuencia o intervalo de riego, el tiempo de riego, la conductividad hidráulica, y también contribuye a decidir qué método de riego es el más adecuado a usar y algunas especificaciones del sistema tales como la longitud del surco, y otros.

4.1.5 Evapotranspiración potencial (ETP)

Con el desarrollo progresivo de la Agrometeorología, se tuvo la necesidad de tener una referencia climática de la evapotranspiración, ya que la evapotranspiración de los cultivos varía con las condiciones climáticas; de ello surgió el concepto de ETP. Penman, la define como la cantidad de agua transpirada en una unidad de tiempo por un cultivo verde y de corta altura, el cual cubre completamente la superficie del suelo, de altura uniforme y sin limitaciones de agua en ningún momento. Este mismo científico basado en un balance de energía y en la ecuación aerodinámica, concluyó que, la evapotranspiración potencial depende de las siguientes variables: Radiación global, coeficiente de reflexión, temperatura del aire, tensión de vapor del agua y velocidad del viento (6).

Existen varios métodos para calcular la evapotranspiración potencial; sin embargo, en aquellas zonas en donde se dispone de datos medidos sobre temperatura, humedad del viento y horas de fuerte insolación o radiación, se sugiere el empleo del método de Penman, ya que proporciona resultados más satisfactorios al predecir los efectos del clima sobre las necesidades de agua de los cultivos, por ser un método basado en conceptos físicos. La ecuación de Penman tiene dos términos a saber: El de la energía (radiación) y el aerodinámico (advectivo). En condiciones meteorológicas de calma, el término aerodinámico suele ser más pequeño que el energético. En condiciones ventosas y especialmente en las regiones más áridas, el término aerodinámico pasa a ser relativamente más importante (6).

El programa para microcomputadoras AGROCLIM elaborado por el Proyecto Regional de Agrometeorología -PRA- calcula la evapotranspiración potencial según la fórmula de Penman simplificada a nivel diario, la cual se puede redactar de la forma siguiente:

$$ETP = \frac{\Delta R_n + \tau E_a}{\Delta + \tau}$$

Δ = Pendiente de la curva dando la tensión de vapor saturante en función de la temperatura.

τ = Constante sicrométrica.

R_n = Radiación neta.

E_a = Poder evaporativo del aire.

Los términos R_n y E_a se determinan con base en fórmulas físicas y ajustes estadísticos, expresándose de la siguiente manera:

$$R_n = (1 - a) * (A + B * n/N) * R_{g_0} - 0.1 T_f (0.56 - 0.008 * e) * (0.1 + 0.9 * n/N)$$

$$E_a = 0.26 (E_w - e) * (1 + 0.4 V) , \text{ En donde :}$$

a = albedo

A y B = Coeficientes de la fórmula de Black-Angstrom

n = Duración de la insolación.

N = duración astronómica del día.

R_{g_0} = radiación solar en el límite atmosférico.

σ = Constante de Stefan = $0.118 \cdot 10^{-6} \text{ cal.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}.\text{°K}^{-1}$

T = Temperatura promedio del aire, en grados Kelvin.

T = $(T_{\text{max}} - T_{\text{min}})/2$ (medida en estación).

E = Tensión promedio en milibares; determinada en base a humedad relativa (medida en la estación).

E_w = Tensión de vapor saturante a la temperatura promedio del aire, en milibares.

V = velocidad del viento en metros por segundo a 2 metros (medida en la estación).

A pesar de la complejidad aparente de esta fórmula, los cálculos por medio del computador no presentan dificultad particular. Los términos A y B son los coeficientes de la fórmula de Black y son característicos de la zona climática, es decir de la latitud en particular. El término R_{g_0} es característico del lugar (latitud) y del día del año. El término "e" es una función de la temperatura y de la humedad relativa del aire.

E_w es función únicamente de la temperatura. Su determinación es física. Al final, solamente son cuatro los parámetros que se ingresan al programa de computadora para determinar la ETP diaria, los cuales son proporcionados por los archivos meteorológicos diarios del lugar considerado:

- La temperatura promedio diaria, en grados centígrados.
- La humedad relativa promedio diaria, en porcentaje.
- La insolación (brillo solar) diaria, en horas y décimas de

hora.

-La velocidad promedio del viento, en metros por segundo a 2 m sobre superficie.

El programa procede en dos tiempos(6):

-Primer tiempo: grabación de los parámetros específicos del lugar, y de los datos meteorológicos.

-Segundo tiempo: cálculo y grabación de los resultados.

4.1.6 Evapotranspiración máxima.

La evapotranspiración máxima se refiere a la demanda de agua del cultivo. Para fines agrometeorológicos, se acostumbra dividir el período total del cultivo en subperíodos de 10 días y la demanda total de agua del ciclo se obtiene mediante la sumatoria de los productos de ETP y K_c . La evapotranspiración máxima tiene la expresión matemática que define el requerimiento hídrico de un cultivo en una fase determinada de su ciclo vegetativo, está dada por la siguiente fórmula:

$$ETM = ETP \times K_c$$

Si K_c es igual a 1, ETP va ser igual a ETM(6).

4.1.7 Evapotranspiración real.

Evapotranspiración real es el equivalente en milímetros de agua evaporada por una superficie unitaria que en este caso es el metro cuadrado (m^2) de suelo. En esta evapotranspiración se contabiliza toda el agua que ha pasado a la atmósfera, pudiendo ocurrir que la superficie evaporante haya sido bastante superior a la del suelo, especialmente si existe vegetación, ya que las hojas aumentan la transpiración.

En la evapotranspiración real, el fenómeno o tránsito de agua al estado de vapor disminuye si el agua disponible por el suelo o por los vegetales es insuficiente para mantener el proceso, y hasta puede llegar a anularse si ha sido consumida toda el agua del suelo disponible para evaporación (9).

4.1.8 Balance hídrico.

Toda superficie de terreno, recibe aportaciones de agua, descarga cierto volumen y además contiene otra cantidad variable. Estos tres elementos deben equilibrarse a lo largo de una determinada unidad de tiempo. La expresión cuantitativa de este equilibrio constituye el balance hídrico.

El balance hídrico descansa sobre el principio de conservación del agua en el sistema suelo-planta-atmósfera.

Los factores que participan en el sistema de entradas y salidas de agua son los siguientes:

Riego (R)

Precipitación (PP)

Escorrentia Superficial (Es)

Drenaje (Dr)

Evapotranspiración Real (ETR)

Variación de Almacenamiento (Var)

A continuación se da una descripción de los factores que participan en el sistema de entradas y salidas de agua.

El riego es la aplicación artificial del agua al terreno, con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo.

La precipitación es el agua procedente de la atmósfera, y que en forma sólida o líquida se deposita sobre la superficie de la tierra.

Se llama escorrentia superficial al agua que circula sobre la superficie y se concentra en seguida en los cursos de agua, es decir pequeñas charcas, arroyos que desembocan en ríos los cuales a su vez van a dar a lagos o mares.

El drenaje en este sistema de entradas y salidas, es el agua aplicada por riego o proveniente de precipitación que no es retenida por el suelo (hasta 1 m. de profundidad), lo que sucede generalmente después que el cultivo alcanza la capacidad de campo. También puede considerarse el agua que sube desde profundidades de suelo mayores de 1 m. hacia profundidades menores de 1 m., por mayor concentración de agua en las partes profundas del suelo que en las partes superficiales y que sube por ascensiones capilares.

La variación de almacenamiento es la diferencia medida de la humedad en el tiempo 1 (S_1) y el tiempo 2 (S_2). $Var = S_2 - S_1$.

En un volumen de suelos definido por su profundidad ($Z = 1$ m.) y su superficie (1 m^2).

Las Entradas de agua son:

Riego (R)

Precipitación (PP)

Las Salidas de agua son:

El escurrimiento de agua superficial: (Es)

La evapotranspiración real de la cobertura suelo-planta: (ETR)

La percolación en profundidad (drenaje): Dr

Sin embargo, suele precisar que nuestro sistema funciona también como un reservorio de agua, cuyo almacenamiento está comprendido entre la

profundidad Z y la superficie; y lo llamaremos Var. Este almacenamiento es medido directamente con el método de muestreos gravimétricos.

Si S1 es el almacenamiento de agua medido en el instante t_1

Si S2 es el almacenamiento de agua medido en el instante t_2

Si la variación de almacenamiento (Var) es = $S_2 - S_1$.

Podemos, de los términos anteriores expresar, la siguiente ecuación:

$$PP + R = ETR \pm Dr + Es \pm Var$$

De donde se obtiene lo siguiente:

$$PP + R - ETR \pm Dr - Es \pm Var = 0$$

lo que es la ecuación del balance hídrico (6).

4.1.9 Retención y disponibilidad del agua en el suelo.

Los suelos tienen diferente capacidad de retención de agua en función de sus características físico-químicas. La estructura, la porosidad, la profundidad, la topografía, la inclinación, la textura, la presión, la temperatura, la matriz del suelo, la densidad aparente, la estratificación, la histeresis del agua del suelo son factores que la afectan.

Así por ejemplo, un suelo franco representativo, en un campo cultivado contiene aproximadamente 50 % de partículas sólidas (arena, limo, arcilla y materia orgánica), 25 % de aire, y 25 % de agua. Solamente la mitad de esa agua está disponible para las plantas debido a los mecanismos de almacenamiento del agua en el suelo(7).

4.1.10 Tensiómetros

Los tensiómetros son ampliamente usados para medir la tensión del agua en el campo y laboratorio. Un tensiómetro consiste en una copa

porosa de cerámica, llena con agua y conectada a través de un tubo lleno de agua a un vacuómetro, a un manómetro de mercurio o cerrados al vacío para leerlos con un captor (tipo Nardeux). Los tensiómetros de mercurio son más sensibles, precisos y confiables que los de vacío (9).

El tensiómetro es un aparato que responde a los cambios en el potencial del agua en el suelo; es posible auxiliarse de este instrumento para determinación del momento adecuado del riego. No toda el agua que se encuentra en el suelo está a disposición de las plantas, esto debido a que conforme se van acabando las reservas de agua en el suelo, la fuerza necesaria de parte de las plantas para obtener el agua en el suelo es cada vez mayor, hasta el punto en donde todavía hay agua, pero la planta no tiene la fuerza necesaria para obtenerla; en general el porcentaje de agua disponible del contenido total es relativamente alto, ya que pasa del 50 % (Para el maíz el porcentaje de agua disponible es de 50 %). En suelos medianos y pesados, la retención del agua en el suelo es relativamente alta pero el porcentaje del agua disponible del contenido total es relativamente bajo. De manera general en los suelos livianos, cuando los tensiómetros llegan a un potencial de 1.5 a 2.0 centibares, señalan que ya se aprovechó la mayor parte del agua disponible y se debe regar. En los suelos medianos y pesados esto sucede a un potencial 4.0 a 6.0 centibares y aún más. Por esta razón los tensiómetros funcionan mejor para suelos arenosos ya que en los arcillosos aún queda agua disponible a potenciales altos (9).

Sin embargo, el tensiómetro funciona satisfactoriamente en hortalizas, flores, banano, cítricos y aguacates (9).

En el cuadro 1, pueden observarse los rangos de tensión en los cuales el riego debe ser aplicado para algunos cultivos. En cada intervalo

la cifra menor corresponde a condiciones de fuerte evapotranspiración y la cifra mayor a condiciones de evapotranspiración poco intensa.

Cuadro 1. Tensiones a las cuales el riego debe ser aplicado para algunos cultivos:

Cultivo	Tensión (Centibares)
Maíz dulce	5-10
Caña de azúcar	5-10
Maíz en desarrollo vegetativo	5
Maíz secado grano	8-12
Granos pequeños	4-5
Secado de granos pequeños	8-12

FUENTE : Taylor, S.A. 1,965. Managing irrigation water on the farm.
Trans. Am. Soc. Agrc. Engrs. 8:433-436.

4.1.11 Potencial de agua en el suelo

Las respuestas de la planta al riego están mejor correlacionadas con el potencial hídrico en el suelo o con la succión, que con el contenido de agua. Se ha demostrado que el potencial de agua en la planta depende del potencial de agua en el suelo y de los grados de evaporación. En consecuencia, bajo condiciones de evaporación constante, la evapotranspiración potencial puede mantenerse durante un período de baja humedad, si el potencial de agua en la planta disminuye en el mismo grado que en el suelo. Sin embargo cuando se alcanza el estado en el que el potencial en la planta cae hasta un punto donde la pérdida de turgencia cause el cierre de estomas, la transpiración se reduce marcadamente. Entonces, los potenciales de agua en el suelo y en la planta tienden a converger (6).

Así, la mejor medida de la disponibilidad de agua para las plantas es el potencial hídrico del suelo. El principal componente de este es el mátrico, aunque en suelos salinos el potencial osmótico o de solutos tiene también importancia (6).

El potencial mátrico se puede atribuir a la atracción del agua por el suelo mediante las fuerzas de adhesión y cohesión. En el campo este potencial puede medirse directamente con tensiómetros hasta -0.8 bares y los valores más bajos pueden calcularse por lecturas efectuadas en unidades de resistencia eléctrica calibradas. En el laboratorio pueden medirse mediante el uso de platos de presión. La medición combinada del potencial osmótico y mátrico puede hacerse mediante el uso del sicrómetro termopar o termocupla (6).

Existe diferente nomenclatura para denominar la fuerza con que es retenida el agua (o la fuerza requerida para extraer agua) del suelo: succión, tensión, potencial de humedad y el más usado por los científicos en suelos que es el potencial hídrico. Este es un número negativo, debido a que se requiere de un trabajo para remover el agua de las partículas del suelo. El potencial hídrico del suelo se puede expresar por ejemplo como $Y_t = -2$ bares. En ocasiones también se usan pascales, atmósferas o una escala logarítmica (pF). Un mb = 100 pa; una atm = 1013 mb.

La fuerza total de retención de agua (Y_t) puede ser separada en sus varios componentes conocidos :

$$Y_m + Y_g + Y_o + Y_p = Y_{total}$$

donde:

Y_m = potencial mátrico, el mayor contribuyente a la fuerza total y es la suma de las fuerzas antes descritas.

Y_g = potencial gravitacional o fuerza de gravedad.

Ψ_p = potencial de presión, o fuerza debida al peso del agua o presión del aire y es pequeña.

Ψ_o = el potencial osmótico, resulta de la concentración de sales y es apreciable en suelos salinos.

4.2 MARCO REFERENCIAL

4.2.1 Antecedentes de investigaciones realizadas sobre frecuencias de riego y evapotranspiración en el cultivo de maíz

Avila, 1,975 (1), en un estudio sobre Aprovechamiento de la capacidad de retención de humedad del suelo, utilizando el maíz (*Zea mays* L., híbrido H-5) como planta indicadora en la unidad de riego 3.3 "San Cristóbal Acasaguastlán" concluye que para los distintos tratamientos evaluados, la lámina de riego 3.6 cms. cada 15 días, produjo estadísticamente, los mejores rendimientos de maíz en grano. La combinación de intervalo de riego y lámina de agua 3.6 cms. cada 15 días, es la que produce los valores de variación de humedad y de eficiencia de almacenamiento más aceptables. Sin embargo el autor de este estudio considera que una de sus deficiencias fue no contar con datos adicionales climáticos (temperatura, humedad ambiental, precipitación pluvial, etc.).

Castro, 1976 (2), en una evaluación de agua para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), en la unidad de riego El Tempisque, concluye que: El número de riegos aplicados varió de 16, para el tratamiento más húmedo hasta 5 riegos para el tratamiento más seco, (80% y 20% de nivel mínimo de humedad aprovechable en el suelo respectivamente). La eficiencia de retención de humedad por el suelo fue más alta, cuando mayor fue el número de riegos y menor la lámina aplicada en cada riego.

García, 1987 (4), en un estudio sobre "Efecto de seis frecuencias de

riego en el rendimiento y la evapotranspiración del maíz (*Zea mays* L.) en el valle de la Fragua", concluye lo siguiente: Los tratamientos regados cada 8 y 12 días, rindieron las mayores producciones en kilogramos por hectárea. Las diferentes frecuencias de riego, no afectaron el número de plantas vivas al final del ciclo del cultivo. La evapotranspiración total del cultivo tiende a aumentar conforme el intervalo de riego es menor, teniendo valores de 48.64, 44.15, 32.18, 37.67, 34.88 y 26.83 cms., para los intervalos de riego de 8, 12, 16, 24 y 28 días, respectivamente.

Reyes, 1979 (8), en una evaluación de Frecuencias de riego en el cultivo de maíz (*Zea mays* L. híbrido ICTA T 101) con cuatro diferentes láminas de agua, longitudes de surco y niveles de abonamiento químico en el área de la Fragua, Zacapa, obtiene las siguientes conclusiones: Efectuar riegos con lecturas de tensiómetros, sí es válido para el cultivo de maíz, excluyendo suelos negros con suficiente humedad y alto contenido de sales, ya que en estos últimos los tensiómetros marcan alto contenido de humedad aunque no pueda ser aprovechable por el alto contenido de sales.

4.2.2. Ubicación y descripción del área experimental

El experimento se instaló en la estación experimental del ICTA, en el parcelamiento de Cuyuta, Masagua, Escuintla.

La estación experimental está ubicada dentro de las coordenadas 14° 07' Latitud Norte y 91° 09' Longitud Oeste, con respecto al meridiano de Greenwich; a una elevación de 48 m sobre el nivel del mar; una precipitación pluvial de 2,062 mm/año, distribuidos entre los meses de mayo a octubre; y, una temperatura media anual de 26°C.

De acuerdo a los parámetros establecidos en la nomenclatura

internacional de climatología (Doorembos, J.; Kassam, A. H. 1979.) y a las condiciones de la época bajo las cuales se desarrolló este trabajo (marzo a junio de 1993), la temperatura media mensual de la localidad puede considerarse media (rango de 20 a 50 grados centígrados¹); los vientos de débiles a moderados (rango de 2 a 5 m/s); insolación media (5.95 H/día), y la evapotranspiración media mensual puede considerarse media (4.93 mm/día, ver cuadro 10 del anexo).

Los suelos de la zona han sido originados de material aluvial cuaternario, por lo que Simmons (10), los clasifica dentro de la serie de suelos Tiquisate, con textura y consistencia franca-arenosa, profundos y de relieve plano. Son suelos extensos, comprendiendo un 44.5 por ciento del área del departamento; gran parte estaban bajo bosques o pastos naturales. Todos son adaptables a gran variedad de cultivos. Y con suficiente regadío y buen manejo pueden mantenerse en un alto nivel de producción.

De La Cruz S., J.R. (3), menciona que el área ecológica donde se realizará el estudio corresponde a la zona de bosque montano húmedo subtropical. bmh-S

¹ Los datos entre paréntesis, indican el rango de valores para los cuales las características mencionadas tienen validez.

5. OBJETIVOS

5.1 General

- 5.1.1 Cuantificar los diferentes componentes del balance hídrico en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) bajo diferentes condiciones de humedad en el suelo.
- 5.1.2 Realizar un análisis financiero de los diferentes tratamientos bajo estudio.

5.2 Específicos

- 5.2.1 Cuantificar el consumo real de agua (ETR) en el cultivo del maíz.
- 5.2.2 Observar la diferencia de rendimiento en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) bajo diferentes condiciones de limitaciones de agua.
- 5.2.3 Realizar un análisis financiero, en donde se determine la tasa de retorno de los diferentes tratamientos evaluados.

6. METODOLOGIA

6.1 Determinaciones de características del suelo

6.1.1 Análisis físico-químico.

Para el análisis físico-químico de los suelos del área experimental se realizó una calicata y se tomó por estrato: textura, densidad aparente, punto de marchitez permanente y capacidad de campo, también se sacaron submuestras de suelo a profundidades de 0-30 cm y de 30-60 cm para finalmente formar una muestra compuesta la cual fue

analizada en el laboratorio de la Disciplina de manejo de suelo y agua del ICTA, para contar con recomendaciones en cuanto a fertilización. La textura se determinó por el método² de Boyoucos; la densidad aparente se determinó por el método del cilindro de volumen conocido; el punto de marchitez permanente, por el método de la membrana de presión y la capacidad de campo se determinó por el método de membranas de presión.

6.1.2 Determinación de la humedad volumétrica mediante muestreos gravimétricos.

Para obtener el dato del contenido de agua en el suelo se empleó el método gravimétrico (muestreo y secado) el cual consiste en tomar muestras a diferentes profundidades (generalmente intervalos de 10 cm) y sitios en el campo, obteniéndose luego un promedio de la humedad del suelo. El método es simple, no requiere equipo complicado y puede ser usado en todos los suelos agrícolas. Sin embargo es lento y requiere de muchas repeticiones para reducir los errores debidos a la variación del suelo.

Las muestras tomadas en el campo con el barreno se depositan inmediatamente en una lata y se cierran herméticamente. Luego de pesarlas se secan hasta peso constante en una estufa a 105-110 °C (por 24 horas), y se pesan nuevamente. La diferencia de peso es debido a la pérdida de agua, y está dividida por el peso seco del suelo y multiplicada por 100 da el porcentaje de humedad con base en el peso seco.

El número de repeticiones por muestreo fue de siete, fueron distribuidas de tal manera que abarcaron la mayor cantidad de área por

²Ver descripción de este método y los siguientes en este parrafo, en el apéndice.

parcela, considerando los lugares que ya habían sido muestreados y donde había presencia de baterías de tensiómetros.

6.2 Manejo del cultivo.

El cultivo de maíz se manejó de acuerdo con recomendaciones del ICTA en cuanto a preparación del terreno, método y distancias de siembra, control de plagas, control de malezas y fertilizaciones.

Se sembró el maíz híbrido HB-83, actualmente uno de los híbridos de aceptación por su capacidad de producción y adaptación a condiciones locales. En la preparación del terreno se dieron dos pasos de rastra y posteriormente el surqueo a una distancia de 0.75 m, que fue el distanciamiento entre surcos. En el momento de la siembra se aplicó, al fondo de la postura, Volaton 1.5 Gr (Phoxim) granulado a razón de 110 kg/ha para el control de plagas del suelo. En el momento de la siembra se realizó la primera fertilización con la fórmula comercial 20-20-0 en dosis de 200 kg/ha, a los 30 días se aplicó una dosis de 130 kg/ha de urea.

Desde 8 días después de la emergencia se realizaron aplicaciones contra el gusano cogollero, hasta la etapa de prefloración, utilizándose productos comerciales como: Decis (Deltrametrina) y/o volatón (Phoxim).

Con relación al control de malezas, antes de la germinación del cultivo se aplicó un control químico con Erradicane (EPCT) en una dosis de 5 lts/ha, con el fin de controlar la maleza más importante: el coyolillo (Cyperus sp) y malezas de hoja ancha. Posteriormente debido a que aún hubo presencia de malezas, se efectuaron dos limpiezas.

6.3 Manejo del experimento.

6.3.1 Período de conducción del experimento.

El trabajo de campo duró aproximadamente cuatro meses, correspondiendo a las fechas de marzo a junio de 1,993. Después de efectuado el surqueo del terreno, se trazó el experimento, delimitándose 4 parcelas, las cuales estuvieron compuestas por 55 surcos cada una. Las dimensiones de la parcela experimental fueron de 41.75 m x 45 m. Al principio del surco se construyeron las tomas respectivas para regar las parcelas (Ver figura 1).

6.3.2 Método de riego y lámina de agua a aplicar en cada riego.

Se utilizó el método de riego por surcos, desviando el agua de las tomas a las parcelas experimentales por medio de tubos de PVC de 3", previamente calibrados, de estos tubos para los surcos de las parcelas, hubo otra tubería secundaria de 1" de diámetro y por cada tres surcos

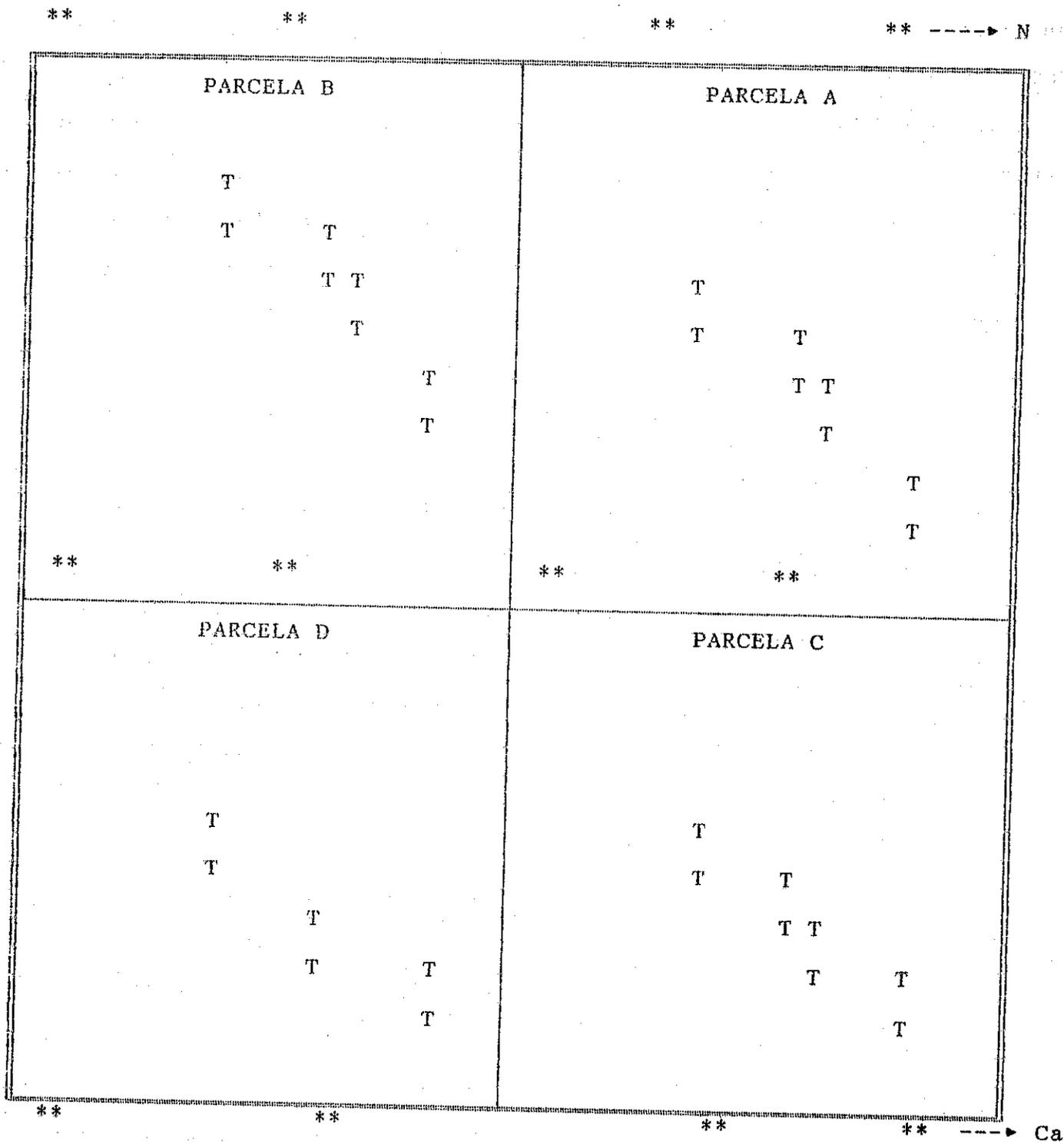


FIGURA 1. Croquis de campo de los tratamientos del estudio sobre balance hídrico en maíz.
 T = Serie de tubos para lectura de tensiómetros
 ** = Tubería principal de riego. Ca = Calicata

hubo un medidor de agua con un nivel de precisión de hasta 1 litro³, para aplicar la cantidad de agua necesaria en litros de acuerdo al área que cubre la longitud del surco. La lámina de riego neta fue igual a la ETM acumulada durante el período, la cual fue calculada multiplicando la ETP por el coeficiente del cultivo (Kc) dado por FAO, la cual fue calculada diariamente usando la fórmula de Penman, se utilizó el programa de microcomputadoras AGROCLIM del Proyecto Regional de Agrometeorología (PRACATIE).

6.3.3 Riegos Generales.

Se dio un riego de humedecimiento y pegue el 21 de febrero de 1993. En total se realizaron 12 riegos en la parcela donde no se cortó el riego. Los riegos estuvieron espaciados por un intervalo de 7 días. Todos los riegos llevaron un control de la lámina aplicada y de esta manera se calculó el volumen aplicado en cada tratamiento.

6.3.4 Control de la humedad del suelo.

El control de la humedad del suelo se realizó utilizando el método de muestreos gravimétricos y mediciones diarias con tensiómetros, permitiendo conocer de esta manera el porcentaje de humedad a intervalos de 10 cms hasta una profundidad de 1.40 m para cada parcela y el potencial hídrico del suelo respectivamente, con el fin de controlar los volúmenes y determinar las láminas normalmente consumidas por el cultivo.

Los muestreos gravimétricos fueron en número de siete abarcando la mayor cantidad del área de la parcela y los tensiómetros fueron colocados

³ El número menor de litros que el medidor puede leer es de 1

de la manera que se presentan en el cuadro 2.

6.3.5 Determinación de las láminas consumidas.

Las láminas de evapotranspiración real medidas fueron obtenidas por diferencia de almacenamiento de agua en el suelo realizando muestreos gravimétricos periódicamente, controlando la escorrentía para que fuese inexistente, llevando control diario de tensiómetros. Aplicando la ley de flujo descendente, se obtuvo el valor de los drenajes. Por condiciones climáticas se consideró la presencia de lluvia, de esta manera y substituyendo en la ecuación de balance hídrico se obtuvieron los valores de las láminas consumidas.

Las láminas de evapotranspiración real medidas por este método fueron obtenidas por diferencia de almacenamiento de agua en el suelo. La ecuación de balance hídrico, utilizada, es la siguiente :

$$PP + R = ETR + Dr + Esc + Var.$$

PP = Precipitación pluvial

R = Riego

ETR = Evapotranspiración real

Dr = Drenaje

Esc = Escurrimiento

Var = variación de almacenamiento

Por las condiciones climáticas, hubo presencia de lluvia y la ecuación simplificada de balance hídrico quedó así :

$$ETR = R + PP - (Dr + Var).$$

La escorrentía fue controlada para ser inexistente, ya que se cerró el espacio al final de cada surco . De esta manera fue como se obtuvo la evapotranspiración real del cultivo.

La percolación profunda se obtuvo por medio de las lecturas diarias de los tensiómetros. Al interpolar con los datos del Cuadro 3 se obtuvo la conductividad capilar diaria (K_h) para la profundidad de 1 m. Se utilizó la ecuación de flujo descendente (q) de agua por unidad de sección transversal, para estimar el drenaje, mediante la siguiente expresión:

$$q = K_h (dS_m/dz + 1)$$

q = flujo

K_h = Conductividad hidráulica (cm/día)

dS_m = Diferencias de tensión de humedad del suelo (cm de agua)

dz = Diferencia de profundidad en nivel de tensiómetros (cm)

El término dS_m/dz representa el gradiente de tensión de humedad del suelo, el término 1 el gradiente gravitacional y el término $dS_m/dz + 1$ representa el gradiente hidráulico total.

Cuadro 2. Distribución de los diferentes tensiómetros utilizados en el estudio.

Parcela	Profundidad (cms)	Tensiómetro
Parcela A		
Ubicación 2	55, 140, 125, 110, 90, 70, 50	Nardeux
Ubicación 3	50, 70, 90, 110, 55, 130	Nardeux
Ubicación 5	55, 120, 100, 80, 50	Nardeux
Ubicación 6	60, 80, 100, 120, 140	Mercurio
Parcela B		
Ubicación 2	55, 140, 125, 110, 90, 70, 50	Nardeux
Ubicación 3	50, 70, 90, 110, 130, 55	Nardeux
Ubicación 5	120, 110, 90, 70, 50	Mercurio
Ubicación 6	70, 90, 110, 130, 55	Mercurio
Parcela C		
Ubicación 2	55, 125, 110, 90, 70, 50	Nardeux
Ubicación 3	50, 70, 90, 110, 125, 55	Nardeux
Ubicación 5	50, 120, 100, 80, 60	Nardeux
Ubicación 6	50, 70, 90, 120, 140	Mercurio
Parcela D		
Ubicación 2	35, 55, 130, 110, 90, 70, 50, 35	Nardeux
Ubicación 3	35, 50, 70, 90, 110, 55, 35	Nardeux
Ubicación 5	130, 110, 90, 70, 50	Mercurio

FUENTE : Elaboración propia.

Cuadro 3. Relación entre la conductividad capilar K_h y la succión mátrica h_m :

Conductividad capilar K_h (cm/día)	Succión mátrica (cm H_2O)
108.000000	50.0
2.400000	125.0
0.240000	160.7
0.024000	335.7
0.017540	400.0
0.013752	500.0

Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería Y Alimentación; Dirección Técnica de Riego y Avenamiento; Plan Maestro de Riego y Drenaje. 1994.

Física de la Humedad del Suelo. Pág. 160.

Aunque similar al caso del volumen, la literatura reporta un efecto positivo sobre estas variables a utilizar el anillado, esto no se dio (cuadro 8A y 9A).

Para cuantificar esta variable se tomaron el ancho y largo de las bayas, el análisis de varianza realizada a estas dos mediciones nos dieron como resultado que no hubo diferencia estadísticamente significativa en el efecto que producen los tratamientos sobre el tamaño (largo y ancho), los tamaños promedio encontrados fueron para el ancho de 1.5 cm y de largo de 2.1 cm hecho valido para las dos localidades,

7. Tamaño de la Baya (Cm)

Aunque no hubo diferencia significativa se puede observar que los mejores resultados los presentan los tratamientos en los que se realizó el anillado, se pudo haber dado el caso en el que el efecto del anillado no se expreso debidamente por el hecho de que no se realizó un raleo del racimo lo que impidió el desarrollo de la baya, aunque también pudo ocurrir que el anillado no produjera el efecto deseado.

TRATAMIENTOS (anillado)	MEDIA (gr)	GRUPO DE TURKEY
- Anillado de los brazos después de la poda	5.95	a
- Testigo.	5.90	a
- Anillado basal después de la poda.	5.90	a
- Anillado basal en la floración.	5.83	a
- Anillado de los brazos en la floración.	5.68	b

Cuadro 5. Comparación múltiple de medias (Tukey) para el peso de la baya en Gramos, para la localidad de Chiquimula.



tensiómetros.

d. Altura de la planta (cms).

e. Tasa de retorno

6.5 Metodología de análisis

Para el análisis de la variable rendimiento se utilizó la estadística descriptiva.

El análisis económico se realizó de acuerdo con las siguientes fórmulas :

$$IN = IT - CT$$

Donde:

IN = Ingreso neto

IT = Ingreso total

CT = Costos totales

$$CT = CF + CV$$

Donde :

CF = Costos fijos

CV = Costos variables

$$TR = \Delta IN / \Delta CV$$

Donde :

TR = Tasa de retorno

Δ IN = Cambio en el ingreso neto

Δ CV = Cambio en los costos variables

7. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1 Láminas consumidas medidas por el Método gravimétrico (ETR) y láminas de evapotranspiración máxima (ETM) calculadas por el Método de Penman .

Los datos de ETR entre muestreos y ETR/período, medidos en el campo con el método gravimétrico, con los tensiómetros, y los valores estimados de ETM se presentan en el cuadro 4, y en las figuras 8A al 15A (en el apéndice). Los datos obtenidos en la parcela A, batería 2; parcela B, batería 2 y 3; parcela C, batería 5; no se tomaron en cuenta, por haberse observado daños en los tensiómetros (tapones o conecciones con el medidor de tensión).

En el cuadro 4, en la tercera columna se pueden observar (en períodos de 10 días) los datos de la evapotranspiración real (ETR), para cada una de las baterías de tensiómetros, que sirvieron como base. En la cuarta columna se observa una media, de los valores de ETR de la tercera columna. En la quinta columna tenemos los valores de la ETR diaria y en la sexta columna los valores de la evapotranspiración máxima calculada. Lo anterior se observa para la parcela A, B, C y D. Los datos medios de la ETR en las cuatro parcelas, sirvieron de base en las gráficas 8A al 11A (en el apéndice) y los datos de la ETM sirvieron de base para las gráficas 12A al 15A (en el apéndice).

En las figuras 8A al 11A (en el apéndice) se observan los datos de ETR y riego más lluvia, durante el ciclo del cultivo y en las figuras 12A al 15A (en el apéndice) se observan los datos de ETM y riego más lluvia durante el ciclo del cultivo. En estas figuras, las barras indican los valores de las sumatorias de riego más lluvia en los períodos

de décadas de días y la línea los valores de ETR o ETM en los períodos de décadas de días, cuando la barra no alcanza la altura de la línea en un determinado período, nos indica que hubo escasez hídrica en esa década de días. A continuación se discute con mayor detalle lo relacionado con las figuras 8A al 15A (en el apéndice).

La parcela A estuvo con escasez hídrica en la 6ta. década de días después de la germinación (DDG) de acuerdo con la evapotranspiración real (ETR) calculada y la ETM calculada (figuras 8A y 12A, en el apéndice).

La parcela B estuvo con escasez hídrica de la 5ta. a la 7ma. y la 10ma. década de DDG de acuerdo con la evapotranspiración real (ETR) calculada y la ETM calculada (figuras 9A y 13A, en el apéndice).

La parcela C estuvo con escasez hídrica en la 6ta., 7ma. y 10 ma. década de DDG de acuerdo con la evapotranspiración real (ETR) calculada y en la 5ta., 6ta., 7ma. y 10 ma. década de DDG de acuerdo con la ETM calculada (figuras 10A y 14A en el apéndice).

La parcela D estuvo con escasez hídrica de la 4ta. a la 7ma. y la 10ma. década de DDG de acuerdo con la evapotranspiración real (ETR) calculada y en la 4ta., 6ta., 7ma. y 10ma. de DDG de acuerdo con la ETM calculada (figuras 11A y 15A en el apéndice).

7.2 Relación entre los componentes del balance hídrico .

En el cuadro 5 podemos apreciar la cuantificación de los componentes del balance hídrico del cultivo del maíz y los datos de ETM estimados en este experimento.

En las figuras 16A a la 24A en el apéndice, se pueden ver gráficamente los valores de tensión en relación con la cantidad de riego

Cuadro 4. Láminas consumidas medidas por el Método gravimétrico(ETR) y láminas estimadas por el Método de Penman(ETM)

Parc	Días después de la germinación	Bat. 3	Bat. 5	Bat. 6	ETR/ Período c/10 días	ETR/ Diar.	ETM
A	10	19.69	19.69	19.69	19.69	1.97	19.67
	20	26.57	26.57	26.57	26.57	2.66	26.5
	30	31.65	31.65	31.65	31.65	3.17	31.46
	40	34.68	34.68	34.68	34.68	3.47	34.16
	50	39.99	40.94	40.78	40.57	4.06	44.03
	60	22.84	27.58	26.78	25.73	2.57	49.68
	70	50.18	54.27	50.02	51.49	5.15	58.63
	80	31.25	29.09	39.15	33.16	3.32	54.89
	90	39.19	35.21	45.9	40.1	4.01	52.33
	100	52.37	40.29	52.22	48.29	4.83	49.4
	110	58.6	30.96	45.56	45.04	4.5	45.66
	116	35.16	18.58	27.34	27.02	4.5	21.46
			Sum.		423.99		487.9
B			Bat 5	Bat 6			
	10		19.69	19.69	19.69	1.97	19.67
	20		26.57	26.57	26.57	2.66	26.5
	30		29.03	29.71	29.37	2.94	31.46
	40		22.00	25.66	23.83	2.38	34.16
	50		50.06	55.18	52.62	5.26	44.03
	60		42.39	45.22	43.8	4.38	49.68
	70		41.02	47.5	44.26	4.43	58.63
	80		41.71	41.55	41.63	4.16	54.89
	90		38.04	27.95	33.0	3.3	52.33
	100		38.04	27.95	33.0	3.3	49.4
110		38.04	27.95	33.0	3.3	45.66	
116		22.83	16.77	19.8	3.3	21.46	
			Sum.	400.57		487.9	

Continúa Cuadro 4:

Parc	Días después de la germinación	Bat. 3	Bat. 5	Bat. 6	ETR/Período c/10 días	ETR/Día	ETM
C		Bat 2	Bat 3	Bat 6			
	10	19.69	19.69	19.69	19.69	1.97	19.67
	20	26.57	26.57	26.57	26.57	2.66	26.5
	30	27.58	27.58	27.58	27.58	2.76	31.46
	40	24.75	27.88	28.97	27.2	2.72	34.16
	50	24.29	34.94	38.55	32.6	3.26	44.03
	60	54.78	57.53	59.16	57.16	5.72	49.68
	70	63.17	63.93	69.74	65.61	6.56	58.63
	80	82.39	64.47	55.00	67.29	6.73	54.89
	90	72.08	53.13	69.27	64.83	6.48	52.33
	100	66.7	48.2	76.1	63.67	6.37	49.4
	110	66.7	48.2	76.1	63.67	6.37	45.66
116	40.02	28.92	45.66	38.20	6.37	21.46	
			SUM	554.07		487.9	
D		Bat 2	Bat 3	Bat 5			
	10	19.69	19.69	19.69	19.69	1.97	19.67
	20	26.57	26.57	26.57	26.57	2.66	26.5
	30	19.88	20.07	19.33	19.76	1.98	31.46
	40	36.32	34.44	28.52	33.1	3.31	34.16
	50	79.01	63.68	60.95	67.88	6.79	44.03
	60	36.19	33.85	34.08	34.71	3.47	49.68
	70	47.19	41.84	40.76	43.26	4.33	58.63
	80	53.17	50.17	49.78	51.04	5.1	54.89
	90	40.53	40.53	40.53	40.53	4.05	52.33
	100	41.65	41.65	41.65	41.65	4.17	49.4
	110	38.22	38.22	38.22	38.22	3.82	45.66
116	15.29	15.29	15.29	15.29	3.82	21.46	
			Sum.	431.7		487.9	

FUENTE : Resultados del experimento.

ETR = Evapotranspiración real.

ETM = Evapotranspiración máxima.

Bat. = Bateria.

riego más lluvia presente en las baterías instaladas en las parcelas A, B, C y D. Se observa en estas figuras, que mientras los valores de riego más lluvia fueron altos, los valores de tensión fueron bajos y viceversa. Los valores numéricos de estas gráficas sirvieron para cuantificar la cantidad de agua que bajo por drenaje, lo cual sucedió generalmente cuando los tensiómetros presentaron lecturas entre 200 y 300 milibares.

Los valores de ETR en el ciclo de cultivo son diferentes a los valores de ETM, esto debido a que lógicamente, del total de agua recibida, solamente una parte es consumida por el cultivo, lo anterior se confirma al observar las sumatorias de ETR para las parcelas A, B y D.

En los experimentos conducidos por Sandoval (9), sobre la cantidad de agua que un cultivo consume al ser regado a diferentes intervalos, se ha determinado que de manera general cuando el riego es más frecuente el cultivo consume más agua ya que tiene mayor cantidad de ella fácilmente disponible; o sea que sí existe ahorro de agua al regar con frecuencias más largas. Este aspecto debe conjugarse con la probable reducción en el rendimiento si se somete el cultivo a déficit de agua considerados rigurosos. Los resultados obtenidos en este ensayo indican que en la parcela B, el cultivo estuvo sin aportación de agua del día 32 al 45 DDG, o sea 12 días sin aportación de agua y el rendimiento no fue afectado como en el caso de la parcela D.

Cuadro 5. Componentes del balance hídrico en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.).
Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993.

Parcela	Riego (mm)	Lluvia (mm)	Drenaje	Cambio de Almac.	ETR	ETM
A	281	527.3	380.34	-3.97	423.99	487.9
B	81	527.3	188.07	-19.66	400.57	487.9
C	101	527.3	-17.92	-92.15	554.07	487.9
D	36	527.3	76.27	-55.33	431.7	487.9

FUENTE : Resultados del experimento.

ETR = Evapotranspiración real.

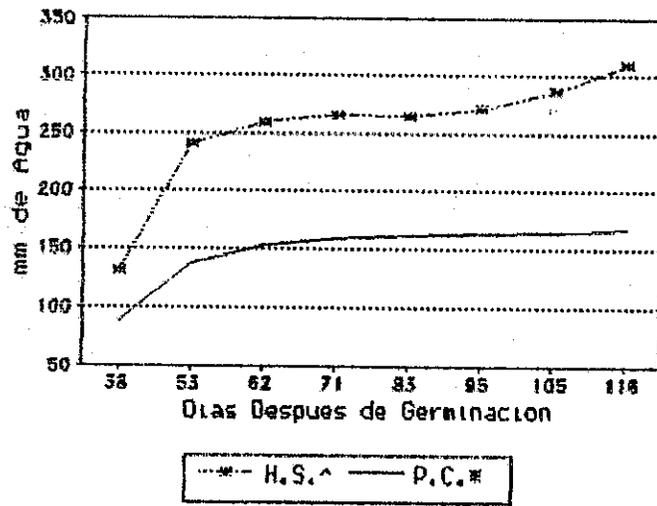
ETM = Evapotranspiración máxima.

7.3 Almacenamiento de la humedad del suelo de acuerdo con la profundidad radicular.

El resumen de los resultados de la humedad del suelo en el estrato 0 a 100 cm obtenidos por parcela se presentan en el cuadro 6 y figuras 2 al 5 que se encuentran en las páginas siguientes.

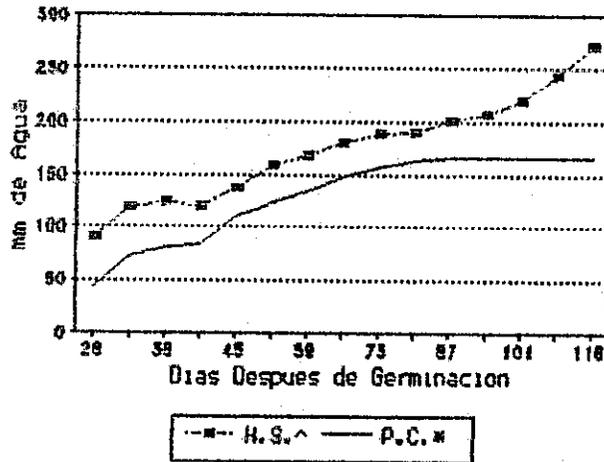
De acuerdo con los resultados del cuadro 6, los porcentajes de humedad almacenada están en relación al número de riegos aplicados, ya que a la parcela D, solamente se le aplicaron 36 mm de agua de riego durante todo el ciclo, y presentó los valores de almacenamiento más bajos, indicando que tuvo menores cantidades de agua (en relación a las demás) disponibles; y la parcela A que se le aplicaron 281 mm de agua de riego durante todo el ciclo, fue la que presentó valores de almacenamiento más altos, teniendo mayores cantidades de agua disponibles que las otras parcelas.

Se estimó (con los datos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente; ver cuadro 11 del anexo) una lámina de humedad aprovechable (LHA) de 148 mm de agua, utilizando un déficit permitido de manejo (DPM)



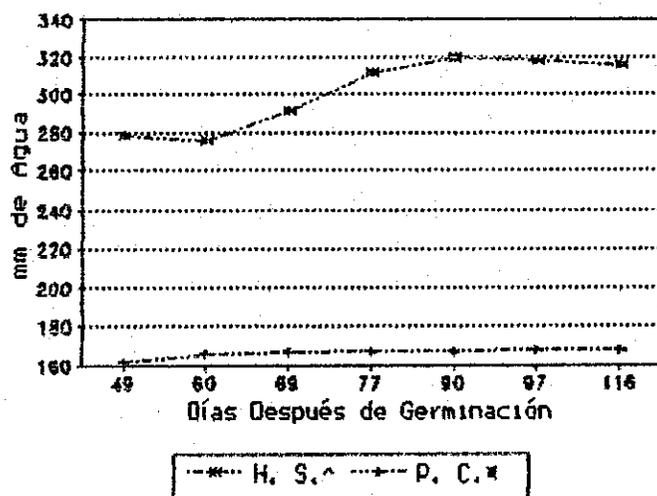
H.S.^ = Humedad del suelo, P.C.* = Punto crítico en el suelo

FIGURA 4. Porcentaje de humedad en el suelo del cultivo del maíz en la parcela C. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993.



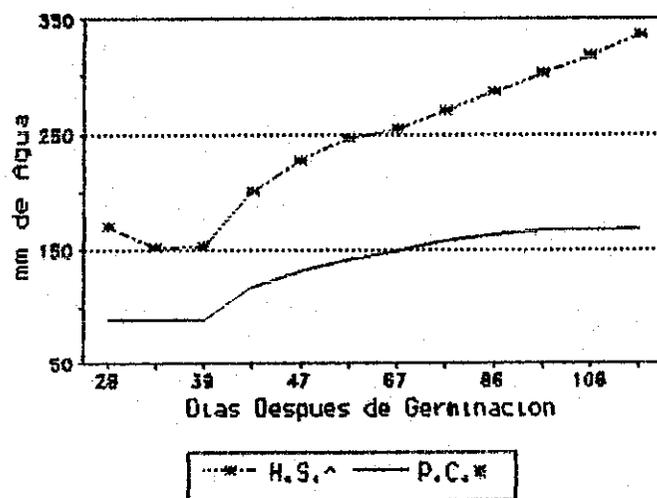
H.S.^ = Humedad del suelo, P.C.* = Punto crítico en el suelo

FIGURA 5. Porcentaje de humedad en el suelo del cultivo del maíz en la parcela D. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio 1993.



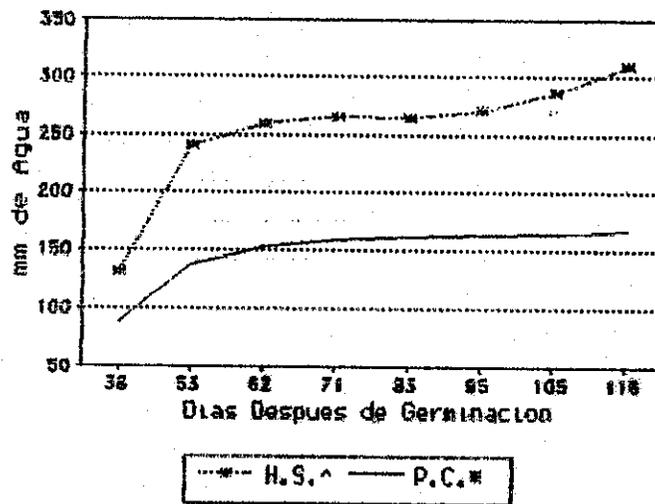
H.S.^ = Humedad del suelo, P.C.* = Punto crítico en el suelo

FIGURA 2. Porcentaje de humedad en el suelo del cultivo del maíz en la parcela A. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993.



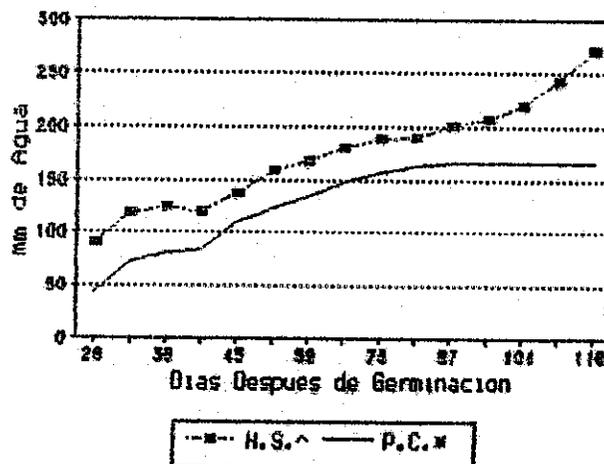
H.S.^ = Humedad del suelo, P.C.* = Punto crítico en el suelo

FIGURA 3. Porcentaje de humedad en el suelo del cultivo del maíz en la parcela B. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993.



H.S.^ = Humedad del suelo, P.C.* = Punto crítico en el suelo

FIGURA 4. Porcentaje de humedad en el suelo del cultivo del maíz en la parcela C. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993.



H.S.^ = Humedad del suelo, P.C.* = Punto crítico en el suelo

FIGURA 5. Porcentaje de humedad en el suelo del cultivo del maíz en la parcela D. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio 1993.

En la parcela A, a los 49 DDG la diferencia entre la humedad del suelo y el punto crítico es de 116.38 mm, a los 77 DDG es de 174.46 y a los 122 DDG es de 142.03 mm, lo que nos indica que durante todo el ciclo del cultivo, de acuerdo a los muestreos realizados, el cultivo no presentó problemas con la escasez de humedad del suelo (figura 2).

En la parcela B, a los 28 DDG la diferencia entre la humedad del suelo y el punto crítico es de 81.41 mm, a los 56 DDG es de 123.73 mm y a los 116 DDG es de 208.54 mm, lo que nos indica que durante todo el ciclo del cultivo, de acuerdo a los muestreos realizados, el cultivo no presentó problemas con la escasez de humedad del suelo (figura 3).

En la parcela C, a los 38 DDG la diferencia entre la humedad del suelo y el punto crítico es de 42.41 mm, a los 71 DDG es de 107.69 mm y a los 116 DDG es de 189.94 mm, lo que nos indica que durante todo el ciclo del cultivo, de acuerdo a los muestreos realizados, el cultivo no presentó problemas con la escasez de humedad del suelo (figura 4).

En la parcela D, a los 26 DDG la diferencia entre la humedad del suelo y el punto crítico es de 47.85 mm, a los 59 DDG es de 31.83 mm y a los 116 DDG es de 167.56 mm, lo que también nos indica que durante todo el ciclo del cultivo, de acuerdo a los muestreos realizados, el cultivo no presentó problemas con la escasez de humedad del suelo (figura 5).

Analizando los datos tenemos que de acuerdo a los muestreos gravimétricos realizados y en presencia de 527.3 mm de lluvia durante el ciclo cultivo, las parcelas no estuvieron en condiciones de humedad que pudiesen afectar el rendimiento.

Sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos en este experimento, hubo una diferencia de 0.625 tm/ha entre la parcela D (1

riego) y la parcela B (2 riegos, ver inciso 7.4). A continuación se dan los datos de los días en que las diferentes parcelas estuvieron sin aportación de agua (por riego ó lluvia):

Parcela A : = 0 día sin aportación

Parcela B : día 37 al 49 (después de siembra) = 12 días sin aportación

Parcela C : día 43 al 49 (después de siembra) = 6 días sin aportación

Parcela D : día 22 al 49 (después de siembra) = 27 días sin aportación

La diferencia de rendimiento entre B y D, se debe a que la parcela B estuvo solamente 12 días sin aportación de agua, a diferencia de la parcela D que estuvo 27 días sin aportación.

7.4 Efectos de los tratamientos de riego sobre la variable rendimiento.

En la cuadro 7 y figura 6 se presentan los resultados de rendimiento obtenidos.

De acuerdo a lo que se observa en la figura 14 y los datos del cuadro 7, el rendimiento más alto corresponde al tratamiento B (corte de riego a los 37 días), con 8.835 Tm/ha, el rendimiento más bajo lo dio el tratamiento A (sin corte de riego, regando c/7 días) con 8.170 Tm/ha.

De manera general estos datos concuerdan con lo expuesto por Sandoval (9), de que un exceso de agua en el período de formación del fruto puede afectar la formación del grano, lo cual se puede observar en los resultados de la parcela A, ya que la parcela A recibió 808.3 mm de agua durante el ciclo (112 mm más que la evapotranspiración real de los

Cuadro 7 Resultados organizados para rendimiento de maíz en grano (Tm/ha), Junio de 1993.

TRATAMIENTO	Parcela A	Parcela B	Parcela C	Parcela D
RENDIMIENTO Tm/ha.	8.170	8.835	8.572	8.210

FUENTE: Resultados del experimento.

85 a 105 días después de la germinación), mientras que la parcela B recibió 608.3 mm de agua, o sea 200 mm de agua menos que la parcela A (cuadro 5) y la parcela B obtuvo 0.67 tm/ha más de rendimiento que la parcela A. En este ensayo la parcela que tuvo riego de 81 mm (parcela B) y corte de riego a los 37 días después de la siembra, obtuvo un rendimiento de 8.835 Tm/ha, el mayor. Sin embargo considerando la media de las cuatro parcelas (8.4 Tm/ha) y la diferencia (0.67 Tm/ha), entre el rendimiento mayor y menor, no sobrepasa el 10 % de la media (0.84 Tm/ha), esto se debe a que las condiciones de lluvia, interactuaron con el suelo (inciso 7.3), manteniéndolo en un nivel superior al punto crítico de la planta, durante todo el ciclo de cultivo, para las cuatro parcelas estudiadas; desde el punto de vista fisiológico, estas condiciones no permitieron que las plantas estuviesen en stress hídrico, durante todo el ciclo de cultivo. En el inciso 7.5, se discute lo relacionado con condiciones climáticas (la lluvia) y sus efectos fisiológicos en la altura de la planta. En el inciso 7.6, se hace una evaluación económica de estos resultados.

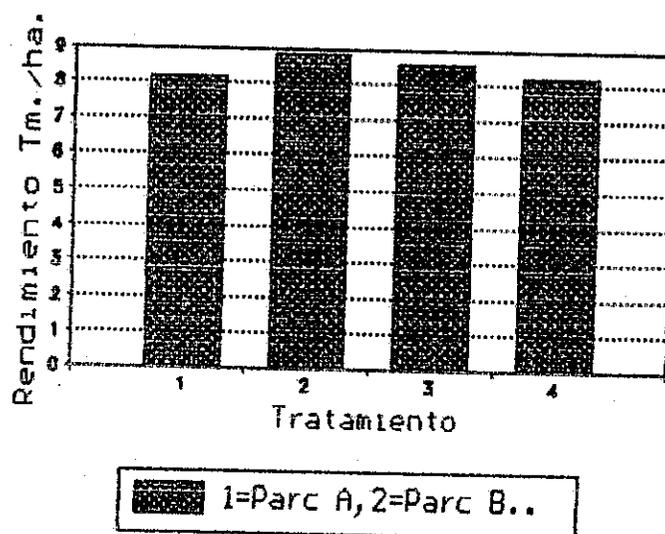


FIGURA 6. Rendimiento de maíz en grano (Tm/ha).

Cuyuta, Masagua, Escuintla. Junio de 1993.

7.5 Relación entre la altura de planta en las diferentes parcelas estudiadas.

Para evaluar el efecto producido en la altura de las plantas en las diferentes parcelas estudiadas, se tomó la altura de 3 plantas elegidas al azar en las 4 parcelas evaluadas. La lectura de las alturas se efectuó cada 3 días desde los 13 días después de la germinación (cuadro 8).

En la figura 7, se puede observar el comportamiento del crecimiento en las plantas en las diferentes parcelas estudiadas. Básicamente se puede observar que existe un crecimiento igual durante el ciclo de cultivo, por tanto, las diferentes condiciones delimitaciones de humedad no tuvieron influencia sobre la variable altura, esto tiene su explicación

y con acuerdo con el hecho de que los valores de humedad del suelo obtenidos en los diferentes muestreos realizados, no estuvieron abajo de los valores del punto crítico en ninguna de las parcelas.

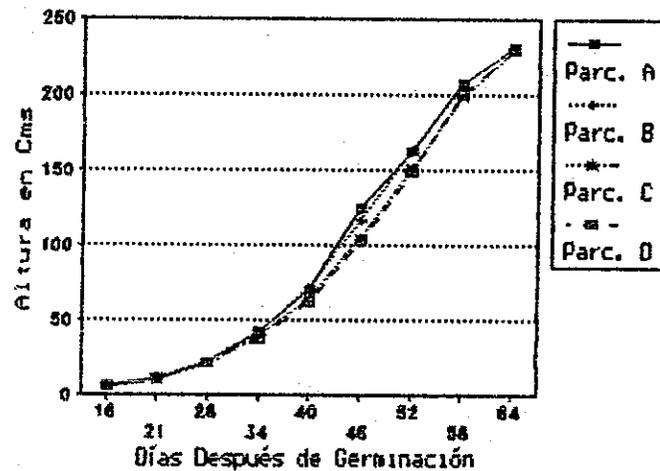


FIGURA 15. Relación entre la altura de planta en las parcelas estudiadas.

Cuyuta, Masagua, Escuintla. 1993.

7.6 Análisis de dominancia sobre maíz con relación al uso del riego en las diferentes parcelas estudiadas en este ensayo.

De este análisis expuesto en el cuadro 9, se observa que los tratamientos C y A fueron dominados (D), esto debido a que tienen mayores costos que varían y menores beneficios netos que el tratamiento anterior. Mientras mas se invierte en costos que varían se obtienen menores beneficios netos, estos tratamientos (C y A) no serán considerados en el análisis, que se presenta en el cuadro 9.

Cuadro 8. Relación entre la altura de planta (cms) en las parcelas estudiadas.

Cuyuta, Masagua, Escuintla, 1993.

DDG	Parcela A	Parcela B	Parcela C	Parcela D
13	5	6	5	6
16	6	8	7	7
18	9	10	10	9
21	11	11	12	12
25	17	18	18	17
28	25	26	23	26
31	40	45	37	35
34	44	41	41	40
37	59	61	54	51
40	81	82	74	72
43	104	105	93	90
46	146	129	117	114
49	149	150	140	137
52	177	178	164	162
55	194	197	187	188
58	220	217	211	214
61	231	228	226	227
64	231	234	232	231

FUENTE : Resultados del experimento.

DDG = Días después de la germinación.

Cuadro 9. Análisis de dominancia sobre maíz con relación al uso del riego.

Tratamiento	No. de Riegos	Total de Costos que varían (Q/ha)	Beneficios Netos (Q/ha)
D	2	Q 111.98	Q 842.62
B	3	Q 167.96	Q 1474.14
C	4	Q 223.95	Q 1128.85 D
A	9	Q 503.9	Q 406.70 D

FUENTE : Resultados del experimento

7.7 Análisis de presupuesto parcial sobre maíz con relación al uso del riego en las diferentes parcelas estudiadas en este ensayo.

INSUMOS

1. Riego

1.1 Costo de energía : (30.00/riego/ha)

Parcela B	3 riegos	90.00
Parcela D	2 riegos	60.00

1.2 Aplicación del riego (Q22.00/ha/1 jor)

Parcela B	3 riegos	66.00
Parcela D	2 riegos	44.00

1.3 Costo total del riego

Parcela B	156.00
Parcela D	104.00

1.4 Costo de capital (23 % anual)

Parcela B	11.96
Parcela D	7.98

INGRESOS

3. Rendimiento comercial (Tm/ha)

Parcela B	8.835
Parcela D	8.21

4. Precio (Q/Tm)

1100.00

5. Ingreso total (Q/ha)

Parcela B	9718.50
Parcela D	9031.00

RESULTADOSCambio en el ingreso total (Δ IT) :

Parcela B	Q 687.50
-----------	----------

Cambio en los costos variables (Δ CV) :

Parcela B	Q 55.98
-----------	---------

Cambio en el ingreso Neto (Δ IN) :

Parcela B	Q 631.52
-----------	----------

Tasa de retorno TR

Parcela B	11.28
-----------	-------

La aplicación de riego resulta beneficioso frente a la no utilización del mismo en la parcela B. De acuerdo a las tasa de retorno obtenida en la presente investigación podemos analizar que por cada Q 1.00 adicional de inversión para la aplicación de un riego más en la parcela B, se obtiene un retorno de Q 11.28.

8. CONCLUSIONES

8.1 Los componentes del balance hídrico en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) son los siguientes:

Parcela	Riego (mm)	Lluvia (mm)	Drenaje (mm)	Cambio de Alm. (mm).	ETR (mm)
A	281	527.3	380.34	3.97	423.99
B	81	527.3	188.07	19.66	400.57
C	101	527.3	-17.92	92.15	554.07
D	36	527.3	76.27	55.33	431.7

ETR = Evapotranspiración real, Alm. = Almacenamiento

Y el valor estimado de la Evapotranspiración máxima es de 487.9 mm

8.2 El valor de la lámina aprovechable (LHA) es de 148 mm de agua, el valor de la lámina de humedad rápidamente aprovechable (LHRA) es de 74 mm de agua, la capacidad de campo (CC) de 241.7 mm y el valor de humedad del punto crítico a 1 m. de profundidad es de 167.7 mm de agua.

8.3 Los rendimientos bajo estas condiciones climáticas, son los siguientes : Parcela A = 8.446 Tm/ha, parcela B = 8.835 Tm/ha, parcela C = 8.572 Tm/ha y la parcela D = 8.210 Tm/ha.

8.4 Aún cuando algunas parcelas recibieron riego desde un principio y otras no, la diferencia en el rendimiento, no sobrepasa el 10 %, de la media de rendimiento.

8.5 De acuerdo con el análisis económico realizado se puede decir que la aplicación de riego resulta beneficioso frente a la no utilización del mismo en la parcela B . De acuerdo con la tasa de retorno obtenida, por cada Q 1.00 de inversión (en el costo variable) se obtiene un retorno de Q 11.28.

9. RECOMENDACIONES

- 9.1 Bajo condiciones que se analizó esta investigación, se recomienda regar tres veces, una con la siembra, una a los 23 días después de la germinación y otra a los 33 días después de la germinación, con una aplicación de 2.5 cms de lámina con la siembra (de humedecimiento), de 3.6 cm de lámina en el segundo riego y de 4.5 cm de lámina en el tercer riego.
- 9.2 No regar un exceso de agua en el período de formación del fruto (entre los 85 a 105 días después de la germinación), para ello aplicar la lámina de riego necesaria en intervalos de 10 ó 15 días, lo que permite un mayor consumo de la humedad aprovechable en el suelo.

10. BIBLIOGRAFIA

1. AVILA P., J.F. 1975. Aprovechamiento de la capacidad de retención de humedad del suelo, sobre el rendimiento del cultivo del maíz (*Zea mays*, híbrido H-5) en la unidad de riego 3.3 "San Cristóbal Acasaguastlán". Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 58 p.
2. CASTRO M., M.J. 1,976. Consumo de agua para el cultivo de maíz (*Zea mays*), en la unidad de riego el Tempisque. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 58 p.
3. CRUZ S., J.R. DE LA. 1,982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala, a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
4. GARCIA A., M.R. 1,987. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y la evapotranspiración del maíz (*Zea mays* L.) en el valle de la Fragua. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 58 p.
5. GRAMAJO B., A.H. 1,993. Efectos en el componente de rendimiento por irregularidad en la frecuencia de las lluvias en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*), en tres fechas de siembra en el valle de Quetzaltenango. Tesis Ing. Agr. Quetzaltenango, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro universitario de occidente. 55 p.
6. PEREZ M., A. 1,991. Evaluación de cuatro frecuencias de riego sobre el rendimiento, calidad industrial del fruto y evapotranspiración real del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* L.), utilizando los métodos de Penman y sonda de neutrones, en el parcelamiento Cuyuta, Masagua, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 71 p.
7. PRUIT, W.O. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, FAO. Serie de Riego y Drenaje. no. 24. 110 p.
8. REYES R., L.I. 1,979. Frecuencia de riego en el cultivo de maíz (*Zea mays* híbrido ICTA T-101) con cuatro diferentes láminas de agua, longitudes de surco y niveles de abonamiento químico en el área de la Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 56 p.

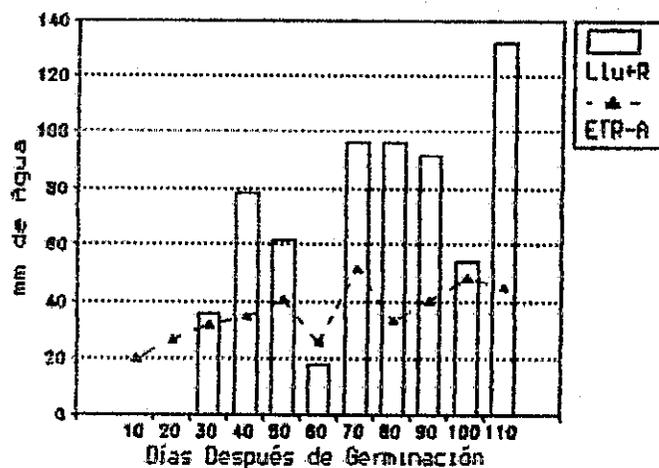
9. SANDOVAL ILLESCAS, J.E. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 345 p.
10. SIMMONS, CH.S.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1,959. Clasificación de reconocimiento de suelos de la República de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado - Sulsona. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra. 1000 p.
11. TAYLOR, S.A. 1965. Managing irrigation water on the farm. Am. Soc. Agrc. Engrs. (EE.UU.). 8:433-436.

Vº. Bº.

Miriam De La Roca

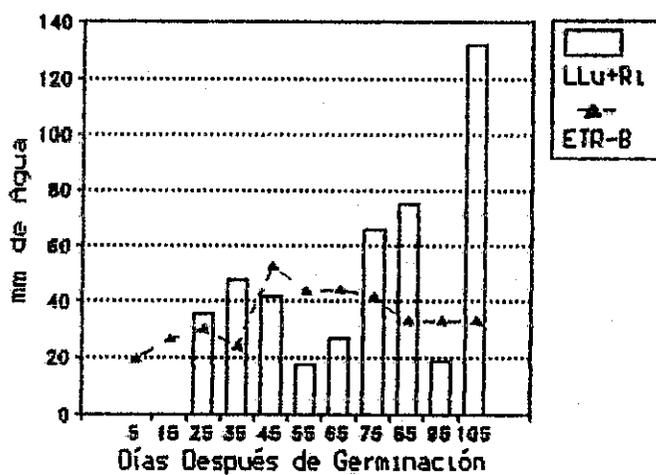


APENDICE



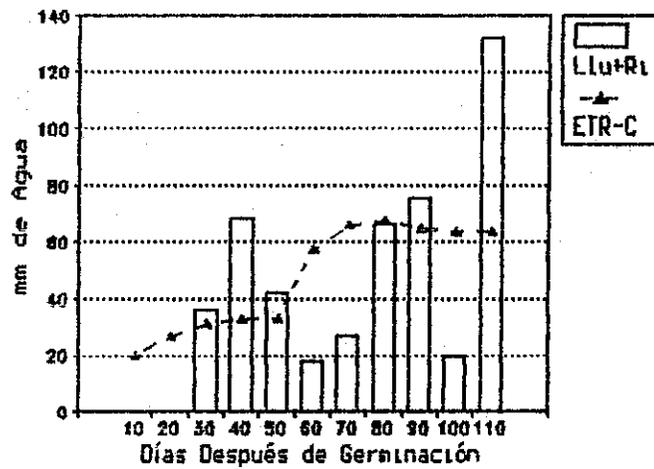
Llu+R = Lluvia + riego y ETR-A = Evapotranspiración real en la parcela A.

FIGURA 8A. Evapotranspiración real en el cultivo del maíz, parcela A. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993.



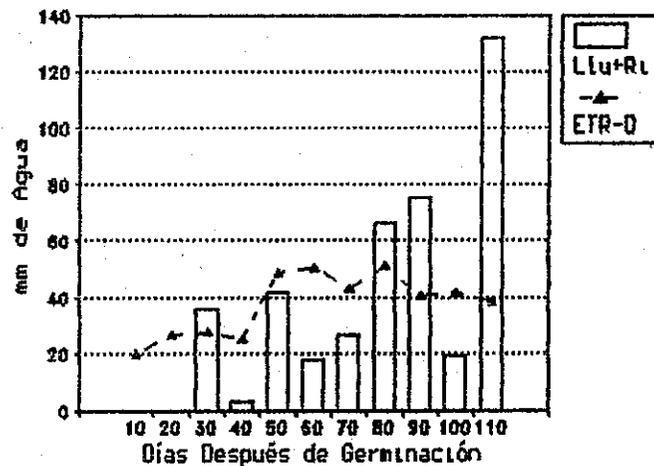
LLu+Ri = Lluvia + riego y ETR-B = Evapotranspiración real en la parcela B.

FIGURA 9A. Evapotranspiración real en el cultivo del maíz, parcela B. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1996.



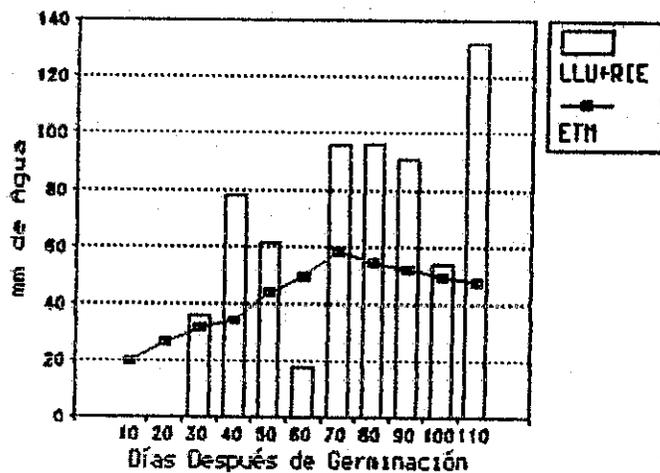
L
 lu+R = Lluvia + riego y ETR-C = Evapotranspiración real en la parcela C.

FIGURA 10A. Evapotranspiración real en el cultivo del maíz, parcela C. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1996.



Llu+R = Lluvia + riego y ETR-D = Evapotranspiración real en la parcela D.

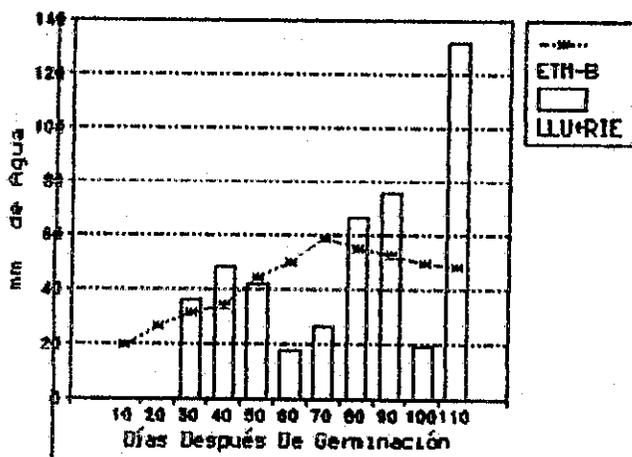
FIGURA 11A. Evapotranspiración real en el cultivo del maíz, parcela D. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio 1993.



Llu+R = Lluvia + riego y ETM = Evapotranspiración máxima.

FIGURA 12A.

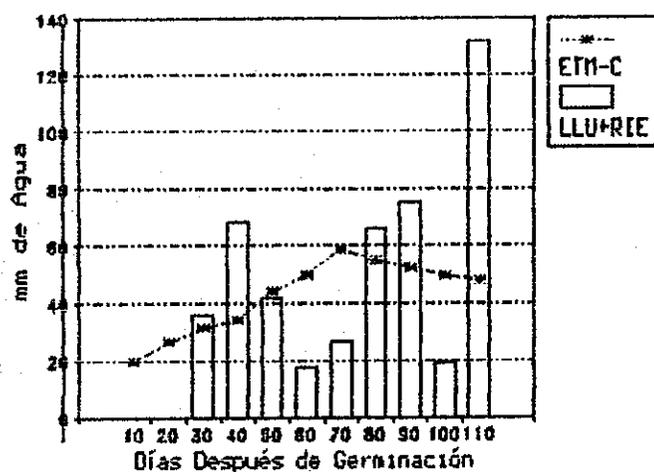
Evapotranspiración máxima en el cultivo del maíz y riego+lluvia en la parcela A. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993.



Llu+R = Lluvia + riego y ETM = Evapotranspiración máxima.

FIGURA 13A.

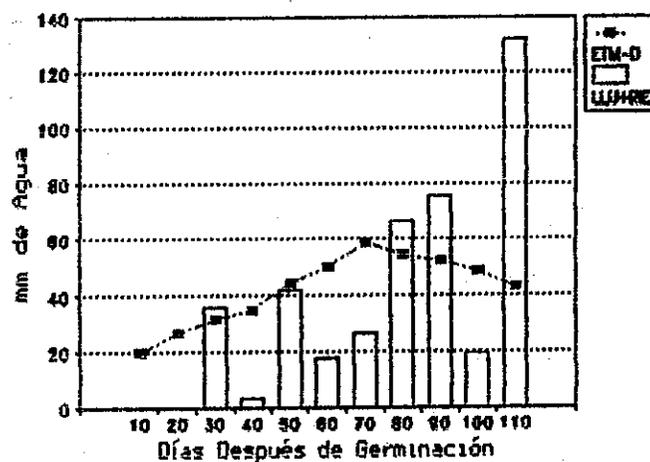
Evapotranspiración máxima en el cultivo del maíz y riego+lluvia en la parcela B. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993.



Llu+R = Lluvia + riego y ETM = Evapotranspiración máxima.

FIGURA 14A.

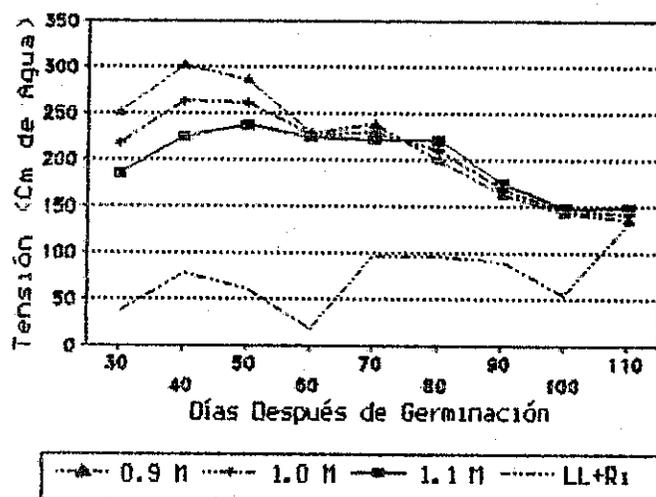
Evapotranspiración máxima en el cultivo del maíz y riego+lluvia en la parcela C.
Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993.



Llu+R = Lluvia + riego y ETM = Evapotranspiración máxima.

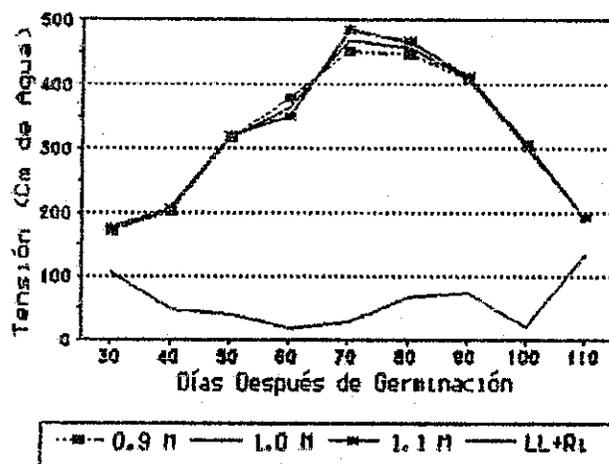
FIGURA 15A.

Evapotranspiración máxima en el cultivo del maíz y riego+lluvia en la parcela D.
Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993.



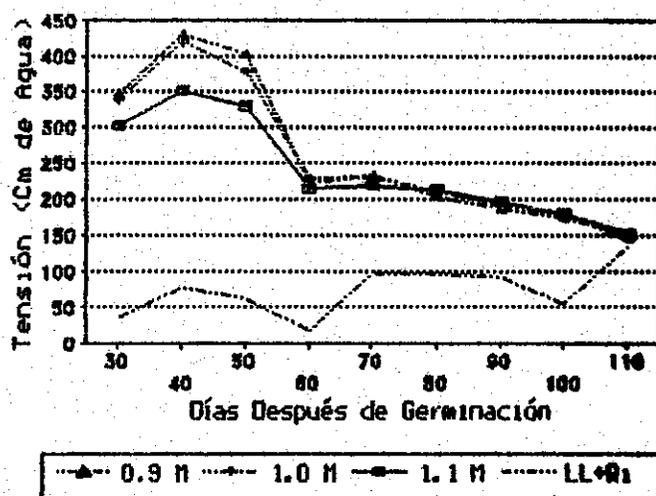
M = metros de profundidad, LL+R = Lluvia + riego en mm.

FIGURA 16A. Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 3, de la parcela A. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993



M = metros de profundidad, LL+R = Lluvia + riego en mm.

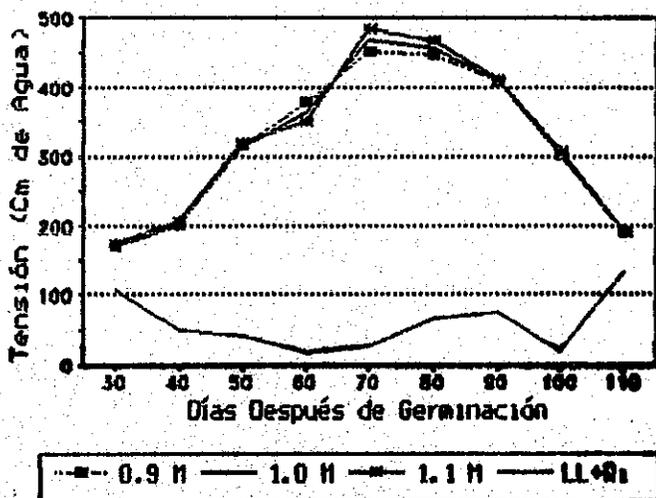
FIGURA 17A. Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 5, de la parcela A. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993



M = metros de profundidad, LL+R = Lluvia + riego en mm.

FIGURA 18A.

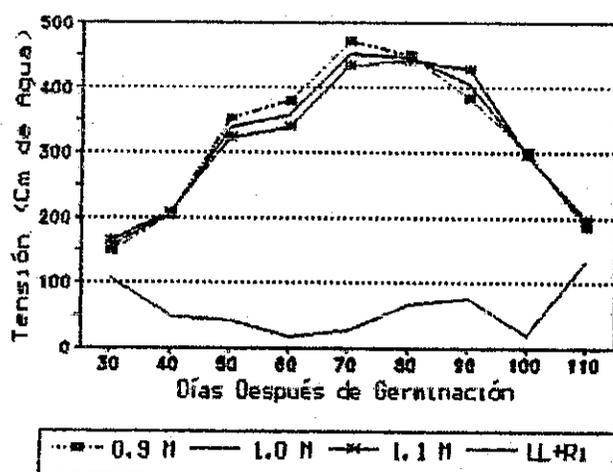
Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 6, de la parcela A.
Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993



M = metros de profundidad, LL+R = Lluvia + riego en mm.

FIGURA 19A.

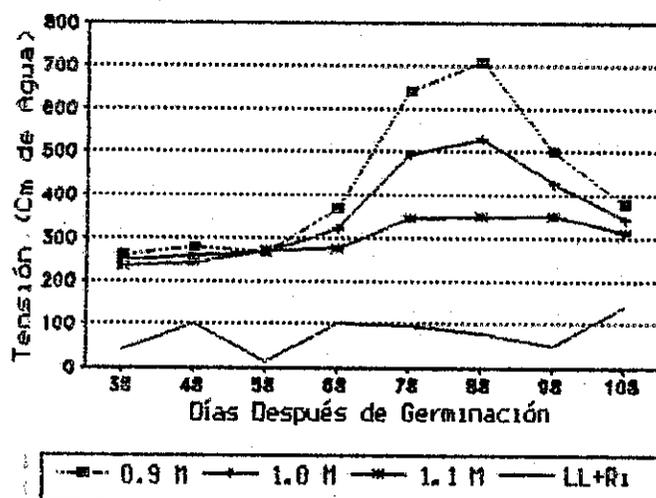
Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 5, de la parcela B.
Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993



M = metros de profundidad, LL+R = Lluvia + riego en mm.

FIGURA 20A.

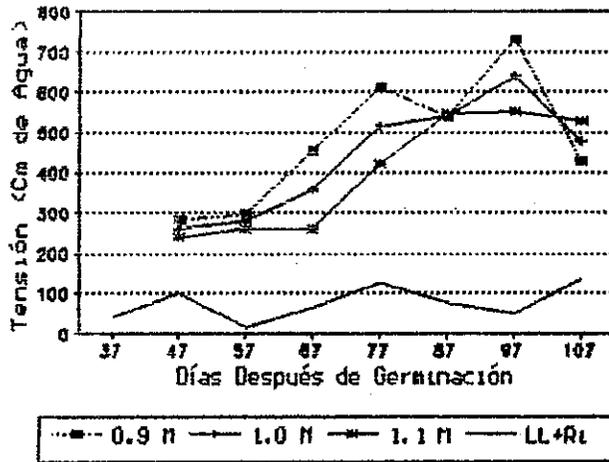
Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 6, de la parcela B.
Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993



M = metros de profundidad, LL+R = Lluvia + riego en mm.

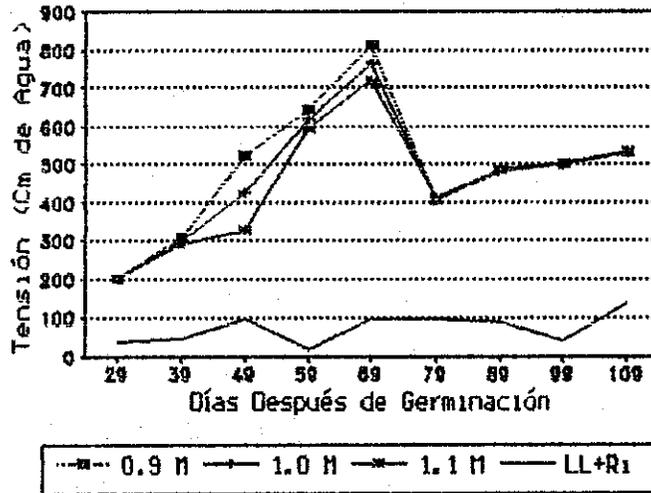
FIGURA 21A.

Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 2, de la parcela C.
Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993



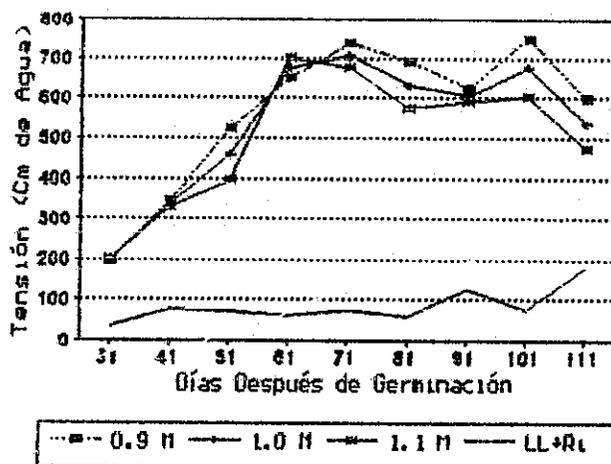
M = metros de profundidad, LL+R = Lluvia + riego en mm.

FIGURA 22A. Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 3, de la parcela C. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993



M = metros de profundidad, LL+R = Lluvia + riego en mm.

FIGURA 23A. Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 2, de la parcela D. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993



M = metros de profundidad, LL+R = Lluvia + riego en mm.

FIGURA 24A. Tensión en el cultivo de maíz, en la batería 3, de la parcela D. Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993

Cuadro 10A. Datos climáticos observados.

Factor/Mes	marzo	abril	mayo	junio	Media
temperatura (centígrados)	26.37	27.7	27.53	26.93	27.13
insolación (horas)	7.75	6.27	5.13	4.65	5.95
recorrido viento (m/s)	1.20	1.08	4.08	4.34	2.68
evapotranspiración pot. * (mm/día)	4.85	4.88	5.13	4.86	4.93

FUENTE: estación meteorológica ICTA-Cuyuta.

* = Datos estimados durante el ensayo con los datos de estación.

Cuadro 11A. Datos de los componentes del balance hídrico en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.). Cuyuta, Masagua, Escuintla. Febrero-Junio de 1993.

Parcela	Riego (mm)	Lluvia (mm)	Drenaje	Cambio de Almac.	ETR	ETM
A	281	527.3	380.34	-3.97	423.99	487.9
B	81	527.3	188.07	-19.66	400.57	487.9
C	101	527.3	-17.92	-92.15	554.07	487.9
D	36	527.3	76.27	-55.33	431.7	487.9

FUENTE : Resultados del experimento.

ETR = Evapotranspiración real.

ETM = Evapotranspiración máxima.

Cuadro 12A. Parámetros físicos con fines de riego ICTA-Cuyuta, 1er Semestre de 1993.

ESTRATO (cm).	textura	CC (% H)	PMP (% H)	densidad aparente
0-18	FA	22.61	9.43	1.08
18-40	FA	25.73	9.21	1.15
40-64	FA	28.35	11.43	1.10
64-90	AF	16.21	5.79	1.18
90-125	ARENA	5.98	3.05	1.35

FUENTE: Laboratorio de suelos de DYRIA.

Referencias: FA = textura franco-arenosa; AF = textura arena-franca. PMP = Punto de marchitez permanente.

Cuadro 13A. Profundidad radicular y punto crítico del cultivo de maíz en relación a días después de la germinación (DDG).

DDG	Prof. Radicular en CM	Pto. Crítico en mm
1-14	15	35.56
15-28	35	42.6
29-42	50	88
43-56	90	161.6
56-116	100	167.7

FUENTE : Resultados del experimento.
DDG = Días después de la germinación.

Cuadro 14A. Descripción de estratos

PROFUNDIDAD (CMS)	HORIZONTE	DESCRIPCION
0-18	Ap	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2), franco arenoso, estructura en prismas medianos con mediano desarrollo, consistencia firme.
18-40	A1	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR3?2), franco arenoso, prismas medianos con moderado desarrollo, consistencia firme.
40-64	A2	Gris muy oscuro (10YR3/1), franco arenoso, prismas medianos, mediano desarrollo, consistencia firme.
64-90	A3	Pardo oscuro (10YR3/3), arena franca, prismas medianos moderado desarrollo, consistencia friable.
90-125	C	Pardo oscuro (10YR3/3), arena, estructura masiva, sin estructura.

FUENTE : Laboratorio de DYRIA.

Cuadro 15A. Análisis químico del suelo.

	Microgr./ml		Meq/100 ml de suelo	
pH.	P	K	Ca	Mg
6.5	15	210	9.92	3.06

FUENTE : Laboratorio de suelos del ICTA.

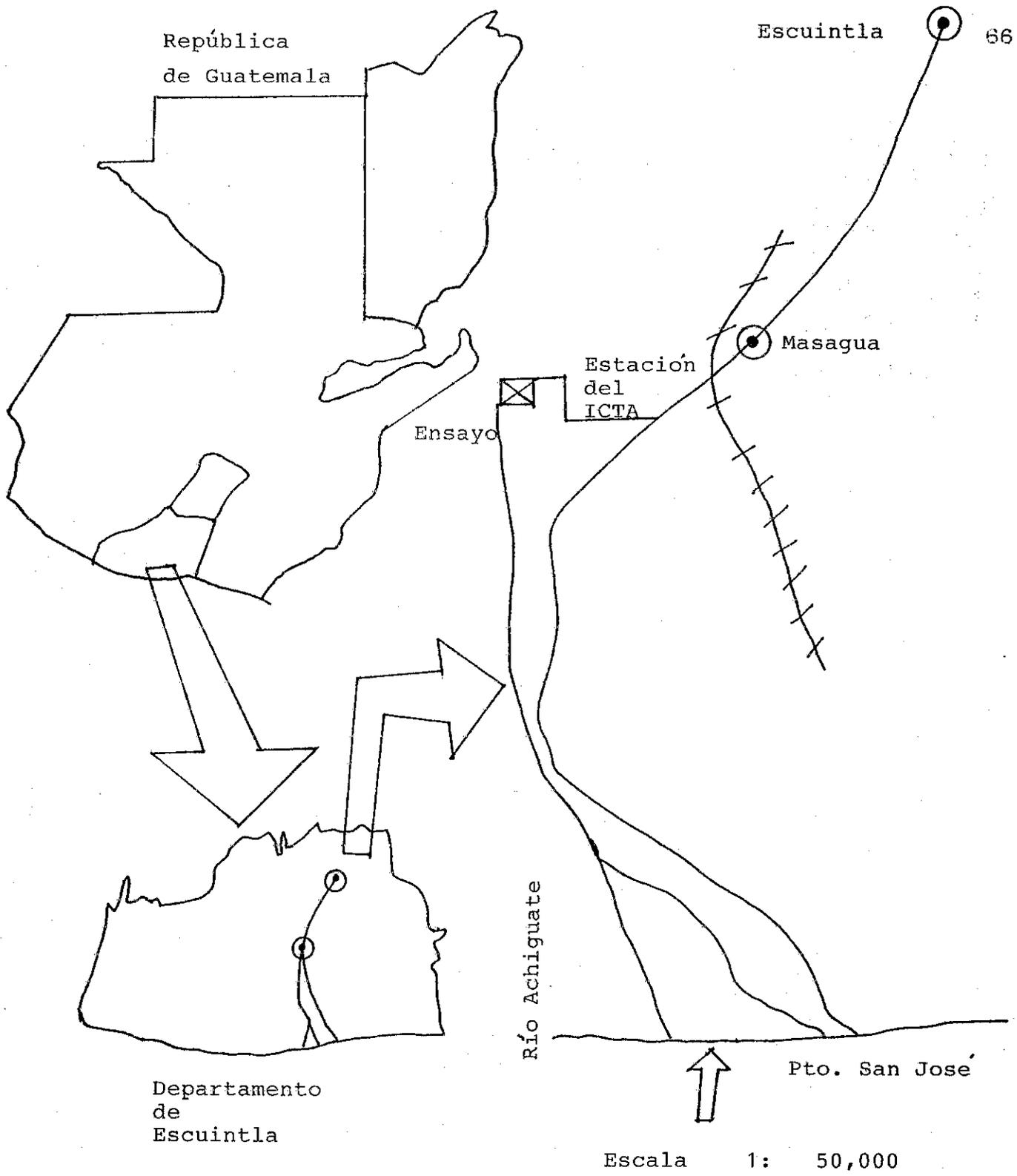
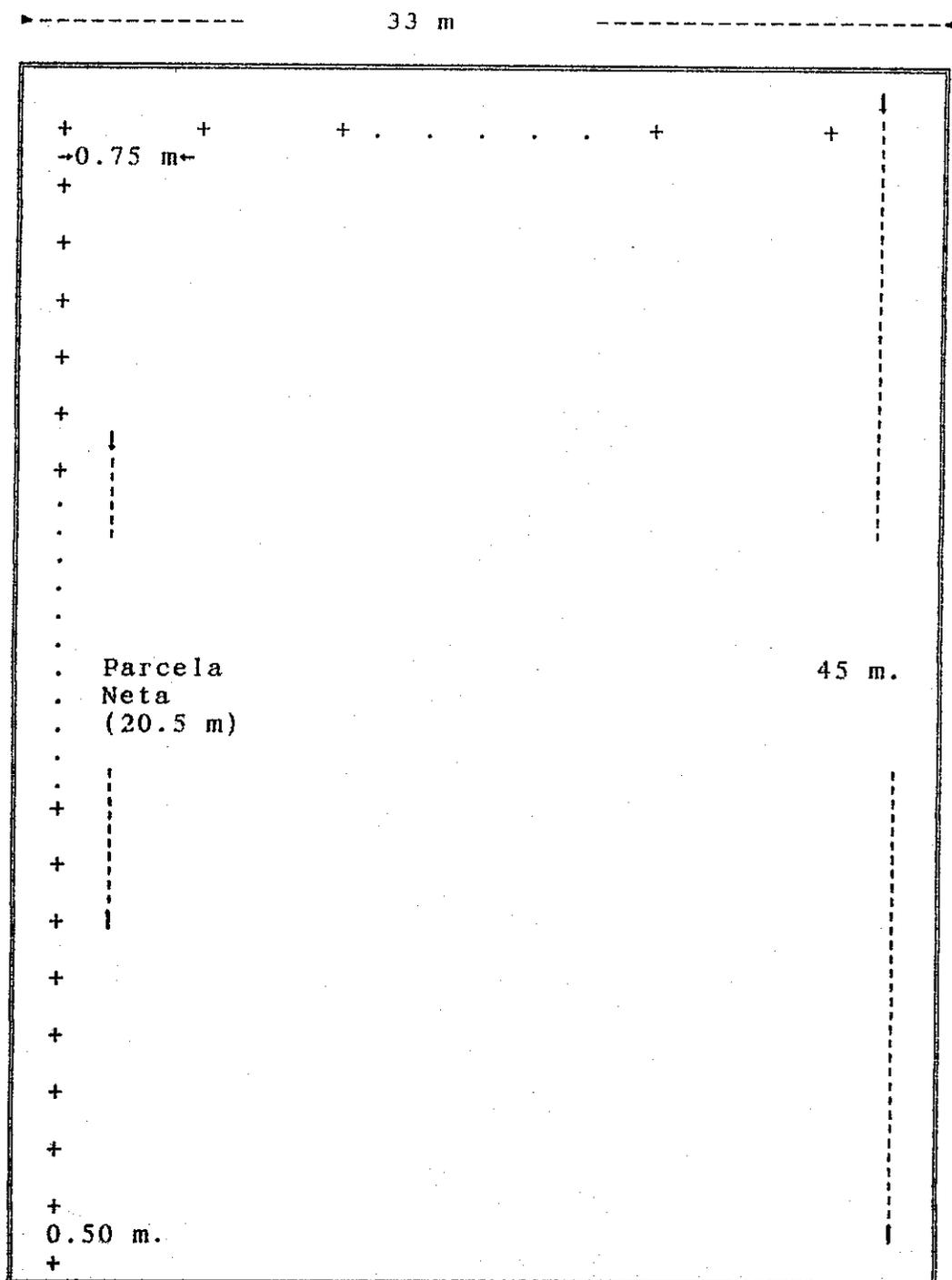


Figura 25A. Croquis de ubicación del lugar donde se realizó el estudio.



-----parcela neta (18 m.)-----

Figura 26A. Dimensiones de la parcela experimental.

UNIVERSIDAD DE LA INGENIERIA DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

- Descripción de los métodos empleados para los análisis físico-químicos en el suelo.

- Método de Boyoucos (para textura):

Se pesan 50 gr. de suelo seco al aire, se le agrega 10 ml de dispersante (Calgón al 5 %), agregarle agua, dejar en reposo durante 24 horas. Disturbarlo con batidora a 14,000 r.p.m. Ese material trasegarlo al cilindro de sedimentación, aforar a 1 litro con el hidrómetro instalado en el cilindro. Darle vuelta al recipiente y a los 40 segundos de haberle dado vuelta, hacer lecturas para % de limo, a las 2 horas hacer lectura para % de arcilla y arena se obtiene por la fórmula : $\% \text{ arena} = 100 - \% \text{ limo} - \% \text{ arcilla}$.

- Método de volumen conocido (para densidad aparente):

Para ello, con un cilindro de volumen conocido, cuidadosamente se toma un estrato del suelo sin disturbar, luego se saca del cilindro y se pone en el horno de desecación por un tiempo de 24 horas, y se pesa ya seco; el peso da el dato de la masa, al dividir la masa por el volumen, obtenemos el dato de la densidad.

- Método de membranas de presión para determinar PMP y CC.

El sistema esta compuesto por olla de alta resistencia a la presión. Platos de cerámica diseñados para ser permeables al agua no al suelo (no deja pasar partículas de arcilla).

Para PMP, el suelo es tamizado y saturado con agua, después de 24 horas de saturación, se coloca en placas de presión, en donde las muestras son sometidas a 15 bares (217.5 PSI). Posteriormente se sigue el procedimiento para calcular la humedad del suelo.

Para CC , el suelo es tamizado y saturado con agua, durante 24 horas, seguidamente se coloca en olla de presión a 0.3 bar (4.35 PSI).

Posteriormente se sigue el procedimiento para calcular la humedad del suelo.

- Balance Hídrico (Método de acuerdo a características del suelo):

Para cuantificar el balance hídrico con este método se utilizó información básica sobre capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), densidad aparente (d.a.), profundidad radicular de acuerdo al desarrollo del cultivo (zr), con el fin de conocer la capacidad máxima del agua en el suelo con la fórmula (5):

$$Ru = (CC - PMP)/100 \times d.a. \times zr$$

Donde :

Ru = reserva útil

CC = Capacidad de campo (Cuadro 11A)

PMP = Punto de marchitez permanente (Cuadro 11A)

d.a. = Densidad Aparente (Cuadro 11A)

zr = profundidad radicular (Cuadro 12A)

A continuación se presentan los cuadros 16A, 17A, 18A y 19A en donde se encuentran los balances diarios de la humedad del suelo en las parcelas A, B, C, y D respectivamente.

DDG	DPM cms	LLUVIA cms	REGO cms	ETM cms	CAMBIO DE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	BALANCE DE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	DRENAJE cms
1	2.14	0		0.20	-0.20	3.86	
2		0		0.20	-0.20	3.66	
3		0		0.20	-0.20	3.47	
4		0		0.20	-0.20	3.27	
5		0		0.20	-0.20	3.07	
6		0		0.20	-0.20	2.88	
7		0		0.20	-0.20	2.68	
8		0		0.20	-0.20	2.48	
9		0		0.20	-0.20	2.29	
10		0		0.20	-0.20	2.09	
11		0		0.26	-0.26	1.83	
12		0		0.26	-0.26	1.56	
13		0		0.26	-0.26	1.30	
14		0		0.26	-0.26	1.03	
15	5.79	0		0.26	-0.26	5.88	
16		0		0.26	-0.26	5.61	
17		0		0.26	-0.26	5.35	
18		0		0.26	-0.26	5.08	
19		0		0.26	-0.26	4.82	
20		0		0.26	-0.26	4.55	
21		0		0.31	-0.31	4.24	
22		0		0.31	-0.31	3.92	
23		0		0.31	-0.31	3.61	
24		0	3.6	0.31	3.29	6.89	
25		0		0.31	-0.31	6.58	
26		0		0.31	-0.31	6.26	
27		0		0.31	-0.31	5.95	
28		0		0.31	-0.31	5.63	
29	8.6	0		0.31	-0.31	10.58	
30		0		0.31	-0.31	10.26	
31		0		0.34	-0.34	9.92	
32		0		0.34	-0.34	9.58	
33		0	4	0.34	3.66	13.24	
34		0		0.34	-0.34	12.90	
35		0		0.34	-0.34	12.56	
36		0		0.34	-0.34	12.22	
37		0		0.34	-0.34	11.87	
38		0		0.34	-0.34	11.53	
39		0.32		0.34	-0.02	11.51	
40		0	3.5	0.34	3.16	14.67	0.64
YAN		0.32		11.18		0.638748	

avance diario de la humedad del suelo, en la parcela A.

DDG	DPM cms	LLUVIA cms	REGO cms	ETM cms	CAMBIO DE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	BALANCE DE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	DRENAJE cms
41		0		0.44	-0.44	13.59	
42		0		0.44	-0.44	13.15	
43	14.41	0		0.44	-0.44	22.05	
44		0		0.44	-0.44	21.61	
45		0		0.44	-0.44	21.17	
46		1.55		0.44	1.11	22.28	
47		2.59	2	0.44	4.15	26.43	3.06
48		0.03		0.44	-0.41	22.96	
49		0		0.44	-0.44	22.52	
50		0		0.44	-0.44	22.08	
51		1.16		0.50	0.66	22.74	
52		0		0.50	-0.50	22.25	
53		0		0.50	-0.50	21.75	
54		0.13		0.50	-0.37	21.38	
55		0		0.50	-0.50	20.89	
56		0		0.50	-0.50	20.39	
57	14.8	0		0.50	-0.50	20.69	
58		0		0.50	-0.50	20.20	
59		0.47		0.50	-0.03	20.17	
60		0		0.50	-0.50	19.67	
61		2.24	3.5	0.59	5.15	24.83	0.63
62		0		0.59	-0.59	23.61	
63		0		0.59	-0.59	23.03	
64		0		0.59	-0.59	22.44	
65		0.45		0.59	-0.14	22.30	
66		0		0.59	-0.59	21.72	
67		0		0.59	-0.59	21.13	
68		0	3.4	0.59	2.81	23.95	
69		0		0.59	-0.59	23.36	
70		0		0.59	-0.59	22.77	
71		3.7		0.55	3.15	25.92	1.72
72		0		0.55	-0.55	23.65	
73		0		0.55	-0.55	23.10	
74		1.36	3	0.55	3.81	26.91	2.71
75		0.16		0.55	-0.39	23.81	
76		0		0.55	-0.55	23.26	
77		1.15		0.55	0.60	23.86	
78		0		0.55	-0.55	23.31	
79		0.25		0.55	-0.30	23.02	
80		0		0.55	-0.55	22.47	
VAN		15.56		31.90056			8.759602

Continuación cuadro 16A.

Balance diario de la humedad del suelo, en la parcela A.

72

DOG	DPM cms	LLUVIA cms	REGO cms	ETM cms	CAMBIO DE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	BALANCE DE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	DRENAJE cms
81		0		0.52	-0.52	21.94	
82		2.1	1.6	0.52	3.18	25.12	0.92
83		0.17		0.52	-0.35	23.85	
84		1.3		0.52	0.78	24.62	
85		0		0.52	-0.52	23.68	
86		2.41		0.52	1.89	25.56	
87		0		0.52	-0.52	23.68	
88		0		0.52	-0.52	23.15	
89		1.15		0.52	0.63	23.78	
90		0.4		0.52	-0.12	23.66	
91		0	3.5	0.49	3.01	26.66	2.46
92		0		0.49	-0.49	23.71	
93		0		0.49	-0.49	23.21	
94		0		0.49	-0.49	22.72	
95		0		0.49	-0.49	22.22	
96		0		0.49	-0.49	21.73	
97		0		0.49	-0.49	21.24	
98		0		0.49	-0.49	20.74	
99		0		0.49	-0.49	20.25	
100		1.92		0.49	1.43	21.67	
101		5.55		0.48	5.07	26.74	2.54
102		0		0.48	-0.48	23.72	
103		0		0.48	-0.48	23.24	
104		0.79		0.48	0.31	23.55	
105		0		0.48	-0.48	23.07	
106		0		0.48	-0.48	22.59	
107		5.5		0.48	5.02	27.61	3.41
108		0		0.48	-0.48	23.72	
109		0		0.48	-0.48	23.24	
110		1.35		0.48	0.87	24.11	
111		10.07		0.36	9.71	33.82	9.62
112		2.27		0.36	1.91	26.11	1.91
113		0		0.36	-0.36	23.84	
114		1.71		0.36	1.35	25.19	0.99
115		0.13		0.36	-0.23	23.97	
116		0.35		0.36	-0.01	23.96	
VAN		52.73		49.01222		30.63266	

DPM = Deficit permitido de manejo (50%)

ETM = Evapotranspiración máxima

DOG = Dias despues de la germinación.

Cuadro 17A.

Balance diario de la humedad del suelo, parcela B.
Cuyuta, Masagua, Escuintla. 1993.

DDG	DPM cms	LLUVIA cms	REGO cms	ETM cms	CAMBIO DE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	BALANCE DE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	DRENAJE cms
1	2.14	0		0.20	-0.20	1.94	
2		0		0.20	-0.20	1.74	
3		0		0.20	-0.20	1.55	
4		0		0.20	-0.20	1.35	
5		0		0.20	-0.20	1.15	
6		0		0.20	-0.20	0.96	
7		0		0.20	-0.20	0.76	
8		0		0.20	-0.20	0.56	
9		0		0.20	-0.20	0.37	
10		0		0.20	-0.20	0.17	
11		0		0.26	-0.26	-0.09	
12		0		0.26	-0.26	-0.36	
13		0		0.26	-0.26	-0.62	
14		0		0.26	-0.26	-0.89	
15	5.79	0		0.26	-0.26	-1.15	
16		0		0.26	-0.26	-1.42	
17		0		0.26	-0.26	-1.68	
18		0		0.26	-0.26	-1.95	
19		0		0.26	-0.26	-2.21	
20		0		0.26	-0.26	-2.48	
21		0		0.31	-0.31	-2.79	
22		0		0.31	-0.31	-3.11	
23		0		0.31	-0.31	-3.42	
24		0	3.6	0.31	3.29	-0.14	
25		0		0.31	-0.31	-0.45	
26		0		0.31	-0.31	-0.77	
27		0		0.31	-0.31	-1.08	
28		0		0.31	-0.31	-1.40	
29	8.6	0		0.31	-0.31	-1.71	
30		0		0.31	-0.31	-2.03	
31		0		0.34	-0.34	-2.37	
32		0		0.34	-0.34	-2.71	
33		0		0.34	-0.34	-3.05	
34		0	4.5	0.34	4.16	1.11	
35		0		0.34	-0.34	0.77	
36		0		0.34	-0.34	0.43	
37		0		0.34	-0.34	0.08	
38		0		0.34	-0.34	-0.26	
39		0.32		0.34	-0.02	-0.28	
40		0		0.34	-0.34	-0.62	
VAN		0.32		11.18			0.00

Continuación cuadro 17A.

Balace diario de la humedad del suelo, parcela B.

DOG	DPM cms	LLUVIA cms	REGO cms	ETM cms	CAMBO DE	BALANCE DE	DRENAJE cms
					ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	
41		0		0.44	-0.44	-1.06	
42		0		0.44	-0.44	-1.50	
43	14.41	0		0.44	-0.44	-1.94	
44		0		0.44	-0.44	-2.38	
45		0		0.44	-0.44	-2.82	
46		1.55		0.44	1.11	-1.71	
47		2.59		0.44	2.15	0.44	
48		0.03		0.44	-0.41	0.03	
49		0		0.44	-0.44	-0.41	
50		0		0.44	-0.44	-0.85	
51		1.16		0.50	0.66	-0.19	
52		0		0.50	-0.50	-0.69	
53		0		0.50	-0.50	-1.18	
54		0.13		0.50	-0.37	-1.55	
55		0		0.50	-0.50	-2.05	
56		0		0.50	-0.50	-2.54	
57	14.8	0		0.50	-0.50	-3.04	
58		0		0.50	-0.50	-3.54	
59		0.47		0.50	-0.03	-3.57	
60		0		0.50	-0.50	-4.06	
61		2.24		0.59	1.65	-2.41	
62		0		0.59	-0.59	-2.99	
63		0		0.59	-0.59	-3.58	
64		0		0.59	-0.59	-4.17	
65		0.45		0.59	-0.14	-4.30	
66		0		0.59	-0.59	-4.89	
67		0		0.59	-0.59	-5.48	
68		0		0.59	-0.59	-6.06	
69		0		0.59	-0.59	-6.65	
70		0		0.59	-0.59	-7.23	
71		3.7		0.55	3.15	-4.08	
72		0		0.55	-0.55	-4.63	
73		0		0.55	-0.55	-5.18	
74		1.36		0.55	0.81	-4.37	
75		0.16		0.55	-0.39	-4.76	
76		0		0.55	-0.55	-5.31	
77		1.15		0.55	0.60	-4.71	
78		0		0.55	-0.55	-5.26	
79		0.25		0.55	-0.30	-5.55	
80		0		0.55	-0.55	-6.10	
VAN		15.56		31.90			0.00

Continuación cuadro 17A.

Balance diario de la humedad del suelo, parcela B.

DDG	DPM cms	LLUVIA cms	RIEGO cms	ETM cms	CAMBIO DE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	BALANCE DE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	DRENAJE cms
81		0		0.52	-0.52	-6.63	
82		2.1		0.52	1.58	-5.05	
83		0.17		0.52	-0.35	-5.40	
84		1.3		0.52	0.78	-4.63	
85		0		0.52	-0.52	-5.15	
86		2.41		0.52	1.89	-3.26	
87		0		0.52	-0.52	-3.79	
88		0		0.52	-0.52	-4.31	
89		1.15		0.52	0.63	-3.68	
90		0.4		0.52	-0.12	-3.81	
91		0		0.49	-0.49	-4.30	
92		0		0.49	-0.49	-4.79	
93		0		0.49	-0.49	-5.29	
94		0		0.49	-0.49	-5.78	
95		0		0.49	-0.49	-6.28	
96		0		0.49	-0.49	-6.77	
97		0		0.49	-0.49	-7.26	
98		0		0.49	-0.49	-7.76	
99		0		0.49	-0.49	-8.25	
100		1.92		0.49	1.43	-6.83	
101		5.55		0.48	5.07	-1.76	
102		0		0.48	-0.48	-2.24	
103		0		0.48	-0.48	-2.71	
104		0.79		0.48	0.31	-2.40	
105		0		0.48	-0.48	-2.88	
106		0		0.48	-0.48	-3.36	
107		5.5		0.48	5.02	1.66	
108		0		0.48	-0.48	1.18	
109		0		0.48	-0.48	0.70	
110		1.35		0.48	0.87	1.57	
111		10.07		0.36	9.71	11.28	
112		2.27		0.36	1.91	13.19	
113		0		0.36	-0.36	12.84	
114		1.71		0.36	1.35	14.19	
115		0.13		0.36	-0.23	13.96	
116		0.35		0.36	-0.01	13.95	
TOTAL		52.73		49.01			0.00

DPM = Deficit permitido de manejo
ETM = Evapotranspiración máxima
DDG = Días después de la germinación.

DDG	DPM cms	Lluvia cms	Riego cms	ETM cms	CAMBIO DE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	BALANCE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	DRENAJE cms
1	2.14	0		0.20	-0.20	1.94	
2		0		0.20	-0.20	1.74	
3		0		0.20	-0.20	1.55	
4		0		0.20	-0.20	1.35	
5		0		0.20	-0.20	1.15	
6		0		0.20	-0.20	0.96	
7		0		0.20	-0.20	0.76	
8		0		0.20	-0.20	0.56	
9		0		0.20	-0.20	0.37	
10		0		0.20	-0.20	0.17	
11		0		0.26	-0.26	-0.09	
12		0		0.26	-0.26	-0.36	
13		0		0.26	-0.26	-0.62	
14		0		0.26	-0.26	-0.89	
15	5.79	0		0.26	-0.26	-1.15	
16		0		0.26	-0.26	-1.42	
17		0		0.26	-0.26	-1.68	
18		0		0.26	-0.26	-1.95	
19		0		0.26	-0.26	-2.21	
20		0		0.26	-0.26	-2.48	
21		0		0.31	-0.31	-2.79	
22		0		0.31	-0.31	-3.11	
23		0		0.31	-0.31	-3.42	
24		0	3.6	0.31	3.29	-0.14	
25		0		0.31	-0.31	-0.45	
26		0		0.31	-0.31	-0.77	
27		0		0.31	-0.31	-1.08	
28		0		0.31	-0.31	-1.40	
29	8.6	0		0.31	-0.31	-1.71	
30		0		0.31	-0.31	-2.03	
31		0		0.34	-0.34	-2.37	
32		0		0.34	-0.34	-2.71	
33		0	3	0.34	2.66	-0.05	
34		0		0.34	-0.34	-0.39	
35		0		0.34	-0.34	-0.73	
36		0		0.34	-0.34	-1.07	
37		0		0.34	-0.34	-1.42	
38		0		0.34	-0.34	-1.76	
39		0.32		0.34	-0.02	-1.78	
40		0	3.5	0.34	3.16	1.38	
VAN		0.32		11.18			0

Continuación cuadro 18A.

Balance diario de la humedad del suelo, parcela C.

DDG	DPM cms	Lluvia cms	Riego cms	ETM cms	CAMBIO DE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	BALANCE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	DRENAJE cms
41		0		0.44	-0.44	0.94	
42		0		0.44	-0.44	0.50	
43	14.41	0		0.44	-0.44	0.06	
44		0		0.44	-0.44	-0.38	
45		0		0.44	-0.44	-0.82	
46		1.55		0.44	1.11	0.29	
47		2.59		0.44	2.15	2.44	
48		0.03		0.44	-0.41	2.03	
49		0		0.44	-0.44	1.59	
50		0		0.44	-0.44	1.15	
51		1.16		0.50	0.66	1.81	
52		0		0.50	-0.50	1.31	
53		0		0.50	-0.50	0.82	
54		0.13		0.50	-0.37	0.45	
55		0		0.50	-0.50	-0.05	
56		0		0.50	-0.50	-0.54	
57	14.8	0		0.50	-0.50	-1.04	
58		0		0.50	-0.50	-1.54	
59		0.47		0.50	-0.03	-1.57	
60		0		0.50	-0.50	-2.06	
61		2.24		0.59	1.65	-0.41	
62		0		0.59	-0.59	-0.99	
63		0		0.59	-0.59	-1.58	
64		0		0.59	-0.59	-2.17	
65		0.45		0.59	-0.14	-2.30	
66		0		0.59	-0.59	-2.89	
67		0		0.59	-0.59	-3.48	
68		0		0.59	-0.59	-4.06	
69		0		0.59	-0.59	-4.65	
70		0		0.59	-0.59	-5.23	
71		3.7		0.55	3.15	-2.08	
72		0		0.55	-0.55	-2.63	
73		0		0.55	-0.55	-3.18	
74		1.36		0.55	0.81	-2.37	
75		0.16		0.55	-0.39	-2.76	
76		0		0.55	-0.55	-3.31	
77		1.15		0.55	0.60	-2.71	
78		0		0.55	-0.55	-3.26	
79		0.25		0.55	-0.30	-3.55	
80		0		0.55	-0.55	-4.10	
VAN		15.56		31.90			0.00

Continuación cuadro 18A.

Balance diario de la humedad del suelo, parcela C.

78

DDG	DPM cms	Lluvia cms	Riego cms	ETM cms	CAMBIO DE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	BALANCE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	DRENAJE cms
81		0		0.52	-0.52	-4.63	
82		2.1		0.52	1.58	-3.05	
83		0.17		0.52	-0.35	-3.40	
84		1.3		0.52	0.78	-2.63	
85		0		0.52	-0.52	-3.15	
86		2.41		0.52	1.89	-1.26	
87		0		0.52	-0.52	-1.79	
88		0		0.52	-0.52	-2.31	
89		1.15		0.52	0.63	-1.68	
90		0.4		0.52	-0.12	-1.81	
91		0		0.49	-0.49	-2.30	
92		0		0.49	-0.49	-2.79	
93		0		0.49	-0.49	-3.29	
94		0		0.49	-0.49	-3.78	
95		0		0.49	-0.49	-4.28	
96		0		0.49	-0.49	-4.77	
97		0		0.49	-0.49	-5.26	
98		0		0.49	-0.49	-5.76	
99		0		0.49	-0.49	-6.25	
100		1.92		0.49	1.43	-4.83	
101		5.55		0.48	5.07	0.24	
102		0		0.48	-0.48	-0.24	
103		0		0.48	-0.48	-0.71	
104		0.79		0.48	0.31	-0.40	
105		0		0.48	-0.48	-0.88	
106		0		0.48	-0.48	-1.36	
107		5.5		0.48	5.02	3.66	
108		0		0.48	-0.48	3.18	
109		0		0.48	-0.48	2.70	
110		1.35		0.48	0.87	3.57	
111		10.07		0.36	9.71	13.28	
112		2.27		0.36	1.91	15.19	0.39
113		0		0.36	-0.36	14.44	
114		1.71		0.36	1.35	15.79	0.99
115		0.13		0.36	-0.23	23.97	
116		0.35		0.36	-0.01	23.96	
VAN		52.73		49.01			1.39

DPM = Deficit permitido de manejo (50 %)

ETM = Evapotranspiración máxima.

DDG = Días después de la germinación.

Cuadro 19A.

Balance diario de la humedad del suelo, parcela D.
Cuyuta, Masagua, Escuintla.

DDG	DPM cms	Lluvia cms	Riego cms	ETM cms	CAMBIO DE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	BALANCE ALMACENAMIENTO EN EL SUELO cms	DRENAJE cms
1	2.14	0		0.20	-0.20	1.94	
2		0		0.20	-0.20	1.74	
3		0		0.20	-0.20	1.55	
4		0		0.20	-0.20	1.35	
5		0		0.20	-0.20	1.15	
6		0		0.20	-0.20	0.96	
7		0		0.20	-0.20	0.76	
8		0		0.20	-0.20	0.56	
9		0		0.20	-0.20	0.36	
10		0		0.20	-0.20	0.17	
11		0		0.27	-0.27	-0.10	
12		0		0.27	-0.27	-0.36	
13		0		0.27	-0.27	-0.63	
14		0		0.27	-0.27	-0.90	
15	5.79	0		0.27	-0.27	-1.16	
16		0		0.27	-0.27	-1.43	
17		0		0.27	-0.27	-1.69	
18		0		0.27	-0.27	-1.96	
19		0		0.27	-0.27	-2.22	
20		0		0.27	-0.27	-2.49	
21		0		0.32	-0.32	-2.81	
22		0		0.32	-0.32	-3.12	
23		0		0.32	-0.32	-3.44	
24		0	3.6	0.32	3.28	-0.16	
25		0		0.32	-0.32	-0.47	
26		0		0.32	-0.32	-0.79	
27		0		0.32	-0.32	-1.11	
28		0		0.32	-0.32	-1.42	
29	8.6	0		0.32	-0.32	-1.74	
30		0		0.32	-0.32	-2.05	
31		0		0.35	-0.35	-2.40	
32		0		0.35	-0.35	-2.75	
33		0		0.35	-0.35	-3.10	
34		0		0.35	-0.35	-3.44	
35		0		0.35	-0.35	-3.79	
36		0		0.35	-0.35	-4.14	
37		0		0.35	-0.35	-4.48	
38		0		0.35	-0.35	-4.83	
39		0.32		0.35	-0.03	-4.86	
40		0		0.35	-0.35	-5.20	
VAN		0.32		11.37			0





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE AGRONOMIA
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
 AGRONOMICAS

Ref. Sem.040-96

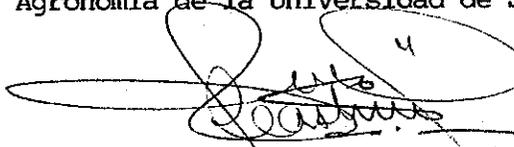
LA TESIS TITULADA: "ESTUDIO DEL BALANCE HIDRICO DEL MAIZ (Zea mays L.) BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE LIMITACIONES DE AGUA, EN EL PARCELAMIENTO DE CUYUTA, MASAGUA, ESCUINTLA".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: GUSTAVO ADOLFO CHACON MUÑOZ

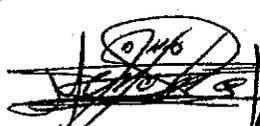
CARNET No: 8310121

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
 Ing. Agr. Luis Fernando Morán
 Ing. Agr. Gustavo Méndez

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

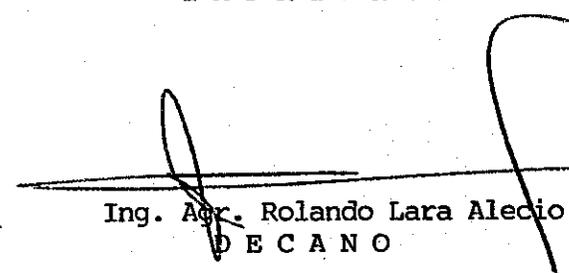

 Ing. Agr. Hugo Cardona Castillo
 ASESOR


 Ing. Agr. Otto Castro Barca
 ASESOR


 Ing. Agr. Fernando Rodríguez
 DIRECTOR DEL IIA.



I M P R I M A S E


 Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
 D E C A N O



cc:Control Académico
 Archivo

APARTADO POSTAL 1545 • 01091 GUATEMALA, C. A.

FR/prr.

TELEFONO: 769794 • FAX: (5022) 769770

