

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

"EVALUACION DE CUATRO FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE
EL RENDIMIENTO, CALIDAD INDUSTRIAL DEL FRUTO
Y EVAPOTRANSPIRACION REAL DEL CULTIVO DEL TOMATE
(Lycopersicon esculentum L.), UTILIZANDO LOS METODOS
DE PENMAN Y SONDA DE NEUTRONES, EN EL PARCELAMIENTO DE
CUYUTA, MASAGUA, ESCUINTLA".

TESIS

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

POR

ISMAR BLADIMIR PEREZ PEREZ

en el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, octubre de 1992

UNIVERSIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
01
T(1386)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. ALFONSO FUENTES SORIA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. Efraín Medina G.
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr. Maynor Estrada R.
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. Waldemar Nufio R.
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. Carlos R. Motta de P.
VOCAL CUARTO:	P. Agr. Alfredo Itzep M.
VOCAL QUINTO:	Br. Juan Gerardo de León.
SECRETARIO:	Ing. Agr. Marco R. Estrada M.

Guatemala,
octubre de 1992

Señores
Honorable Junta directiva,
Facultad de Agronomía,
Universidad de San Carlos de Guatemala.

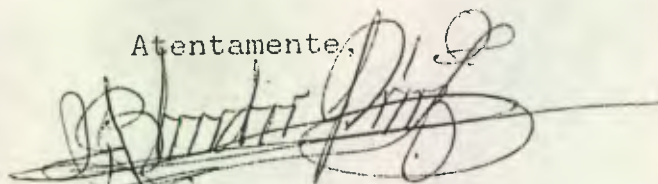
Señores:

En cumplimiento a lo que establece la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

"EVALUACION DE CUATRO FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO, CALIDAD INDUSTRIAL DEL FRUTO Y EVAPOTRANSPIRACION REAL DEL CULTIVO DEL TOMATE (*Lycopersicon esculentum* L.), EN EL PARCELAMIENTO DE CUYUTA, MASAGUA. ESCUINTLA."

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

Atentamente,



Ismar B. Pérez Pérez
Carnet: 84-13543

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

A MIS PADRES: EDGAR GILBERTO PEREZ MONJARAS
BERTHA ESTHER PEREZ

A MIS HERMANOS: EDWIN KILMER (Q.E.P.D.), ERICK, GUILLERMO,
SELVIN, ZULLY, KELLY DORENI Y MERVIN EMANUEL

A MI ESPOSA MARITZA MONROY Y A MI FUTURO (A) HIJO (A)

A JOSSY ABIGAIL

A MIS ABUELOS: OLIVIA HERRERA Vda. de PEREZ
RAMON PEREZ BLANCO (Q.E.P.D.)
GILBERTO PEREZ LOPEZ
FIDELINA MONJARAS

A FREDY LOPEZ, JORGE PEREZ, ELDER JOSE RUEDAS, OSCAR DE LEON
EDWIN LEONEL MORALES SAGASTUME.

A MIS SUEGROS: OSCAR RAFAEL MONROY Y LEONOR AGUIRRE

A MIS CUÑADAS

A LA FAMILIA LOPEZ VILLATORO Y A MI AHIJADO FREDY E. LOPEZ
MAURICIO

TESIS QUE DEDICO

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

AL INSTITUTO NORMAL MIXTO HUEHUETECO ALEJANDRO CORDOVA

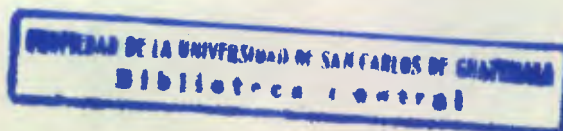
AL COLEGIO PARROQUIAL DE SAN ILDEFONSO IXTAHUACAN

A LOS MUNICIPIOS DE CUILCO Y SAN ILDEFONSO IXTAHUACAN

A IMELDA MORALES Y BERTRAND LIONEL MULLER

AL CAMPESINADO GUATEMALTECO

A LA MEMORIA DE NORMAN VALDIZON Y HUGO DE LEON.



AGRADECIMIENTOS

A LAS INSTITUCIONES PARTICIPANTES EN EL COMPONENTE
INVESTIGACION DEL SEGUNDO PROGRAMA DE RIEGO:

DIRECCION TECNICA DE RIEGO Y AVENAMIENTO (DIRYA), EN
PARTICULAR AL DEPARTAMENTO DE USO Y MANEJO DEL AGUA, Y A LA
DIVISION DE RIEGO Y DRENAJE.

PROYECTO REGIONAL DE AGROMETEOROLOGIA (PRA) DEL CENTRO
AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA (CATIE).

INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS (ICTA).

DIRECCION GENERAL DE ENERGIA NUCLEAR (DGEN) DEL MINISTERIO
DE ENERGIA Y MINAS (MEM).

COOPERACION FRANCESA: EL DEPARTAMENTO DE CULTIVOS ANUALES
DEL CENTRO DE COOPERACION INTERNACIONAL EN INVESTIGACION
AGRONOMICA PARA EL DESARROLLO (CIRAD-CA).

- A LOS INGENIEROS JORGE SANDOVAL ILLESCAS, MARIA ANTONIETA
ALFARO, BERTRAND LIONEL MULLER Y AXEL GARCIA, POR SU VALIOSA
ASESORIA EN LA REALIZACION DE ESTA TESIS.

A ALIMENTOS KERN'S S.A., ADI-AGRICOLA S.A., SUPERB AGRICOLA
Y CARUSA.

A LOS COMPANEROS DEL SEGUNDO PROGRAMA DE RIEGO.

A LA SEÑORA DORIS Y MIGUEL ANGEL ESPANA.

A ERNESTO CARRILLO E IMELDA MORALES.

A CHRISTIAN CHILDREN'S FOUND INC., A LA ASOCIACION DE
CUAQUEROS DE GUATEMALA Y AL CENTRO UNIVERSITARIO CIUDAD
VIEJA.

A LAS FAMILIAS LOPEZ VILLATORO Y LOPEZ MAURICIO.

CONTENIDO

No Pág.

RESUMEN

1. INTRODUCCION.....	1
2. PRESENTACION DEL PROBLEMA.....	4
3. MARCO TEORICO	
3.1 MARCO CONCEPTUAL	
3.1.1 EVAPOTRANSPIRACION.....	6
3.1.1.1 PRESENTACION.....	6
3.1.1.2 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (ETP).....	7
3.1.1.3 EVAPOTRANSPIRACION MAXIMA (ETM) Y COEFICIENTE DE CULTIVO (K _c).....	10
3.1.1.4 EVAPOTRANSPIRACION REAL O USO CONSUNTIVO (ETR).....	11
3.1.1.5 CONCLUSIONES.....	12
3.1.2 HUMEDAD EN EL SUELO Y ESTADO DE DISPONIBILIDAD	
3.1.2.1 CAPACIDAD DE CAMPO (CC).....	13
3.1.2.2 PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE.....	14
3.1.2.3 HUMEDAD DISPONIBLE O RESERVA UTIL (RU).....	15
3.1.2.4 HUMEDAD FACILMENTE UTILIZABLE O RESERVA FACILMENTE UTILIZABLE (RU).....	16
3.1.3 BALANCE HIDRICO.....	17
3.2. MARCO REFERENCIAL	
3.2.1 INVESTIGACIONES REALIZADAS	
3.2.1.1 INVESTIGACION REALIZADA SOBRE FRECUENCIAS DE RIEGO Y ADAPTABILIDAD DE FORMULAS DE EVAPO- TRANSPIRACION POTENCIAL.....	19
3.2.1.2 EFECTOS DEL CONTROL DE LOS RIEGOS SOBRE EL CULTIVO DE TOMATE.....	21
3.2.2 UBICACION Y DESCRIPCION DEL AREA EXPERIMENTAL.....	22
4. OBJETIVOS.....	24
5. HIPOTESIS.....	26
6. METODOLOGIA	
6.1 DETERMINACIONES PREVIAS	
6.1.1 ANALISIS FISICO Y QUIMICO DEL SUELO CON FINES DE FERTILIDAD Y RIEGO.....	27
6.1.2 CALIBRACION DE LA SONDA NEUTRONICA.....	28

6.2	MANEJO DEL CULTIVO.....	31
6.3	MANEJO DEL EXPERIMENTO	
6.3.1	PERIODO DE CONDUCCION Y TRAZO DEL EXPERIMENTO.....	34
6.3.2	METODOLOGIA UTILIZADA PARA REGAR	
6.3.2.1	METODO DE RIEGO UTILIZADO.....	35
6.3.2.2	DETERMINACION DE LAS LAMINAS NETAS DE RIEGO.....	35
6.3.2.3	DETERMINACION DE LAS LAMINAS BRUTAS DE RIEGO.....	38
6.3.2.4	RIEGOS GENERALES.....	39
6.3.2.5	CONTROL DE LA HUMEDAD DEL SUELO.....	39
6.3.2.6	ESTIMACION DE LAS LAMINAS CONSUMIDAS (ETR).....	40
6.3.2.7	GRADO DE AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO.....	42
6.4	DETERMINACION COEFICIENTES C DE CULTIVO RELATIVOS AL TANQUE TIPO A.....	43
6.5	DISEÑO EXPERIMENTAL	
6.5.1	MODELO ESTADISTICO.....	44
6.5.2	DESCRIPCION DE LOS TRATAMIENTOS.....	45
6.5.3	ENSAYO EXPERIMENTAL.....	45
6.5.4	VARIABLES DE RESPUESTA.....	46
6.6	ANALISIS DE LOS DATOS.....	46
7.	RESULTADOS Y DISCUSION	
7.1	EFECTO DE LAS FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE LAS VARIABLES DE RESPUESTA	
7.1.1	RENDIMIENTO DE FRUTO COMERCIAL Y NO COMERCIAL.....	48
7.1.2	CALIDAD INDUSTRIAL DEL FRUTO.....	50
7.2	EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA MORTALIDAD DE LAS PLANTAS.....	52
7.3	USO DEL AGUA POR EL CULTIVO	
7.3.1	MODELO DE CALIBRACION DE LA SONDA.....	526
7.3.2	LAMINAS REGADAS CALCULADAS CON PENMAN (ETM) Y LAMINAS MEDIDAS CON LA SONDA (ETR): SU RELACION... 54	
7.3.3	EFECTO DE LAS LAMINAS CONSUMIDAS Y NUMERO DE RIEGOS SOBRE EL CULTIVO.....	62
7.3.4	AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE DEL SUELO.....	64
7.4	COEFICIENTES C DE CULTIVO REFERIDOS AL TANQUE TIPO A... 66	
8.	CONCLUSIONES.....	68
9.	RECOMENDACIONES.....	70
10.	BIBLIOGRAFIA.....	72
	ANEXO.....	75

INDICE DE FIGURAS

No. Pág.

1. CROQUIS DE CAMPO, ALEATORIZACION DE LOS TRATAMIENTOS Y UBICACION DE LOS TUBOS DE ACCESO DE LA SONDA DE NEUTRONES.....	76
2. DIMENSIONES DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL.....	77
3. CURVA DE CALIBRACION DE SONDA DE NEUTRONES CPN-503.....	78
4. PORCENTAJE DE AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN LA FRECUENCIA DE 7 DIAS.....	85
5. PORCENTAJE DE AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN LA FRECUENCIA DE 10 DIAS.....	86
6. PORCENTAJE DE AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN LA FRECUENCIA DE 13 DIAS.....	87
7. PORCENTAJE DE AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN LA FRECUENCIA DE 16 DIAS.....	88
8. ESQUEMA DEL DISPOSITIVO EXPERIMENTAL Y PARTES DE LA SONDA DE NEUTRONES.....	91

INDICE DE CUADROS

	No. Pág.
1. RESUMEN DE LOS RESULTADOS PROMEDIO DE FRUTO COMERCIAL Y FRUTO NO COMERCIAL (TM/ha).....	48
2. RESUMEN DE LA SIGNIFICANCIA OBTENIDA POR LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS SOBRE LAS VARIABLES DE RENDIMIENTO.....	49
3. RESUMEN DE LA CALIDAD INDUSTRIAL DEL FRUTO (3er corte).....	50
4. RESUMEN DE LA SIGNIFICANCIA OBTENIDA POR LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS SOBRE LAS VARIABLES DE CALIDAD INDUSTRIAL DEL FRUTO.....	51
5. LAMINAS REGADAS CALCULADAS CON PENMAN (ETM) Y LAMINAS CONSUMIDAS MEDIDAS CON LA SONDA DE NEUTRONES (ETR).....	55
6. ETR/PERIODO, ETR-AJUSTADA, EXCEDENTES Y ETM POR RIEGO Y POR FRECUENCIA.....	59
7. CONSUMO HIDRICO DEL CULTIVO ESTIMADO CON LA FORMULA DE PENMAN (ETM; mm) Y CON LA SONDA DE NEUTRONES (ETR; mm).....	62
8. PORCENTAJE DE AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD EN EL ESTRATO DE 0 A 60 cm POR RIEGO Y FRECUENCIA.....	65
9. DATOS CLIMATICOS MEDIOS MENSUALES OBSERVADOS.....	79
10. PARAMETROS FISICOS CON FINES DE RIEGO ICTA-CUYUTA, ENERO A ABRIL DE 1991.....	79
11. CONCENTRACION Y NIVELES DE NUTRIENTES.....	80
12. RESULTADOS DE FRUTO COMERCIAL (Tm/Ha) POR UNIDAD EXPERIMENTAL.....	80
13. RESULTADOS DE FRUTO NO COMERCIAL (TM/Ha) POR UNIDAD EXPERIMENTAL.....	80
14. RESULTADOS GRADOS BRIX (3 er. CORTE) OBTENIDO POR FRECUENCIA Y POR REPETICION.....	81
15. PORCENTAJE DE ACIDEZ DEL FRUTO OBTENIDO POR BLOQUE Y POR TRATAMIENTO.....	81
16. PORCENTAJE DE PECTINA OBTENIDO POR BLOQUE Y POR TRATAMIENTO.....	81

17. RESULTADOS POR UNIDAD EXPERIMENTAL PORCENTAJE DE PULPA DEL FRUTO.....	81
18. RESULTADOS POR UNIDAD EXPERIMENTAL pH DEL FRUTO.....	82
19. NUMERO DE PLANTAS COSECHADAS POR BLOQUE Y POR TRATAMIENTO.....	82
20. RESULTADOS ANALISIS DE VARIANZA FRUTO COMERCIAL (TM/Ha).....	82
21. RESULTADOS ANALISIS DE VARIANZA RENDIMIENTO DE FRUTO NO COMERCIAL (TM/Ha).....	82
22. ANALISIS DE VARIANZA GRADOS BRIX DEL FRUTO.....	83
23. ANALISIS DE VARIANZA PORCENTAJE DE PULPA DEL FRUTO.....	83
24. ANALISIS DE VARIANZA (%) ACIDEZ (3er CORTE).....	83
25. ANALISIS DE VARIANZA PORCENTAJE DE PECTINA DEL FRUTO...	83
26. ANALISIS DE VARIANZA pH DEL FRUTO (3 er. CORTE).....	84
27. ANALISIS DE VARIANZA NUMERO DE PLANTAS COSECHADAS.....	84

EVALUACION DE CUATRO FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE LA
PRODUCCION Y EVAPOTRANSPIRACION REAL DEL TOMATE
(Lycopersicon esculentum L.), USANDO EL METODO DE PENMAN Y
LA SONDA DE NEUTRONES EN EL PARCELAMIENTO DE CUYUTA,
MASAGUA, ESCUINTLA:

EFFECTS OF FOUR IRRIGATION FRECUENCIAS ON,
PRODUCTION AND REAL EVAPOTRANSPIRATION OF TOMATOE
(Lycopersicon esculentum L.)
USING PENMAN METHOD AND NEUTRON PROBE
AT CUYUTA, MASAGUA, ESCUINTLA.

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo durante los meses de enero a abril de 1991, en el Centro Experimental del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (I.C.T.A.), en el parcelamiento de Cuyuta, Masagua, Escuintla, con el objetivo de comparar el efecto de cuatro frecuencias de riego sobre evapotranspiración real, rendimiento comercial, no comercial y calidad industrial del fruto, del cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum L.).

Las frecuencias evaluadas fueron 7, 10, 13 y 16 días, en un diseño de bloques al azar, con cuatro repeticiones; se usó el híbrido Zenith en un suelo con textura franco-arenosa con tendencia a franca en los estratos superiores (0 a 65 cm) y arenosa en los estratos inferiores (65 a 95 cm ó más).

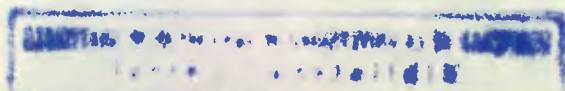
Para cada tratamiento la metodología de riego consistió en

aplicar láminas (láminas netas) iguales a lo máximo que teóricamente habría podido consumir el cultivo desde el riego anterior, o sea su evapotranspiración máxima (ETM) acumulada, calculada en base a la fórmula de evapotranspiración potencial (ETP) de Penman y los coeficientes K_c de la FAO. Así se restauró la humedad del suelo a capacidad de campo en cada riego debido que al inicio del ciclo se había saturado el suelo.

Paralelamente se efectuó un control del consumo hídrico del cultivo (ETR) en cada tratamiento, mediante el establecimiento conceptual del balance hídrico, utilizando mediciones de humedades efectuadas con la sonda de neutrones.

Los valores de ETM (consumo máximo teórico) y ETR (consumo observado) fueron comparados mediante un análisis de regresión lineal simple; además se estimó el porcentaje de agotamiento de la humedad del suelo; finalmente, se obtuvieron los coeficientes "C" de las relaciones entre las ETR-máximas semanales (consumos máximos observados, medidos con la sonda en la frecuencia de 7 días) y las evaporaciones medidas en el tanque tipo "A".

Al evaluar el efecto de los tratamientos sobre las variables rendimiento de fruto comercial y no comercial (TM/ha),



calidad industrial del fruto y número de plantas cosechadas se encontró que no existen diferencias estadísticas, por lo que para la presente época de siembra y bajo las condiciones del parcelamiento Cuyuta, el tomate se puede regar hasta los 16 días que no se afecta el rendimiento ni la calidad industrial del fruto. Con fines prácticos se recomienda regar cada 14 días.

De acuerdo a la comparación de ETM teóricas calculadas con Penman (valores usados para determinar las láminas regadas) y las ETR medidas con la sonda, éstas se encuentran altamente relacionadas en la frecuencia de 7 días ($r^2 = 0.84$), demostrándose así que bajo condiciones de alimentación hídrica adecuada, el cultivo evapotranspiró (ETR) realmente a un nivel cercano del nivel máximo teórico (ETM). Estas condiciones son muy similares para la frecuencia de 10 y 13 ($r^2 = 0.85, 0.77$ respectivamente) no así para la de 16 días ($r^2 = 0.31$).

Los valores de ETR y ETM se encuentran altamente relacionadas en las frecuencias que mantienen una adecuada alimentación hídrica en el suelo para la planta (como en F7); cuando existen diferencias entre ambos valores, éstas se deben a factores del suelo (reserva fácilmente utilizable - RFU - agotada) y/o a factores de la planta (presencia de enfermedades, densidad de plantas u otros); mientras que la

medición de valores de ETR mayores de ETM debe explicarse prioritariamente por errores ligados a las metodologías utilizadas, siendo la principal la utilización de un balance hídrico incompleto que no toma en cuenta los flujos profundos; hay que pensar también en unas imprecisiones ligadas a un uso no lo suficientemente dominado de la sonda. Improbable, pero teóricamente factible es la poca adaptabilidad de la fórmula de Penman para las condiciones de la localidad e imprecisiones prácticas en el cálculo diario de los valores de ETM.

El mayor consumo de agua se presentó lógicamente durante las etapas de floración y fructificación; el consumo por ciclo se presentó de mayor a menor así: 392.58 mm regando cada 7 días (10 riegos), 390.16 mm regando cada 10 (7 riegos), aplicando riegos cada 13 (5 riegos) se consumieron 351.79 mm y al regar cada 16 el cultivo consumió 313.19 mm (4 riegos).

El grado de agotamiento de la reserva útil del suelo (RU), en ninguna de las frecuencias evaluadas fue mayor del 50 %; estos resultados se obtuvieron dada la capacidad de almacenamiento del suelo (textura arcillosa y una alta reserva fácilmente utilizable - RFU -).

Los coeficientes C de cultivo relativos al tanque tipo A

encontrados para cuatro etapas fenológicas del cultivo son:
0.80 (desarrollo vegetativo), 1.00 (floración), 0.83
(fructificación) y 0.76 (cosecha). Presentan una evolución
bastante lógica.

1 INTRODUCCION.

En Guatemala la producción agrícola se realiza mediante el aprovechamiento del agua de las lluvias y el agua de los sistemas de riego conocidos en el medio. Obviamente el conocimiento de las necesidades de agua de los cultivos debe basarse en saber CUANDO y CUANTO regar.

La investigación sobre riegos desarrollada en Guatemala (PRA, FAUSAC, ICTA, PNUD, AID), ha demostrado que el agricultor riega más de lo necesario debido principalmente a que usa frecuencias muy cortas, teniendo las principales pérdidas a nivel de sus parcelas.

A partir del interés del Estado en desarrollar la Costa Sur con Proyectos de Riego a Mediana y Gran Escala, y, posteriormente priorizar esta zona (Plan Maestro de Riego y Drenaje 1,991) para realizar proyectos a nivel de ejecución, el Segundo Programa de Riego y el Proyecto Regional de Agrometeorología (PRA) del CATIE, con la asesoría de la Misión Francesa de Cooperación Técnica y Científica (CIRAD-CA), han venido realizando una serie de estudios en cultivos bajo riego en el Centro Experimental del ICTA-Cuyuta. En este sentido, para la temporada seca 1990-1991 se planificó la realización de tres estudios en frecuencias de riego con dos cultivos a saber: frijol (un solo ensayo) y tomate (dos

híbridos y dos épocas de siembra); constituyendo el presente la segunda fase de investigación en el tomate para darle consistencia a los resultados obtenidos durante la primera época de siembra en la cual se utilizó el híbrido MILANO NK (13).

La investigación se realizó de enero a abril (segunda época de siembra) para comparar el efecto de cuatro frecuencias de riego con el objetivo de recomendar frecuencias adaptadas de las más largas posibles sin afectar los rendimientos.

Con este tipo de recomendaciones se permite limitar a lo largo del ciclo del cultivo las pérdidas globales a nivel de parcela causadas por percolación, evaporación del suelo ("consumo de lujo") y colas de surco; además al buscarse un material y época de siembra diferentes se proporciona una nueva alternativa para diversificar más la producción agrícola del lugar.

La metodología básica de riego aplicada en cada frecuencia consistió en aportar (en base a parámetros climáticos) una lámina teórica controlada de agua igual a lo máximo que habría podido consumir el cultivo desde el riego precedente (ETM acumulada calculada en base a ETP-Penman) con la cual se restauró la humedad del suelo; se controló a "posteriori" el consumo real del cultivo (ETR) con la sonda de neutrones

a través de un balance hídrico.

El ensayo se estableció en un diseño experimental de bloques al azar; las variables de respuesta fueron: rendimiento de fruto comercial y no comercial, número de plantas cosechadas y calidad industrial del fruto. El análisis estadístico sobre cada una de estas variables consistió en un análisis de varianza.

Colaboraron en este trabajo: la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento (DIRYA/DIGESA); el Proyecto Regional de Agrometeorología (PRA) del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), siendo el PRA coordinado por la "Unidad de Investigación en Gestión del Agua" del Departamento de Cultivos Anuales del Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD-CA) de Francia; el Instituto de Investigaciones Agronómicas de la Facultad de Agronomía de la Universidad San Carlos de Guatemala (IIA); la Sección Agropecuaria de la Dirección General de Energía Nuclear (DGEN) del Ministerio de Energía y Minas (MEM), y, el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA). La iniciativa privada también se hizo presente con la colaboración de: Kern's S.A., SUPERB Agrícola, CARUSA y ADI-AGRICOLA.

2 PRESENTACION DEL PROBLEMA

La carencia de capacitación técnica en riego a los agricultores ha provocado que la eficiencia de operación de diferentes sistemas de riegos en el país, esté entre el 15 al 40 % (13).

Estudios anteriores han demostrado que utilizando frecuencias de riego más largas que las usadas por los agricultores, se pueden reducir las pérdidas a nivel de parcelas hasta en un 40 % explicado esto por la disminución global de las pérdidas por colas de surco, percolación profunda y evaporación del suelo ("consumo de lujo")(13); también han recomendado hacer repeticiones de este tipo de investigaciones en función de tiempo y espacio, para darle mayor consistencia a los resultados obtenidos con anterioridad.

El incremento de las investigaciones acerca de frecuencias y dosis fijas de riego -como el presente trabajo-, constituye el punto de partida para que en el futuro se transfiera al agricultor paquetes tecnológicos sencillos, (frecuencias fijas) previo a iniciar la operación de estos sistemas.

El panorama de la agricultura intensiva para productos como el tomate (de alta demanda o consumo en el mercado y por su

alta rentabilidad) pasa por diferentes etapas hasta que por el uso desmedido de pesticidas en algunos lugares ha llegado a la etapa de desastre, que obliga a buscar nuevas zonas potenciales para cultivarlos. La preocupación es entonces diversificar los cultivos a través del uso de materiales genéticos de altas cualidades agronómicas (tales como tolerancia a enfermedades) y búsqueda de diferentes épocas de siembra en zonas donde las condiciones ecológicas, climáticas y del suelo sean adecuadas; tal y como se presume o pudiera ser el área de Cuyuta para el cultivo del tomate en la Costa Sur.

3 MARCO TEORICO

3.1 Marco conceptual

3.1.1 Evapotranspiración

3.1.1.1 Presentación

Referencias de varios autores (7, 17, 1), afirman que "la evapotranspiración" o "uso consuntivo" del cultivo es la suma de los términos "evaporación del suelo" y "transpiración de las plantas" (siendo también este fenómeno una "evaporación", pero regulada o no por el cultivo).

La transpiración comprende el agua que penetrando a través de las raíces de las plantas es reintegrada a la atmósfera por los estomas. El fenómeno ocurre lógicamente (por efecto del clima) en un 90 a 95 % durante el día (1, 2).

Aunque las plantas absorben grandes cantidades de agua del suelo, es mínima la cantidad que es utilizada en la construcción de sus tejidos; por lo que generalmente se escribe que el agua absorbida a nivel del suelo es igual al agua transpirada ("hipótesis del flujo conservativo") (7).

El agua depositada por el rocío, la lluvia natural o artificial, que se evapora sin ser utilizada por la planta,

también forma parte del agua evapotranspirada (7).

Con fines prácticos "la evapotranspiración" representa entonces todo el agua que se desaparece de cualesquiera área (con o sin cobertura vegetal) por efecto del clima (existiendo o no una regulación por parte de las plantas): el clima es el único "motor" del fenómeno.

Los principales factores que intervienen en el fenómeno de la evapotranspiración son: La radiación global, coeficientes de reflexión del suelo y de las plantas, temperatura del aire, velocidad del viento, humedad relativa, (17, 19).

Grassi (5, 6), hace referencia dentro del proceso de evapotranspiración a "la evapotranspiración potencial" (ETP) y a "la evapotranspiración real" (ETR); se comentarán esos términos en secciones posteriores. Así, con fines de ser preciso, es recomendable utilizar las expresiones "evapotranspiración real", "ETR" o "uso consuntivo" que la expresión genérica "evapotranspiración".

3.1.1.2 Evapotranspiración potencial (ETP)

Este concepto surgió de la necesidad de tener una referencia climática de la evapotranspiración, hecha la observación preliminar de que aparentemente ésta variaba sólo por el clima.

Así, la ETP al inicio se definió como la evapotranspiración de una cobertura vegetal sin limitación en su alimentación hídrica, cubriendo completamente el suelo, en buen desarrollo fisiológico, siendo el área foliar no limitante. Por muchos años se consideró que este valor era el mismo para todos los tipos de vegetación, a lo que se le llamó "Hipótesis ETP". El concepto no consideraba entonces la naturaleza de la cobertura vegetal (7).

Luego se abandonó el concepto inicial de "Hipótesis ETP" porque se evidenció que bajo las mismas condiciones climáticas (y con una alimentación óptima), los cultivos podían evapotranspirar en forma diferente según sus propias características (tipo de cultivo y estado de desarrollo).

Poco a poco se conceptualizó un "sistema referencial" universal que permite contar a la vez con una referencia climática confiable y comparable de un lugar a otro, y con herramientas sencillas, permitiendo relacionar las evapotranspiraciones de los cultivos con los valores de la "referencia climática": dentro de varias referencias posibles se consideró como "referencia climática del lugar" o sea "ETP", la evapotranspiración de una cobertura "tipo césped" bien desarrollada, en óptimas condiciones generales (de desarrollo, de alimentación hídrica, fitosanitarias, etc). En seguida surgieron fórmulas utilizando datos



climáticos para determinar (evaluar) indirectamente los valores de ETP. La mayoría son empíricas, procediendo de ajustes: son supuestamente válidas únicamente en el lugar donde fueron establecidas. Una, desarrollada por Penman, tiene validez universal (en condiciones no extremas) por estar basada en la modelización de procesos físicos que actúan en el fenómeno de la evapotranspiración.

La otra componente del "sistema referencial" reside en las relaciones sencillas que se evidenciaron que permiten relacionar las ETP con las ETR de los cultivos cuando éstos están en condiciones óptimas, utilizándose para llamar esas ETR la expresión "evapotranspiración máxima" o "ETM". La relación evidenciada es:

$$ETM = K_c * ETP \quad ("ETP\text{-césped}").$$

Llamándose "Kc": coeficiente de cultivo.

La universalidad y la estabilidad de este tipo de relaciones se comprobaron en base a numerosos experimentos lisimétricos y en el campo durante varios años, en diferentes localidades alrededor del mundo, dando como resultado la confiabilidad del "sistema referencial". En base a estas características de universalidad y estabilidad, la FAO ha elaborado tablas de los coeficientes Kc, que permiten predecir las ETM a partir de las referencias ETP-Césped (o indirectamente ETP-

Penman u otras ETP) para las diferentes etapas fenológicas de casi todos los cultivos.

En relación a otros métodos indirectos, el método de Penman proporciona resultados más satisfactorios sobre la ETP, siempre y cuando se cuente como mínimo con los siguientes datos: temperatura, humedad relativa, duración de insolación y recorrido del viento. Estos datos deben ser medidos en una estación meteorológica local (4).

3.1.1.3: Evapotranspiración máxima (ETM) y coeficiente de cultivo (Kc)

La ETM representa la evapotranspiración real (ETR) de una cobertura vegetal, cuya transpiración no está limitada ni por razones fisiológicas de la planta ni por falta de agua, es decir que existe un buen abastecimiento hídrico de parte del suelo, que la planta está sana y sin limitaciones algunas.

Cuando el cultivo se encuentra en óptimas condiciones de alimentación hídrica y de desarrollo ETR y ETM son iguales.

Si existen diferencias entre las dos, éstas se deben principalmente a características del suelo y/o a la eficiencia de la planta (enfermedades y otro tipo de

trastornos fisiológicos) para absorber agua del mismo (4).

Los coeficientes K_c (valores tabulares de la FAO) materializan la capacidad del cultivo para absorber agua del suelo a lo largo del ciclo vegetativo en relación a las condiciones climáticas, por lo tanto depende únicamente de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de la especie (4, 8, 9), así como de aspectos agronómicos como la densidad de siembra.

Las ETM y las ETR se obtienen únicamente por mediciones directas mediante el establecimiento de balances hídricos precisos en lisímetros o al campo (4, 8, 9).

3.1.1.4 Evapotranspiración real (ETR)

La ETR es la cantidad de agua efectivamente disipada en la atmósfera, a partir de una superficie - con una cubierta vegetal o no - durante un período de tiempo (8, 9).

Incluye la evaporación del suelo ("consumo de lujo") y el agua transpirada por la vegetación.

Unos autores han modelizado las relaciones de ETR y ETM así:

$$ETR = Kh * ETM; \quad 0 < Kh < 1.$$

Kh = "coeficiente de humedad del suelo".

La relación anterior ha sido elaborada a partir de leyes empíricas de evolución del Kh en función de la humedad del suelo (8, 9); existen también relaciones $ETR = F(ETM \text{ o } ETP)$ más complejas.

3.1.1.5 Conclusiones

Normalmente tenemos entonces:

- ETP o ETP-césped: Referencia climática del lugar, obtenida directamente en un lisímetro (únicamente en lisímetro!), o indirectamente con fórmulas (como la de Penman).

- ETM: referencia "clima-planta ideal" o "máxima":

$ETM = Kc * ETP; \quad 0 < Kc < 2$, el cual depende de la planta, estado de desarrollo de la misma, densidad de siembra, (entonces de la cobertura del suelo).

- ETR: "la realidad"; $ETR \leq ETM$ siempre.

ETR es función de ETP, del suelo y de la planta: todo interviene en la ETR.

Nota: teniendo $ETM = Kc * ETP$ ($Kc \leq 2$), es posible encontrar

valores de ETR superiores a las ETP.

Las diferencias entre la ETR y ETP se deben entonces al tipo y estado de desarrollo del cultivo (características anatómicas, morfológicas y fisiológicas) y a los efectos del suelo (humedad, densidad, etc.); las diferencias entre ETR y ETP se deben únicamente a los efectos del cultivo señalados entre ETR y ETP (8, 9).

3.1.2 Humedad en el suelo y estado de disponibilidad

Durante muchos años el agua se ha clasificado en higroscópica, capilar y de gravitación; sin embargo no es posible separar tajantemente estos tres tipos, pues la proporción de cada uno depende de la textura, estructura, más las características de la materia orgánica del suelo (7, 18).

3.1.2.1 Capacidad de campo (CC)

Es el contenido de humedad que existe en el suelo después de la eliminación del agua gravitacional; límite superior del agua disponible para la planta; sus factores son únicamente la textura, la estructura (entonces la densidad aparente) y el contenido de materia orgánica (7).

El contenido de humedad en este punto, puede variar de 6 a 12 % en suelos arenosos y hasta 39 % en suelos de textura arcillosa (19, 12).

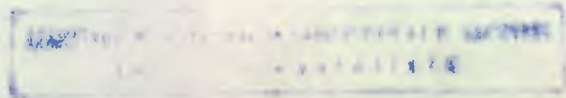
Generalmente la tensión de humedad de los suelos cuando se encuentran a capacidad de campo tienden a ser de $1/3$ de atmósfera para suelos arcillosos y para suelos arenosos puede ser de $1/10$ de atmósfera (7, 17).

La capacidad de campo se presenta al segundo o tercer día después de llover o aplicar riego pero el tiempo puede reducirse en suelos arenosos (7).

3.1.2.2 Punto de marchitez permanente (PMP)

Límite inferior del agua disponible para las plantas, se refiere al contenido de humedad de los suelos cuando las plantas se marchitan permanentemente; es el valor común de la solución matricial limitante para la sobrevivencia de la planta y no recupera su turgencia, aún si se coloca en una atmósfera saturada en la que no se produce consumo aparente (1, 17, 7).

Este estado se alcanza en términos de una semana en terrenos arenosos, cuatro semanas en arcillosos y aún más en el caso de que el enraizamiento sea profundo.



Sus factores son los mismos que para la humedad a capacidad del campo (características físicas del suelo), más la capacidad de la planta a extraer el agua (en término de gradientes de tensiones que las raíces pueden inducir) y el contenido de sales (este último interviene en las tensiones) (7).

La tensión a la cual se produce oscila entre 7 y 40 atmósferas (función de las capacidades de extracción de las raíces), aunque por convenio se utiliza una tensión de 15 (referencia internacional) (7).

3.1.2.3 Humedad disponible o reserva útil del suelo (RU)

Es el contenido de humedad retenida entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, en la zona activa de las raíces del cultivo (12).

Es la humedad que puede ser almacenada en el suelo y que las plantas pueden absorber sin disminuir su rendimiento (1).

Grassi (6), indica entonces, que la capacidad de campo es el 100 % de la humedad disponible y que el punto de marchitez permanente es el 0 %.

La RU del suelo en un estrato se calcula en base al porcentaje de humedad volumétrica (%HV), entendiéndola como el volumen de agua de una muestra sobre el volumen total del suelo "in situ"; su expresión más sencilla es:

$\% HV = \text{volumen del agua} / \text{volumen "in situ" del suelo};$

con fines prácticos:

Una HV de x % corresponde a una cantidad de agua de "x" mm por estrato de 10 cm de suelo.

Y la reserva útil se calcula así:

$RU/10 \text{ cm de suelo} = \% HV CC - \% HV PMP.$

cc = capacidad de campo.

pmp = punto de marchitez permanente.

La RU para un perfil de suelo o profundidad de interés es la suma de todas las RU/10 cm (8, 9).

3.1.2.4 Humedad fácilmente aprovechable o reserva

fácilmente utilizable (RFU)

El agua no es igualmente disponible en todo el rango de la reserva útil (RU) del suelo. Muchas evidencias indican que

el crecimiento de las plantas disminuye conforme la tensión de humedad del suelo aumenta (más negativa); si la remoción de agua del suelo por las plantas requiere de energía, es lógico suponer que si aumenta la humedad, disminuye la tensión, por lo que las plantas gastan menos energía en suplir sus necesidades de agua y crecen más (11). Por ejemplo en la mayoría de los suelos, al llegar a una tensión de una atmósfera, generalmente ya del 50 al 75 % del agua de la RU ha sido removido (19). Luego para que la planta se aproveche de los 50 ó 25 % de la RU restantes, tiene que esforzarse y la velocidad de absorción ya no es la misma.

Así, surgió el concepto de "RFU": con fines prácticos es el valor de reserva del suelo arriba del cual el cultivo no disminuye su rendimiento, puesto que el suelo mantiene condiciones adecuadas de alimentación hídrica.

Empíricamente se determina la RFU como una fracción de la RU; o sea $RFU = a \cdot RU$ ($a \geq 0.5$).

La FAO recomienda utilizar $RFU = 2/3 \cdot RU$ (4, 8, 9).

3.1.3 Balance hídrico

La ecuación general del balance hídrico deriva del principio

general de la conservación de la materia y energía, en este caso por analogía se trata de la conservación del agua caída por precipitaciones naturales (Pre) o por riego (Rie); dicha agua se reparte en:

- Agua realmente evapotranspirada.....: ETR
- Agua perdida por escurrimiento superficial.....: Esc
- Agua perdida por drenaje o percolación.....: Dre
- Variación del almacenamiento de agua en el suelo.: Var(s)

La ecuación general, siempre, entre dos momentos se escribe de la manera siguiente:

$$\text{Pre} + \text{Rie} = \text{ETR} + \text{Esc} + \text{Dre} + \text{Var}(s)$$

$$\text{Var}(s) = (\text{almacenamiento final} - \text{almacenamiento inicial})$$

Esto, sirve para calcular un término en función de los demás: generalmente se calcula la ETR y se puede planificar un riego (10).

Podemos considerar la ecuación sobre cualquier tipo de período tales como: período "entre riegos" (mediciones de humedad antes y después de los riegos sin incluir el día de riego), período completo entre dos o más riegos (incluyendo los días de riego) o finalmente durante el ciclo completo

del cultivo en particular (incluyendo riegos intermedios), considerando la precisión, operacionalidad y practicabilidad de los datos obtenidos.

3.2 Marco referencial

3.2.1 Investigaciones realizadas

3.2.1.1 Investigación Realizada sobre Frecuencias de Riego y adaptabilidad de fórmulas de Evapotranspiración Potencial

De acuerdo a la síntesis de investigaciones sobre frecuencias de riego y evapotranspiración que fuera realizada durante 6 años en Guatemala (durante 1,982-87) (15), se extraen las siguientes conclusiones:

a. El agricultor nacional riega más de lo necesario, pues puede regarse de 12, 16 hasta 20 días porque la frecuencia de riego no tiene efectos importantes sobre el rendimiento mismo (fruto comercial y no comercial), mortalidad de las plantas ni sobre la calidad industrial del fruto.

b. Basados en los valores de las láminas aplicadas y evapotranspiración, número de riegos, el agotamiento de la humedad puede ser adecuado (no mayor del 50%), cuando estos riegos se separen 12, 16 hasta 20 días, produciendo un

consumo de 28.5 cm durante todo el ciclo del cultivo.

c. Las fórmulas de evapotranspiración son adaptables en función de la frecuencia de riego y de las condiciones climáticas de la localidad. De esta manera, la fórmula de Blaney-Criddle modificada por Phelan se adapta a las localidades de El Rancho y La Fragua, regando cada 8, 10 y 12 días; la fórmula de Heargraves-1966, junto a la fórmula anterior son adecuadas regando cada 8 y 12 días en la localidad de La Fragua. Esta misma fórmula de Heargraves modificada en 1966, también es adecuada para la localidad de Guastatoya, cuando la frecuencia es de 8 días. La fórmula de Heargraves (modificación 1983), es adaptable para Guastatoya el Progreso y para la misma frecuencia. Para la localidad de San Jerónimo -Baja Verapaz-, ninguna es adaptable.

d. Respecto de la relación de Evapotranspiración potencial/evaporación (coeficientes "C" de cultivo), se indica que varía de una localidad a otra, por lo que se considera que más experimentación es necesaria para darles consistencia a estos coeficientes y poder usarlos en el cálculo de la evapotranspiración para conocer el requerimiento de riego a partir de datos de evaporación del tanque.

Complementariamente se ha determinado que el número de riegos depende del ciclo y etapa fenológica del cultivo y

del tipo de textura del suelo (1, 11, 12, 14, 19).

3.2.1.2 Efectos del control de los riegos sobre el cultivo del tomate

Referencias de Oliva Cermeño (11) indican que la humedad excesiva durante la floración aumenta la caída de la flor y disminuye el tamaño del fruto y favorece el apareamiento de plagas y enfermedades y disminuye el rendimiento; y que un control inadecuado de la humedad durante la floración provoca el apareamiento de grietas en los frutos.

León Gallegos, citado por el mismo autor anterior (11), afirma que si el riego es abundante a la floración y luego se interrumpe, para hacer aplicaciones muy ligeras y constantes, se favorece una fructificación y maduración uniforme. Indica además que los mayores requerimientos de agua se presentan durante las etapas de floración, fructificación y cosecha, y que las sequías prolongadas agrietan el fruto, retarda o inhibe completamente el crecimiento en plantas jóvenes, síntoma éste que no se corrige aún con un fuerte riego posterior.

Otras referencias indican que la calidad industrial del fruto no se afecta cuando el cultivo de tomate se riega cada 8, 12, 16, 20 y 24 días y que la mayor producción y

desarrollo de las raíces se presentan en regiones donde existe humedad; no obstante que si ésta disminuye, el agua se consume en capas más profundas (1, 11, 7).

3.2.2 Ubicación y descripción del área experimental

El ensayo se estableció en la Estación experimental del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas -I.C.T.A.-, en el parcelamiento de Cuyuta, municipio de Masagua, Escuintla.

La unidad experimental se encuentra ubicada (según coordenadas geográficas) a $14^{\circ} 07'$ latitud Norte y a $91^{\circ} 09'$ longitud Oeste (13). Cuenta con una estación agrometeorológica de clase intermedia entre A y B que permite obtener todos los datos para calcular ETP con Penman y un sistema de riego por gravedad.

El área presenta una elevación media de 48 msnm, precipitación pluvial de 2063 mm/año para un total de 109 días efectivos de lluvias distribuidos durante los meses de mayo a octubre. Es una localidad calurosa, con una temperatura media anual de 26 grados centígrados (3).

Los suelos son profundos y originados de materiales aluviales cuaternarios de la serie Tiquisate (16).

De acuerdo a los parámetros establecidos en la nomenclatura



internacional de climatología (4) y a las condiciones de la época bajo las cuales se desarrolló este trabajo (enero a abril de 1,991), la temperatura media mensual de la localidad puede considerarse media (entre 20 a 50 grados centígrados); los vientos de débiles a moderados (entre 2 a 5 m/s); insolación media (8 H/día), y la evapotranspiración media mensual puede considerarse media (ver cuadro 9 del anexo).

4 OBJETIVOS

4.1 General

Evaluar el efecto de regar cada 7, 10, 13 y 16 días sobre el rendimiento, calidad industrial del fruto, mortalidad de las plantas y evapotranspiración real del cultivo del tomate en el parcelamiento de Cuyuta, Masagua, Escuintla.

4.2 Específicos

4.2.1 Determinar el efecto producido por las diferentes frecuencias sobre el rendimiento de fruto comercial y no comercial, calidad industrial del fruto y mortalidad de las plantas.

4.2.2 Determinar la frecuencia más larga y adecuada para el cultivo y condiciones del área.

4.2.3 Estimar la lámina de agua consumida (ETR) en las diferentes frecuencias, entre riegos y durante todo el ciclo del cultivo.

4.2.4 Comparar los valores de ETM (utilizados para determinar las láminas de agua regadas y obtenidas por medio de la fórmula de Penman) y las láminas de agua consumidas o medidas (ETR) mediante un balance hídrico a partir de las mediciones de humedades con la sonda de neutrones.

4.2.5 Determinar el grado de agotamiento de la humedad aprovechable del suelo en base a mediciones de la sonda de neutrones.

4.2.6 Determinar el coeficiente "C" de la relación evapotranspiración real-máxima medida en el campo/evaporación medida en el tanque tipo "A" para cada etapa fenológica del cultivo.

6 METODOLOGIA

6.1 Determinaciones Previas

6.1.1 Análisis físico y químico del suelo con fines de fertilidad y riego

Para determinar las características físicas se hicieron dos calicatas (1mx1mx2m) en las cuales se procedió a tomar muestras considerando los estratos de 0 a 30, 30 a 65, 65 a 95 y de 95 cm a más. Cada muestra fue analizada a nivel de laboratorio determinándose la densidad aparente por medio del método de la probeta, clase textural por el método de Bouyoucos, y la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente por medio del método de la membrana de Presión.

Para las características químicas del suelo con fines de fertilidad se obtuvieron sub-muestras en el estrato 0 a 60 cm de profundidad; se enviaron muestras al Laboratorio de Suelo del ICTA y al laboratorio de suelo y planta AGRILAB para contar con recomendaciones en cuanto a fertilización se refiere.

Datos tomados "in situ" fueron la densidad aparente por medio del método del cilindro de volumen conocido y los valores de capacidad de campo por el método de parcelas de

campo (ver resultados en los cuadros 10, y 11 del anexo).

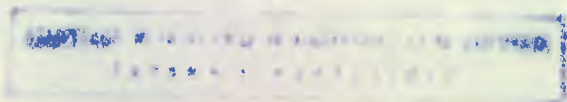
6.1.2 Calibración de la sonda neutrónica

La sonda neutrónica es un instrumento que mide de manera indirecta la humedad del suelo y la densidad aparente del suelo; ambas estimaciones requieren de una calibración por el principio de funcionamiento que la rige.

Este principio consiste en que desde una fuente, la sonda emite neutrones de americio y berilio con mucha energía, pero éstos al chocar con los átomos de hidrógeno del agua presente en el suelo regresan con menos energía, produciendo impulsos electrónicos cuyo contaje aparecerá en una pantalla. Estos impulsos se relacionan directamente (por medio de un modelo lineal de calibración que se detalla en los párrafos inferiores de esta sección) con el agua o humedad presente en el suelo.

Los impulsos pueden contarse a diferentes unidades de tiempo, generalmente se hacen CONTAJES POR MINUTO (CPM).

Un esquema de la sonda con sus principales componentes, pueden observarse en la figura 8 del anexo.



En este trabajo de investigación se usó la sonda marca CPN modelo 503 que pertenece a la Sección Agropecuaria de la Dirección General de Energía Nuclear (DGEN), del Ministerio de Energía y Minas (MEM).

La calibración de la sonda consta básicamente de la obtención de un modelo lineal que relaciona los valores de contajes relativos de la sonda y porcentaje (%) de Humedad volumétrica de muestras de suelo. El modelo de calibración general es de la forma:

$$Y = a + b \cdot X$$

Y = porcentaje Humedad volumétrica

a, b = constantes

X = conteos relativos (CR)

Los CONTEOS RELATIVOS (CR) que en la práctica, permiten tomar en cuenta y controlar eventuales evoluciones del funcionamiento de la sonda; se definen de la manera siguiente:

$$CR = CPM/CS$$

Donde:

CR = conteos relativos

CPM = conteos por minuto

CS = Conteo estándar o de referencia

El conteo de referencia o conteo estándar (CS) es fijo y generalmente es la media de varios conteos de sonda cuando la fuente del aparato está en su caja protectora o sobre el tubo de acceso.

Para obtener el modelo de calibración se utilizaron los datos de un total de 12 tubos colocados en bloques diferentes, a una profundidad de 1.30 m., procediéndose en cada tubo de la manera siguiente:

Para determinar el porcentaje de humedad gravimétrica (y luego transformarla a humedad volumétrica) se extrajeron muestras de suelo en estratos de 10 cm; en el punto medio de éstos se tomaron dos lecturas con la sonda (CPM = conteos por minuto). Se obtuvo el conteo de referencia (CS) tomando lecturas en la entrada de los tubos, sin bajar la fuente de neutrones dentro de éstos; el conteo relativo se calculó relacionando los CPM y CS y, finalmente, se conformaron parejas de datos (CR, % humedad volumétrica) los cuales se sometieron a un análisis de regresión lineal simple.

6.2 Manejo del cultivo

El híbrido Zenith es actualmente uno de los híbridos de mayor aceptación por su morfología, tolerancia a enfermedades como la virosis y alto potencial de rendimiento. Se manejó de acuerdo a las recomendaciones del paquete tecnológico del Programa Nacional de Hortalizas del Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología Agrícolas -ICTA-.

La preparación del terreno consistió de un paso de arado a una profundidad de 30 cm, dos pasos de rastra; finalmente se hizo el surqueo del terreno a 1 m de distancia.

Para semilleros se prepararon dos tablonces de 15 m de largo, 1 m de ancho y 0.20 m de altura. Cada uno de estos tablonces se desinfectó con los productos comerciales: Banrot (Trban+metiltioalofanato; 0.5 Kg/tablon), Nemacur (1.5 Kg/tablon), PCNB y Captán (Pentacloro Nitrobenceno; 0.5 Kg/tablon); con esta mezcla se sembró en el mismo día y a los 3 días las plántulas ya habían germinado. Luego de la germinación se presentó el ataque del mal del talluelo causado por hongos del suelo (Phytopthora y Pytium), y se inició también un ciclo de aplicaciones alternas de Banrot, Captan y PCNB para su control. Estas aplicaciones se ejecutaron dos veces por semana, hasta el día del transplante.

Simultáneo al ataque y control de mal del talluelo, en los semilleros también se hizo control de mosca blanca (Bemisia tabaci) y de minador de la hoja (Lyriomiza sp); el control de estos insectos se hizo con aplicaciones alternas de Heral (Fenpropratin), Thiodan (Endosulfan) y Metasystox (Oxidimeton metil) a una dosis de 1 Lt/Mz. Hubo presencia de larvas de lepidópteros (cogolleros: Heliothis sp., Spodoptera sp.), y su control consistió en aplicar Belmark (Fenvalerate), Thiodan y Lannate (Methomil) a dosis de 1 Lt/Mz.

Previo a la siembra, la fertilización de los semilleros consistió en una sola aplicación de 15-15-15 a razón de 2 Kg/tablon.

El transplante se efectuó a los 23 días, en hileras simples, a una distancia de 0.40 m entre plantas y 1 m entre surcos. El control de nemátodos y otras plagas del suelo se hizo previo al transplante aplicando Furadán (carbofurano al 10 %) a una dosis de 20 Kg/Ha (40 lb/Ha).

El control de mosca blanca, se hizo con aplicaciones alternas de Nudrin (methomyl), Azodrin (Methomyl), Heral y Confidor (NTN); se hicieron estas aplicaciones durante las primeras 6 semanas, dos veces por semana; de esta semana a la octava, se hizo una sola aplicación y durante la novena y

décima semana se suspendió todo tipo de aplicación de pesticidas.

El control de hongos del follaje y otras enfermedades consistió en la aplicación de fungicidas preventivos, protectantes y/o curativos tales como el Benlate (methomyl), Fruvit (Oxadixil + Propineb), Ridomil (Metalaxilo), Previcur, Mancozeb (Mancozeb) y/o Agrymicin (Streptomicina + Terramicina). Estos productos se aplicaron en forma alterna una vez por semana hasta los 60 ó 70 días después del transplante.

El control de larvas de lepidópteros a nivel de campo definitivo se realizó con dos aplicaciones de Belmark (Fenvalerate) y también sembrando maíz (Zea mais) como cultivo trampa en el perímetro del ensayo.

En cuanto a la fertilización se realizaron al inicio 2 aplicaciones con 20-20-0 a una dosis de 8 qq/Mz, una tercera aplicación de esta misma fórmula a razón de 4 qq/Mz y, la cuarta con Urea (46 % N) a razón de 2 qq/Mz. Estas se complementaron con aplicaciones del foliar Key-Cal (para aportar calcio + boro) a una dosis de 1.5 Lt/Ha.

Se usaron además el Microminol (Amino-ácidos) como estimulante del transplante y Ergostín (Acido indol-

acético); para estimular la floración y evitar la aborción de las flores por las fuertes temperaturas del área. El bioestimulante se aplicó al trasplante y el fitorregulador al inicio de la floración y durante la fructificación.

Realizando limpiezas manuales a los 6, 25, 45 y 65 días después del trasplante, se controló el *Cyperus sp.*, la principal maleza de la localidad.

6.3 Manejo del experimento

6.3.1 Período de conducción y trazo del experimento

La fase de campo duró 112 días, iniciándose el 4 de enero de 1991 y terminó el 25 de abril de este mismo año.

El trazo del ensayo se realizó posterior al surqueado del terreno. Se delimitaron primero los bloques y luego las unidades experimentales, las cuales constaron de 10 surcos de 8 m de largo cada una.

Los bloques se delimitaron separándolos 4 m entre sí para establecer las tomas secundarias (ver figuras 1 y 2 del anexo).

6.3.2 Metodología utilizada para regar

6.3.2.1 Método de riego utilizado

La modalidad de riego usada fue el riego por surcos derivando el agua de las tomas a las unidades experimentales por medio de sifones de PVC de 1", previamente calibrados.

El modelo de calibración de los sifones encontrado en base a diferentes cargas hidráulicas es de la forma $Y = a \cdot x^b$ donde:

Y = caudal de cada sifón (m³/s)

X = carga hidráulica en cada surco (cm).

a = 0.086

b = 0.569; $r^2 = 0.99$

6.3.2.2 Determinación de las láminas netas de riego

La lámina neta de riego fue igual a la evapotranspiración máxima acumulada (ETM) durante el período, calculada en base a la fórmula de la evapotranspiración potencial diaria de Penman (ETP), y, a los coeficientes Kc de cultivo - tomando los valores máximos propuestos - de la FAO.

La fórmula de Penman usada es la siguiente:

$$ETP = (A * Rn + BEa) / (A + B)$$

Donde:

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

B = constante sicrométrica.

Rn = Radiación neta.

Ea = Poder evaporativo del aire.

Los términos Rn y Ea se determinan en base a fórmulas físicas y a ajustes estadísticos. Se expresan de la manera siguiente:

$$Rn = (1-a) * (C+D*n/N) * Rg - \zeta . T^4 (0.56 - 0.08 * e) * (0.1 + 0.9 * n/N)$$

$$Ea = 0.26 * (Ew - e) * (1 + 0.4V)$$

Donde:

a = se tomó 0.2 (valor del albedo asumido en el programa de AGCLIM).

C/D = Coeficientes de la fórmula de Black-Angstrom.

n = Duración de la insolación (medida en la estación).

N = Duración astronómica del día (tablas; por latitud)

Rg = Radiación solar en el límite atmosférico.

ζ = Constante de Stefan-Boltsman

$$= 4.89 \cdot 10^{-7} \text{ J.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}.\text{K}^{-4}$$

T = Temperatura media del aire, grados Kelvin

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

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

E_w = Tensión de vapor saturante a la temperatura media del aire; en milibares.

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

Los datos "climáticos medidos en la estación" fueron ordenados y trabajados diariamente de acuerdo al programa para computadora AGCLIM instalado en DIRYA por el Proyecto Regional de Agrometeorología -PRA-, para calcular el valor de ETP-Penman/día.

Con los datos de ETP, el valor de la Evapotranspiración máxima (ETM) diaria se calculó así:

$$\text{ETM (mm/día)} = \text{ETP} \cdot K_c$$

Tal que:

ETM(mm/día) = valor de la evapotranspiración máxima por día.

ETP(mm/día) = evapotranspiración potencial diaria.

Kc = coeficiente de cultivo para cada etapa fenológica (0.8; 1.25; 0.95 y 0.65; límites máximos de FAO).

La lámina neta de riego es igual a la suma de los valores de ETM sobre el período desde el riego anterior.

Consideramos que estos valores de ETM así calculados son las "máximos posibles" de la localidad, por ser obtenidas a través de la fórmula de Penman que se considera la más precisa, y más que todo, por utilizar los Kc máximos propuestos por la FAO, que entonces se refieren supuestamente a un cultivo bien desarrollado, con alta densidad de siembra, manejado en condiciones ideales, etc., mientras que en el ensayo no podemos garantizar estas mismas condiciones.

6.3.2.3 Determinación de las láminas brutas de riego

Cuando la aplicación y la distribución del riego son óptimas a nivel de parcela se puede aplicar láminas brutas de riego iguales a las láminas netas determinadas, sin riesgo de que ciertas áreas de la parcela se queden con menos o más agua que las demás.

En el presente trabajo se consideró una lámina bruta de

riego = lámina neta/0.9 para corregir errores eventuales en el manejo del agua de riego en las parcelas como mala distribución por ejemplo y evitar que partes de las parcelas quedaran insuficientemente regadas en cada riego.

6.3.2.4 Riegos generales

Para el establecimiento del cultivo se realizaron tres riegos de uniformización: uno antes del transplante y los restantes se espaciaron 6 días entre uno y otro, llevando así el suelo a capacidad de campo de la misma forma en que el agricultor lo hace.

En todos los riegos posteriores, para cada tratamiento, se aplicaron láminas de riego igual al valor de ETM estimado con la fórmula de Penman.

6.3.2.5 Control de la humedad del suelo

El control de la humedad del suelo se realizó haciendo mediciones o lecturas con la sonda de neutrones permitiendo conocer el porcentaje de humedad a intervalos de 10 cm hasta una profundidad de 1.3 m en todos los tubos de acceso de la sonda instalados así:

En el segundo bloque del ensayo fueron colocados dos tubos

por unidad experimental: uno a 4 m del inicio y el otro a 4 m del final de uno de los surcos centrales de la parcela, en el cuarto bloque fue colocado un solo tubo al centro de cada unidad experimental (ver figura 2 en el anexo). Por razones económicas no fueron instalados dos tubos de acceso de la sonda en cada una de las unidades experimentales.

Las lecturas de la sonda fueron tomadas antes y después de cada riego para determinar las láminas normalmente consumidas por el cultivo y controlar los volúmenes aplicados.

6.3.2.6 Estimación de las láminas consumidas

La expresión general de balance hídrico, para estimar o medir el valor de las láminas consumidas es:

$$ETR = pre + rie - esc - dre - var(s)$$

Las variables pre (precipitaciones), esc (escurrimiento) y dre (drenaje) no fueron consideradas por la naturaleza del estudio; de tal manera que la lámina consumida o sea la evapotranspiración Real (ETR), se estimó a través de la expresión general anterior de la manera siguiente:

A (%) = grado de agotamiento de la humedad.

HCC (mm) = lámina de agua a capacidad de campo.

S (mm) = almacenamiento de la humedad medida
con la sonda de neutrones en los estratos
de 0 a 10, 10 a 20, 20 a 30 hasta 60 cm.

RU (mm) = reserva útil del estrato 0-60 cm.

6.4 Determinación de coeficientes C de cultivo relativos al tanque tipo A

Siendo la variable de rendimiento de fruto comercial la más importante y que el mayor de estos corresponde a la frecuencia de 7 días, se procedió a estimar los coeficientes C de cultivo por etapa fenológica relacionando los valores de ETR medidos con la sonda para esta frecuencia y los valores semanales acumulados de la evaporación del tanque tipo A; es decir:

$$C = \text{ETRM}/\text{EV}$$

Tal que:

C = Coeficiente de cultivo por etapa fenológica.

ETRM (mm) = Evapotranspiración real máxima semanal
(ETR de F7) medida con la sonda.

EV (mm) = Evaporación del tanque tipo A (semanal).

6.5 Diseño experimental

Se usó el diseño experimental bloques al azar, con cuatro repeticiones y cuatro tratamientos.

6.5.1 Modelo estadístico

El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ij} = U + B_j + T_i + E_{ij}$$

Donde:

$i = 1, \dots, 4$ tratamientos.

$j = 1, \dots, 4$ repeticiones (bloques).

Y_{ij} = valor de variables de respuesta.

U = efecto de la media general.

B_j = efecto de la j -ésima repetición.

T_i = efecto del i -ésimo tratamiento.

E_{ij} = error experimental asociado a la

i, j -ésima unidad experimental.

6.5.2 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos con su respectiva identificación sometidos a evaluación fueron:

- Frecuencia de 7 días = F7,
- Frecuencia de 10 días = F10,
- Frecuencia de 13 días = F13 y
- Frecuencia de 16 días = F16.

La aleatorización de los tratamientos se observa en la figura 1 del anexo.

6.5.3 Ensayo experimental

Area total del experimento:	2736 m ²
Area bruta por parcela:	72 "
Area neta por parcela:	48 "
Número de parcelas:	16
Distancia entre bloques:	4 m
Distancia entre plantas:	0.4 "
Distancia entre surcos:	1 "
Número de plantas por parcela bruta:	180
Número de plantas por parcela neta:	130
Densidad de población por Ha:	-25000 plantas

6.5.4 Variables de respuesta

Para medir el efecto de los tratamientos en estudio se consideraron las variables de respuesta siguientes:

De rendimiento (TM/ha): se registró el peso individual de fruto comercial y no comercial en cada corte efectuado.

Calidad industrial del fruto: realizado el tercer corte se envió una muestra de frutos tomados al azar en cada unidad experimental al laboratorio de control de calidad de la empresa Kern's S.A. donde fue analizado grados brix, porcentaje de pulpa, de pectinas, de acidez y pH.

Número de Plantas al final del ciclo: al final de la cosecha se realizó un conteo de las plantas cosechadas.

6.6 Análisis de los datos

A los resultados de las variables de rendimiento, parámetros de calidad industrial y número de plantas cosechadas, se les aplicó un análisis de varianza con un nivel de significancia del 5 % para observar el efecto de los tratamientos sobre el cultivo.

Los valores de ETM calculados con la fórmula de Penman y los

Kc de la FAO y las láminas consumidas (ETR) medidas con la sonda de neutrones fueron comparados mediante los coeficientes obtenidos a través de un análisis de regresión lineal simple.

7. Resultados y discusión

7.1 Efectos de las frecuencias de riego sobre las variables

7.1.1 Rendimiento de fruto comercial y no comercial

Los cuadros 12 y 13 del anexo tienen los resultados obtenidos en cada unidad experimental, un resumen de éstos se presenta en el cuadro 1.

CUADRO 1. RENDIMIENTO PROMEDIO DE FRUTO COMERCIAL Y NO COMERCIAL OBTENIDO EN CADA FRECUENCIA.

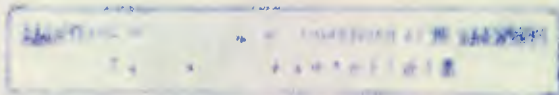
VARIABLE	F7	F10	F13	F16
com. (TM/ha)	40.775	39.012	39.31	32.42
com. (Cajas/ha)*	1794.1	1712.5	1729.9	1426.5
No com. (TM/ha)	1.149	0.947	0.813	1.034
No com. (caj/ha)	50.56	41.69	36.57	45.49

* caja = 50 lb.

Referencias: com = fruto comercial; No com = fruto no comercial.

Existe en los datos anteriores una ligera tendencia hacia obtener mayores rendimientos de fruto comercial conforme la frecuencia de riego es más corta. En general si el lapso de restaurar la humedad del suelo es largo, el cultivo disminuye sus rendimientos porque no tiene agua disponible.

De acuerdo a los resultados del cuadro anterior y comparando los valores obtenidos en el primer ciclo de siembra (fruto comercial de 22.04 a 26.59 TM/ha; fruto no comercial de 0.72



a 0.90 TM/ha) (13), se afirma que sobre estos resultados han influido varios factores entre los cuales podemos mencionar principalmente el tipo de híbrido utilizado y tipo de suelo, de la textura franca a franco-arenosa, en los primeros 35 a 65 cm, (ver cuadro 10 del anexo) diferente a la textura arenosa predominante en el primer ensayo en esta misma localidad (13).

La significancia del efecto de los tratamientos observada en el análisis estadístico practicado sobre cada una de estas variables (ver cuadros 20 y 21 del anexo), cuyo resumen se encuentra en el cuadro 2 siguiente, indica que las diferencias entre las frecuencias evaluadas sobre el rendimiento de fruto comercial y no comercial son no significativas.

CUADRO 2. RESUMEN DE LA SIGNIFICANCIA OBTENIDA POR LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS SOBRE LAS VARIABLES DE RENDIMIENTO.

variable	f calculada*	f tabulada*
fruto comercial	3.120	3.86 NS
fruto no comercial	0.434	3.86 NS

* Valores de la fuente de variación "tratamientos".

Estas diferencias estadísticas son iguales a las obtenidas en el primer ciclo de siembra en esta misma localidad, así como en otras regiones del país, donde además han evaluado frecuencias de 20, 24 y 28 días (13).

Considerando el análisis estadístico anterior y que el suelo posee una RFU aproximada de 70.78 mm (estimada mediante los datos de laboratorio que se encuentran en el cuadro 10 del anexo) y una ETP de 4 a 5 mm/día (estimada mediante el programa AGCLIM en base a los datos de la estación meteorológica); la frecuencia 16 se encuentra al límite del rango teórico de frecuencias que este suelo puede soportar (el cual va de 14 a 17), por lo tanto el cultivo no debe en esta frecuencia reducir drásticamente su rendimiento respecto de los otros tratamientos.

7.1.2 Calidad industrial del fruto

Los resultados de la calidad industrial del fruto se observan en los cuadros 14 al 18 del anexo. Un resumen de estos resultados, así como el valor mínimo de calidad requerido por parámetro se presenta en el cuadro 3.

CUADRO 3. RESUMEN DE LA CALIDAD INDUSTRIAL DEL FRUTO (3er. CORTE).

TRATAMIENTO	G. BRUX	% PULPA	pH	% ACIDEZ	% PECTINA
F7	4.650	39.0	3.975	0.470	0.195
F10	4.575	39.0	4.037	0.527	0.187
F13	4.625	39.5	4.087	0.565	0.185
F16	4.550	37.5	4.000	0.400	0.170
VALOR MINIMO	4.78	38.6	4.260	0.400	0.100

Fuente: laboratorio control de calidad de la fábrica Kern's S.A.

Comparando el valor mínimo de aceptación industrial, respecto del porcentaje de acidez y de pectina del fruto, éstos son de alta calidad, mientras que, para el resto de parámetros los valores son sólomente cercanos.

Al practicarse el análisis de varianza sobre cada parámetro de la calidad industrial (ver cuadros 22 al 26 del anexo), cuyo resumen se encuentra en el cuadro 4 siguiente, se estableció que para ninguno de los casos existieron diferencias significativas entre tratamientos.

CUADRO 4. RESUMEN DE LA SIGNIFICANCIA OBTENIDA POR LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS SOBRE LA CALIDAD INDUSTRIAL DEL FRUTO

parámetro	f calculada *	f tabulada*
grados brix	0.016	3.86 NS
porcentaje pulpa	0.460	3.86 NS
porcentaje acidez	2.000	3.86 NS
porcentaje pectina	0.389	3.86 NS
pH del fruto	1.500	3.86 NS

* Valores estimados para la fuente de variación "TRATAMIENTOS".

De los datos del cuadro anterior se deduce que la calidad industrial del fruto no está afectada por diferentes contenidos de humedad en el suelo. Los mismo efectos fueron detectados en la primera fecha de siembra (13).

7.2 Efecto de los tratamientos sobre la mortalidad de las plantas

Se tuvo al final del ciclo del cultivo, la misma densidad de siembra establecida (aproximadamente 2500 plantas/ha) es decir, no se observaron plantas muertas por lo que se deduce que las frecuencias utilizadas no afectan la mortalidad de las plantas (ver cuadros 19 y 27 del anexo).

Los trabajos de investigación anteriores (en esta misma localidad y en otras) obtuvieron resultados similares (13).

En síntesis la no significancia sobre todas las variables consideradas, implica que es factible regar desde 7 a 16 días.

7.3 Uso del agua por el cultivo

7.3.1 Modelo de calibración de la sonda

Anteriormente se describió la metodología de calibración de la sonda de neutrones, a efecto de encontrar por medio del modelo de regresión lineal simple, los valores de consumo hídrico del cultivo:

Se obtuvo un total de 144 parejas de datos (% humedad volumétrica, contaje relativo de la sonda); posteriormente,

con el objetivo de encontrar un modelo o curva que fuera más acorde a la tendencia predominante de la nube de dispersión de puntos originales se descartaron 15 de éstas.

Finalmente se obtuvo el modelo siguiente:

$$\% \text{ humedad volumétrica} = - 3.55 + 20.63 * \text{contaje relativo}$$

$$R^2 = 0.75$$

De acuerdo a los datos anteriores, el coeficiente de regresión obtenido ($R^2 = 0.75$) indica que la humedad determinada gravimétricamente y los conteos relativos de la sonda se encuentran relacionadas aceptablemente; debe observarse que este modelo es general y no considera las variaciones del perfil del suelo.

Obtenido el modelo anterior se estimó la humedad del suelo antes y después de cada riego, para posteriormente hallar ETR y compararla al final con ETM, tal como se presenta en la siguiente sección.

La curva de calibración se encuentra en la figura 3 del anexo; en ésta es importante explicar que del total de parejas obtenidas, 15 de éstas se apartaron de la tendencia de la mayoría (por ejemplo las parejas 701, 702, 909, etc.), razón por la cual no intervinieron para la obtención del

modelo; este es un mecanismo de depuración con mucha orientación estadística, sin embargo consideramos que una buena calibración integra: variación de las técnicas para la obtención de los conteos fijos y conteos relativos, ecuación universal de la sonda y condiciones de obtención, características de los horizontes del suelo, etc.

7.3.2 Láminas regadas calculadas con Penman (ETM) y láminas consumidas o medidas con la sonda (ETR): su relación

Los datos de ETR entre riegos, del día de riego y ETR/período, medidos en el campo con la sonda de neutrones así como los valores estimados de ETM se encuentran en el cuadro 5.

De acuerdo al cuadro 5, en la frecuencia de 13 días, no se tomaron en cuenta los datos del tercer tubo por encontrarlo al final del ensayo con roturas o ranuras, lo que permitió infiltraciones de agua durante el experimento. Los valores de los riegos de uniformización son más importantes en la sección referente al consumo hídrico (ver sección 7.3.3.).

CUADRO 5. LAMINAS REGADAS CALCULADAS CON PENMAN (ETM) Y LAMINAS CONSUMIDAS MEDIDAS CON LA SONDA (ETR).

FREC	RIE	ETR ENTRE RIEGOS				ETR/	ETR/	ETM
	GO	T1	T2	T3	media	día riego	PERI ODO	
F7	1	17.65	19.50	19.20	18.78	3.93	22.71	22.62
	2	20.48	27.05	29.35	25.63	4.50	30.13	25.92
	3	20.92	32.57	30.86	28.12	4.60	32.72	32.86
	4	28.92	30.94	28.78	29.55	4.80	34.35	44.50
	5	43.68	41.36	47.67	44.24	5.00	49.24	44.37
	6	46.29	36.37	43.75	42.14	4.90	47.04	37.82
	7	38.86	33.17	38.47	36.83	5.00	41.83	34.38
	8	36.79	33.17	28.97	32.98	4.50	37.48	34.48
	9	35.89	28.13	32.88	32.30	4.70	37.00	31.06
	10	32.07	34.67	34.02	33.59	4.20	37.79	22.50
F10	1	30.25	30.58	30.17	30.33	3.60	33.93	34.00
	2	25.04	56.78	33.30	38.37	4.60	42.97	41.13
	3	40.45	51.21	54.95	47.87	5.00	52.87	63.62
	4	46.94	73.37	74.46	64.92	4.00	68.92	59.86
	5	39.42	56.28	44.12	46.61	4.00	50.61	48.73
	6	45.97	59.84	16.74	40.85	4.20	45.05	47.21
	7	36.15	41.05	27.95	35.05	4.10	39.15	44.02
F13	1	36.40	34.56		35.46	3.30	38.76	44.02
	2	47.96	49.25		48.61	4.80	53.41	64.78
	3	57.96	62.99		60.48	4.60	65.08	79.87
	4	68.84	62.18		65.51	4.80	70.31	63.63
	5	52.36	43.99		48.18	4.20	52.38	65.70
F16	1	30.62	31.05	29.50	30.39	4.20	34.59	56.80
	2	57.61	62.15	34.98	51.58	4.30	55.88	94.95
	3	73.35	73.24	64.83	70.47	4.20	74.67	86.18
	4	78.96	51.32	45.95	58.74	4.20	62.94	63.01

Referencias: T 1..3 = tubo de acceso de la sonda.

Al realizarse el análisis entre ETR/periodo y ETM tal como se concibió inicialmente en la metodología encontramos los siguientes coeficientes de regresión:

- Y (ETM) 121487
- a) Frecuencia de 7 días = 0.41;
 - b) Frecuencia de 10 días = 0.76;
 - c) Frecuencia de 13 días = 0.57 y
 - d) Frecuencia de 16 días = 0.31.

De estos coeficientes podemos deducir como primera conclusión que la relación de ETM con la ETR se explica de mejor manera en la frecuencia de 10 días; es decir que el suelo mantiene condiciones adecuadas de alimentación hídrica al aplicar este tratamiento no así en los de 7, 13 y 16.

Teóricamente, si existe alimentación hídrica adecuada en las frecuencias de 10 días, debiera ser mayor o cuando menos la misma para una frecuencia más corta como la de 7 días.

No olvidar que ETR siempre va a ser menor o igual a ETM.

La baja relación inicial observada principalmente en la frecuencia de 7 días se debe a que datos de ETR se encuentran muy por encima del valor ETM-Penman.

La presencia de valores más altos de ETR en relación a una ETM-Penman puede deberse a las siguientes causas (en orden de importancias sobre estas desviaciones de ETR):



a) Utilización de un balance hídrico incompleto: en este aspecto es necesario recordar que se utilizó la ecuación siguiente:

$$ETR = - \text{var}(s) + \text{riego}$$

Entonces no se tomaron en cuenta los flujos profundos.

Se debía utilizar:

$$ETR = - \text{var}(s) + \text{riego} - \text{drenaje} = ETR \text{ "real"}$$

Este error es el principal, y como consecuencia nuestros datos tienen muy poca validez a pesar de que hemos trabajado sobre un perfil importante, hasta una profundidad mayor a la de las raíces.

b) Otros posibles errores; pero que a la vez se consideran como despreciables en comparación del anteriormente expuesto; pueden ser:

- Errores en las estimaciones de las humedades con la sonda: los métodos indirectos acumulan errores, y
- Utilización de una fórmula de evapotranspiración potencial y/o de valores de K_c no muy adaptados a la zona. Es el error menos probable.

Para volver a la problemática de los errores ligados a la utilización de un balance hídrico incompleto, podemos hacer el análisis y los comentarios presentados a continuación:

Nuestra ETR medida (ETR "med") es una ETR "aproximada":

$$\text{ETR "med"} = - \text{var}(s) + \text{riego}$$

$$= - \text{var}(s) + \text{riego} + (\text{drenaje} - \text{drenaje})$$

$$= - \text{var}(s) + \text{riego} - \text{drenaje} + \text{drenaje}$$

$$= \text{ETR "real"} + \text{drenaje} = \text{ETR "aproximada"}$$

$$\text{ETR "med"} = \text{ETR "aproximada"}$$

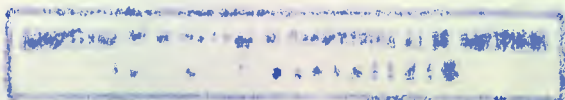
De ahí $\text{ETR "med"} > \text{ETR "real"}$ si $\text{drenaje} > 0$.

Esta ETR "med" puede entonces resultar mayor que nuestro comparador máximo = ETR-máxima = ETM-Penman.

De ahí surge la idea de crear en este trabajo el término ETR "ajustada" de la manera siguiente:

- Si $\text{ETR/periodo} < \text{ETM}$ entonces $\text{ETRajustada} = \text{ETR/periodo}$
- Si $\text{ETR/periodo} > \text{ETM}$ entonces, $\text{ETRajustada} = \text{ETM}$ y, $(\text{ETR/periodo} - \text{ETM}) = \text{excedentes}$ (considerados como cualquiera de las variables no medidas en el balance hídrico considerado, por ejemplo las percolaciones).

Los valores de ETR-ajustada, EXCEDENTES, ETR-aproximada y



ETM se encuentran por riego y frecuencias en el cuadro 6.

CUADRO 6. ETR/PERIODO, ETR AJUSTADA, EXCEDENTES Y ETM POR RIEGO Y POR FRECUENCIA.

FREC. F7	PERIO DO	ETR/PE RIODO	ETM PENMAN	ETR AJUST.	EXCE- DENTE.
	0 A 1	22.62	22.62	22.62	0
	1 A 2	30.13	25.92	25.92	4.21
	2 A 3	32.72	32.86	32.72	0
	3 A 4	34.35	44.50	34.35	0
	4 A 5	49.24	44.37	44.37	4.87
	5 A 6	46.24	37.82	37.82	8.42
	6 A 7	41.13	34.38	34.38	6.75
	7 A 8	36.28	34.48	34.48	1.80
	8 A 9	37.48	31.06	31.06	6.42
	9 A 10	39.79	22.5	22.5	15.29
F10	0 A 1	34.00	34.00	34.00	0
	1 A 2	42.97	41.13	41.13	1.84
	2 A 3	52.87	63.62	52.87	0
	3 A 4	64.92	59.86	59.86	5.06
	4 A 5	50.61	48.73	48.73	1.88
	5 A 6	45.05	47.21	46.05	0
	6 A 7	39.15	44.02	41.15	0
F13	0 A 1	38.76	44.02	38.33	0
	1 A 2	53.41	64.78	53.41	0
	2 A 3	65.08	79.87	67.88	0
	3 A 4	70.31	63.63	63.63	6.68
	4 A 5	52.38	65.70	52.38	0
F16	0 A 1	34.62	56.80	34.62	0
	1 A 2	55.88	94.95	55.88	0
	2 A 3	74.67	86.18	74.67	0
	3 A 4	62.94	63.01	62.94	0

REFERENCIAS: período .. a .. = período de riego
 0 = final riegos de uniformización
 1.. = riegos de las frecuencias

De acuerdo a los datos de este cuadro, es en los riegos de las frecuencias de 7 y 10 días donde existen mayores pérdidas por percolación o EXCEDENTES donde probablemente

con el uso de éstas el agua local puede afectarse a largo plazo.

Para comprobar la validez de la creación del término ETR-AJUSTADA, se practicó un segundo análisis de regresión lineal simple entre estos datos y los de ETM-penman, bajo el cual se obtuvo los siguientes coeficientes de regresión:

- a) frecuencia de 7 días = 0.84;
- b) frecuencia de 10 = 0.85;
- c) frecuencia de 13 días = 0.77, y
- d) frecuencia de 16 días = 0.31.

Esto quiere decir que la relación de ETR y ETM es alta y similar entre las frecuencias 10 y 13 y aumentó de igual manera en la frecuencia 7 (se comprueba la hipótesis 5.3); mientras que una baja relación entre ETR y ETM se mantiene en la frecuencia de 16 días y la alimentación hídrica por parte del suelo en este tratamiento puede seguir interpretándose como baja.

De manera indirecta, esta similitud entre ETR y ETM explica también los efectos no significativos de los tratamientos 7, 10 y 13 sobre cada una de las variables de respuesta consideradas.

Baja relación de ETM (o demanda climática = lo que la planta consume en base a las características de clima) y ETR más periodos "largos" de reposición de agua al suelo como en F16, indica que la sonda estima en este caso un aporte de humedad del suelo que se encuentra por debajo de la RFU y el cultivo va a consumir un valor (ETR) que ya no será máxima ni muy cercana al valor de ETM; sin agua el cultivo no demuestra totalmente su potencial.

En la práctica ocurrieron más pérdidas por percolación profunda o "EXCEDENTES" de lo que se pretende explicar con la creación de la "ETR-Ajustada"; de hecho en la metodología básica de riego consideramos láminas máximas de riego = ETM, la cual no siempre el cultivo consume normalmente: ver cuadro 6: riegos 2 y 3 en F16 donde en la práctica cada vez que ETR-ajustada es menor que ETM se produjeron percolaciones al momento de regar.

Finalmente se puede considerar la creación del término ETR "ajustada" como un "EJERCICIO DE ESTILO" que más que todo pretende llamar nuestra atención sobre los posibles errores que se pueden cometer, en particular la de no usar un balance hídrico correcto. Sin embargo aunque no pretendemos explicar todo a través de éste término, sin perder de vista los errores cometidos en las mediciones de las humedades, la ETR "Ajustada" si puede ser útil para explicar en gran parte

las diferencias grandes entre ETR y ETM en general (siendo las causas en este caso la textura del suelo y las características de la planta a lo largo de su ciclo).

7.3.3 Efecto de las láminas consumidas y número de riegos sobre el cultivo

En el cuadro 7, puede observarse el número de riegos y las láminas de agua consumidas por el cultivo del tomate, bajo dos métodos de control de humedad en los diferentes tratamientos.

CUADRO 7. CONSUMO HIDRICO DEL CULTIVO ESTIMADO CON LA FORMULA DE PENMAN (ETM; mm) Y CON LA SONDA DE NEUTRONES (ETR-AJUSTADA; mm).

FREC.	F7		F10		F13		F16	
LAM.	ETR	ETM	ETR	ETM	ETR	ETM	ETR	ETM
estab	52.54	52.54	52.54	52.54	52.54	52.54	52.54	52.54
r 1	22.62	22.62	34.00	34.00	38.76	44.07	34.62	56.80
r 2	25.92	25.92	41.13	41.13	53.41	64.78	57.88	94.95
r 3	32.72	32.86	52.87	63.62	60.08	79.87	74.67	86.18
r 4	34.35	44.50	59.86	59.56	63.63	63.63	62.94	92.45
r 5	44.37	44.37	48.73	48.73	52.38	65.7		
r 6	37.82	37.82	45.05	47.21		—		
r 7	34.38	34.38	39.15	44.02				
r 8	34.48	34.48						
r 9	31.06	31.06						
r 10	22.50	22.50						
final								
corte	19.82	19.82	16.38	19.85	30.99	35.7	30.54	37.76
total	392.6	402.9	390.2	410.7	351.8	406.3	313.2	410.68

Referencias: r1..10 = número de riego; estab = período de riegos de establecimiento del cultivo; final corte = período que comprende del último riego a final de la cosecha; total = consumo por ciclo de cultivo.

Observaciones importantes acerca del comportamiento de ETR-ajustada y valores de la ETM en el cuadro 7 son las siguientes:

1. En los primeros riegos tanto los valores de ETR y ETM pueden ser muy cercanos entre sí debido a que el cultivo por su escaso estado de desarrollo no necesita absorber demasiada agua.

2. Los valores de ETR descienden más agresivamente a partir del segundo y tercer riego (observable principalmente en la frecuencia de 16), porque estos periodos corresponden a la época de floración y fructificación o de mayores necesidades hídricas del cultivo.

De acuerdo a los datos del cuadro 7 anterior, respecto del consumo hídrico del cultivo se presentan diferencias significativas entre los valores de ETR y ETM al final del ciclo en las frecuencias de 10, 13 y 16 debido a factores del suelo y de la planta, además a impresiones prácticas como cálculo de las ETM diarias.

Bajo estas condiciones, finalmente el cultivo es sometido a una alta demanda climática (ETM) y no pudo consumir una ETR cercana a ETM, pero si lo obliga a consumir valores de ETR mayores al de la RFU (= 70.78 mm) del suelo (principalmente

en la frecuencia 16).

Debido a la metodología de riego adoptada, los datos de ETM por ciclo deberían ser iguales en todas las frecuencias (equivalente a aproximadamente 395 mm), sin embargo las diferencias se deben principalmente a imprecisiones prácticas (por ejemplo cálculo de las ETM diarias).

Los valores de ETR por ciclo de cultivo son lógicamente diferentes a los obtenidos en el primer ensayo (cuyos valores son: en F7 = 302.1; F10 = 322.33; F13 = 281.36 y F16 = 314.43 mm) (13), las diferencias se deben principalmente a las distintas condiciones climáticas presentes en cada época de siembra, al comportamiento de consumo hídrico de cada híbrido utilizado y, a diferencias de almacenamiento entre una textura franca con presencia de arcillas alófanas y arenosa (como la del primer ciclo) (13) e imprecisiones ya mencionadas anteriormente.

7.3.4 Agotamiento de la humedad aprovechable del suelo

El resumen de los resultados obtenidos por frecuencia se presentan en el cuadro 8 siguiente.

CUADRO 8. PORCENTAJE DE AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN EL ESTRATO DE 0 a 60 cm POR RIEGO Y POR FRECUENCIA.

PER\FREC	F7	F10	F13	F16
0 A 1	36.81	33.42	32.61	33.22
1 A 2	24.76	34.94	32.26	33.27
2 A 3	28.98	33.48	33.19	35.39
3 A 4	27.62	35.05	33.48	
4 A 5	28.47	36.56		
5 A 6	29.66	32.67		
6 A 7	30.41			
7 A 8	27.42			
8 A 9	29.39			

REFERENCIAS: PER = período completo de riego
 0 = final riegos uniformizacion
 ..A.. período entre riegos

De acuerdo a los resultados del cuadro 8, el porcentaje es similar y relativamente constante en todos los riegos (menor del 50 %); sin observar por lo tanto mucha diferencia entre frecuencias ni entre las diferentes etapas del cultivo; no ocurriendo relación similar entre los datos obtenidos en el primer ciclo de siembra (13).

Este comportamiento puede explicarse con lo siguiente:

El suelo presentó una textura franca en los estratos superiores (ver cuadro 10 del anexo), además se le estimó (con los datos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente; ver cuadro 8 del anexo) una reserva útil (RU) de aproximadamente 102 mm, por lo tanto con una reserva fácilmente utilizable (RFU) equivalente al 66 % (= 70.78 mm

mayor al 35 % de agotamiento de la humedad obtenido), corresponde teóricamente este valor al porcentaje de agotamiento de la humedad abajo del cual no existirá ninguna disminución del rendimiento del cultivo por falta de agua tal como ocurrió en el presente trabajo, donde los rendimientos son estadísticamente similares aún en la frecuencia 16.

En función de las causas antes mencionadas y para el tratamiento de 16 días en el primer ciclo de siembra (siendo la textura del suelo arenosa) el porcentaje de agotamiento de la humedad si fue mayor del 50 % (13); mientras que en este trabajo no son mayores de este porcentaje.

Los resultados del cuadro 8 se encuentran ilustrados en las figuras 4, 5, 6 y 7 del anexo.

7.4 Coeficientes "C" de cultivo referidos al tanque tipo "A"

Mencionado en el informe del primer ciclo de siembra que estos coeficientes tienen importancia práctica (13), sobre todo cuando se puede contar con valores de evaporación (EV) de un tanque evaporímetro a nivel de finca, se procedió igualmente en este trabajo a estimarlos relacionando los máximos valores de ETR semanales; es decir ETR-sonda de la frecuencia de 7 días; con los valores semanales de EV.

De esta manera los coeficientes estimados por etapa fenológica son los siguientes:

- Desarrollo vegetativo (transplante - 3a semana) = 0.80
- Floración (4a - 7a semana) = 1.00
- Fructificación (8a - 10a semana) = 0.83
- Cosecha (11a - 13a semana) = 0.76

De los resultados anteriores es posible afirmar que los mismos siguen una tendencia a aumentar hacia la floración y fructificación, presentando los valores menores en la etapa de desarrollo vegetativo y durante la cosecha; tienen una evolución lógica.

Aunque esta misma tendencia se observa en los coeficientes obtenidos en el primer ciclo de siembra (desarrollo vegetativo = 093; floración = 112; fructificación = 120; cosecha = 083)(13), los coeficientes obtenidos durante este trabajo son menores en cada una de las etapas.

8 CONCLUSIONES

8.1 La aplicación de riego en los diferentes intervalos evaluados no tienen ninguna influencia sobre las variables rendimiento de fruto comercial y no comercial, calidad industrial del fruto y mortalidad de plantas.

8.2 Los rendimientos promedio de fruto comercial obtenidos para las frecuencias 7, 10, 13 y 16 días en TM/Ha son respectivamente los siguientes: 40.77, 39.01, 39.31 y 32.42 los cuales son estadísticamente similares.

8.3 De los análisis practicados sobre los resultados de las variables de respuesta se puede concluir que para las condiciones de una segunda época de siembra en el parcelamiento, la frecuencia de 16 días puede ser utilizada en el cultivo, sin disminuir ostensiblemente el rendimiento y calidad industrial del fruto.

8.4 Las láminas calculadas a través de la fórmula de Penman y Kc de la FAO (ETM), y, las láminas consumidas por el cultivo medidas con la sonda de neutrones (ETR), fueron comparadas mediante un análisis de regresión lineal simple, determinándose que existe una adecuada relación en la frecuencia de 10, 7 y 13 días, no así en la frecuencia de 16 días.

8.5 Valores similares de ETR y ETM en F7 se debe a factores del suelo (alta alimentación hídrica en función de la textura y reserva fácilmente utilizable) y estado de desarrollo sano de la planta.

8.6 La estimación de valores mayores de ETR medidos con la sonda, que valores de ETM calculados con Penman se debe a varios factores entre los que podemos mencionar el principal: utilización de un balance hídrico utilizado.

8.7 de manera general el mayor consumo de agua se da en las etapas fenológicas de floración y fructificación sin que la humedad aprovechable del suelo se agote más allá del 50 % en el estrato de 0 a 60 cm. El uso de intervalos cortos de riego han provocado un mayor consumo al final del ciclo del cultivo.

8.8 Los coeficientes "C" obtenidos de la relación evapotranspiración real máxima/evaporación del tanque tipo A encontrados para las diferentes etapas fenológicas del cultivo son de 0.81 durante el desarrollo vegetativo, 1.00 en la floración, 0.83 en la fructificación y 0.74 en la fase de cosecha.

9 RECOMENDACIONES

9.1 De acuerdo al análisis estadístico que demostró que el rendimiento y calidad industrial entre tratamientos son iguales y de acuerdo a la relación entre ETM, ETR y RFU, se recomienda regar el cultivo del tomate en la época de enero a abril, cada 16 días. Por cuestiones prácticas del manejo del agua en una unidad de riego, se recomienda regar cada 14 días, que es igual a dos semanas.

9.2 Considerando la imprecisión de los datos obtenidos (medidos) de evapotranspiración real (ETR), se recomienda trabajar utilizando balances hídricos completos (tomando en cuenta los flujos profundos); lo que implica desarrollar estudios de drenaje interno; y siempre considerar una profundidad de suelo mayor a la de las raíces.

9.3 Se recomienda más investigaciones que generalicen el uso de la sonda de neutrones y el método de Penman que son actualmente poco conocidos y poco usados en el país.

9.4 Se deben hacer estudios con este mismo material en los dos ciclos de siembra, para darle mayor consistencia a la investigación acerca del riego y darle mayor consistencia a los coeficientes C de cultivo encontrados.

9.5 Cuando ya existan parámetros para cuantificar el gasto del agua de riego se recomienda realizar análisis económico de las frecuencias de riego y láminas de consumo.

9.6 Se debe contemplar en estudios futuros el impacto ambiental que el uso de frecuencias de riego inadecuadas puedan provocar sobre los microorganismos del suelo y sobre la capa freática.

9.7 Se recomienda encontrar mejores dispositivos experimentales para regar láminas más precisas de riego y de igual manera controlarlas mejor a nivel del suelo para este tipo de investigaciones y mejorar las calibraciones de la sonda neutrónica.

10 BIBLIOGRAFIA

- 10.1 ANDRINO ALVAREZ, L. 1984. Determinación experimental de la evapotranspiración en tomate (Lycopersicon esculentum L.) y evaluación del efecto de cinco frecuencias de riego y verificación de la adaptabilidad de fórmulas empíricas para estimación de evaporación en el Oasis, La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 99 p.
- 10.2 BARILLAS KLEE, E. 1983. Determinación experimental de la evapotranspiración en tomate y melón en el valle de La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 69 p.
- 10.3 CRUZ S., J.R. DE LA 1976. Clasificación de zonas de vida de Guatemala basada en el sistema de Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 24 p.
- 10.4 DOOREMBOS, J.; KASSAM, A.H. 1979. Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma, FAO. Riego y Drenaje no. 33. 212 p.
- 10.5 GRASSI, C.J. 1975. Estimación de los usos consuntivos del agua y requerimientos con fines de formulación y diseño de proyectos: criterios y procedimientos. Venezuela, CIDIAT. Riego y Drenaje, no. RD-8. 78 p.
- 10.6 ----- 1978. Aspectos metodológicos para la determinación experimental de la evapotranspiración y la frecuencia de riego. Venezuela, CIDIAT. Riego y Drenaje no. RD-26. 88 p.
- 10.7 ISRAELSEN ORSON, W.; HANSEN E., V. 1975. Principios y aplicaciones del riego. 3 ed. España, Reverté. 396 p.
- 10.8 JIMENEZ O., F. 1989. Agua en el suelo. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 28 p.

- 10.9 -----; ALMENDAREZ M., H. 1986. Necesidades de agua y riego de los cultivos en las regiones sur y centro occidental de Honduras. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 39 p.
- 10.10 MARAUX, F. 1983. El agua del suelo; balance hídrico. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 20 p.
- 10.11 OLIVA CERMENO, E. 1986. Efecto de seis frecuencias de sobre el rendimiento y evapotranspiración del tomate (Lycopersicon sculentum L.) en la unidad de riego El Progreso. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 95 p.
- 10.12 OROZCO GODINEZ, M. E. 1987. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración en tomate (Lycopersicon sculentum L.) en la unidad de riego de San Jerónimo, Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 95 p.
- 10.13 PEREZ MELGAR, A. 1991. Evaluación de cuatro frecuencias sobre la producción y evapotranspiración real del tomate (Lycopersicon sculentum L.) utilizando los métodos de Penman y la sonda de neutrones, en Cuyuta, Masagua, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 78 p.
- 10.14 RABIN, S.; GRAN, R.; BAGG, J. s.f. Cultivo del tomate. Guatemala, Ministerio de Agricultura. 24 p.
- 10.15 SANDOVAL ILLESCAS, J.E. 1986. Resumen de la investigación realizada en frecuencias de riego y evapotranspiración de 1982 a 1987. Tikalia (Gua.) 8(1):79-98.
- 10.16 SIMMONS, CH.; TARANO, J.; PINTO, J.H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra. p. 640-641.

- 10.17 SOBERANIS L., J.L. 1983. Efecto de la frecuencia de riego en los rendimientos y la medición de evapotranspiración en tomate (Lycopersicon sculentum L.), en la unidad de riego Rancho-Jícaro. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 70 p.
- 10.18 WITHERS, B.; VIPOND, S. 1983. El riego: diseño y práctica. Trad. Agustín Contín. México, D.F., Diana. 350 p.
- 10.19 ZEA MORALES, J.L. 1985. Efecto de cinco frecuencias de riego sobre el rendimiento y la evapotranspiración en el cultivo del tomate (Lycopersicon sculentum L.) en un suelo de la serie Chicaj del valle de la Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 78 p.

Vo. Bo.



Ratualle

ANEXO

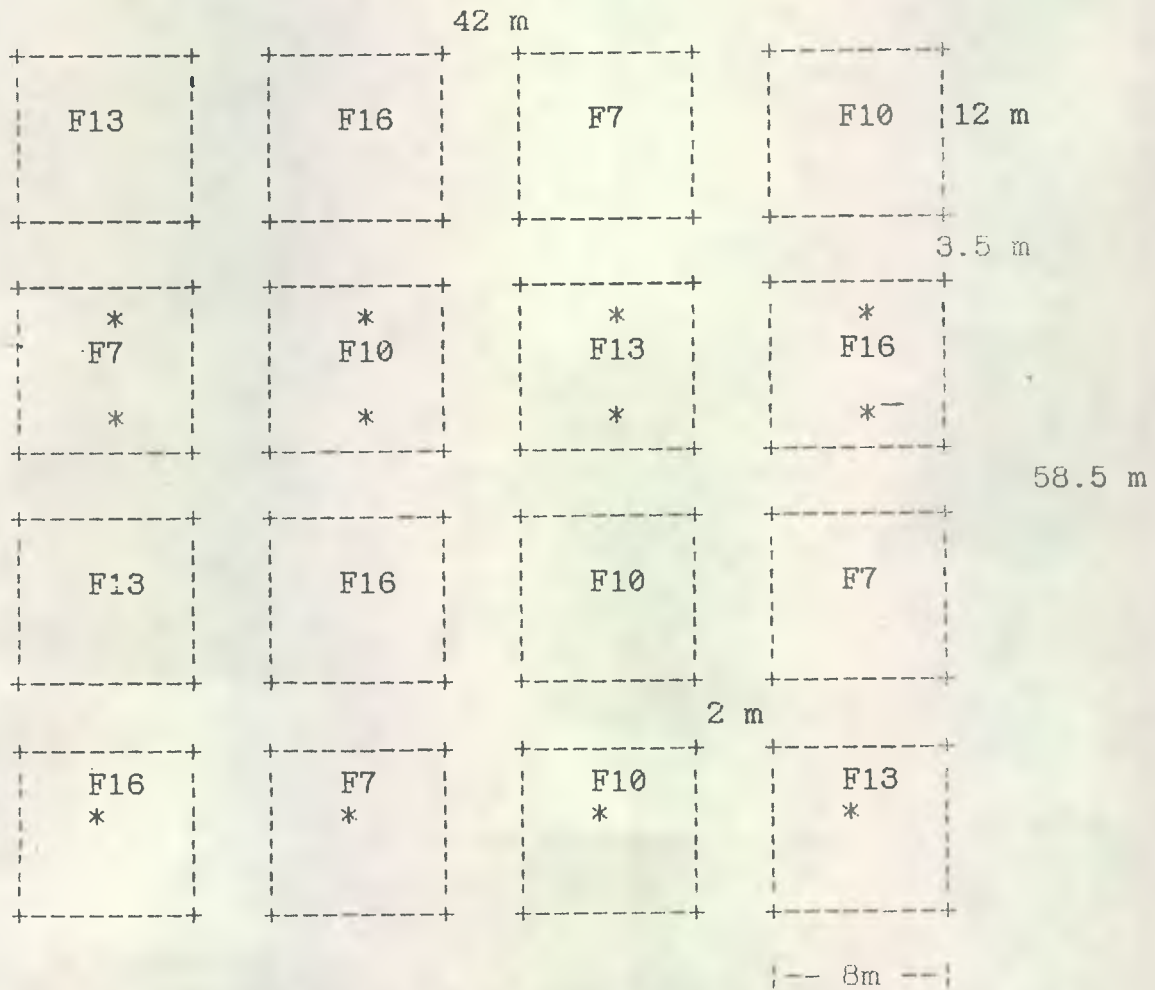


FIGURA 1. CROQUIS DE CAMPO Y ALEATORIZACION DE LOS TRATAMIENTOS.

REFERENCIAS: * = colocacion tubos de sonda.

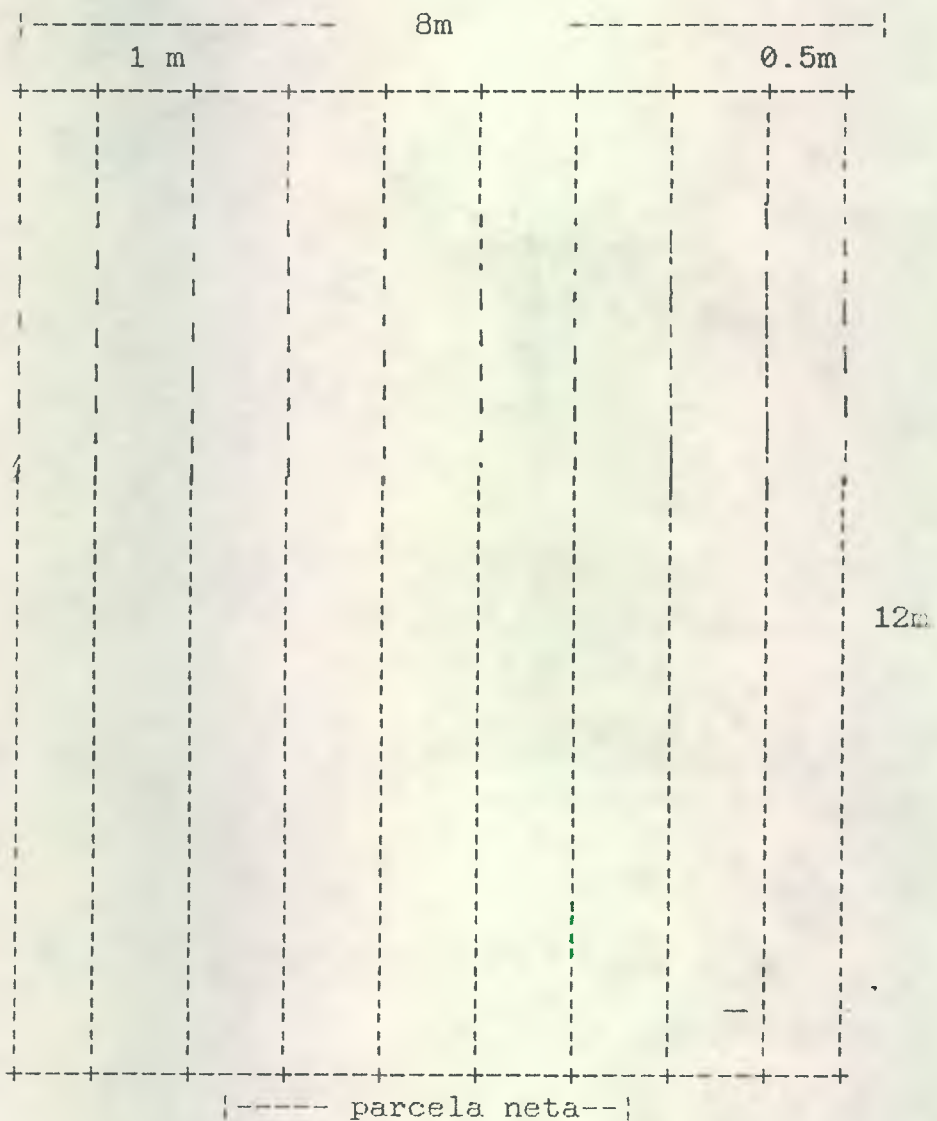


FIGURA 2. DIMENSIONES DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL.

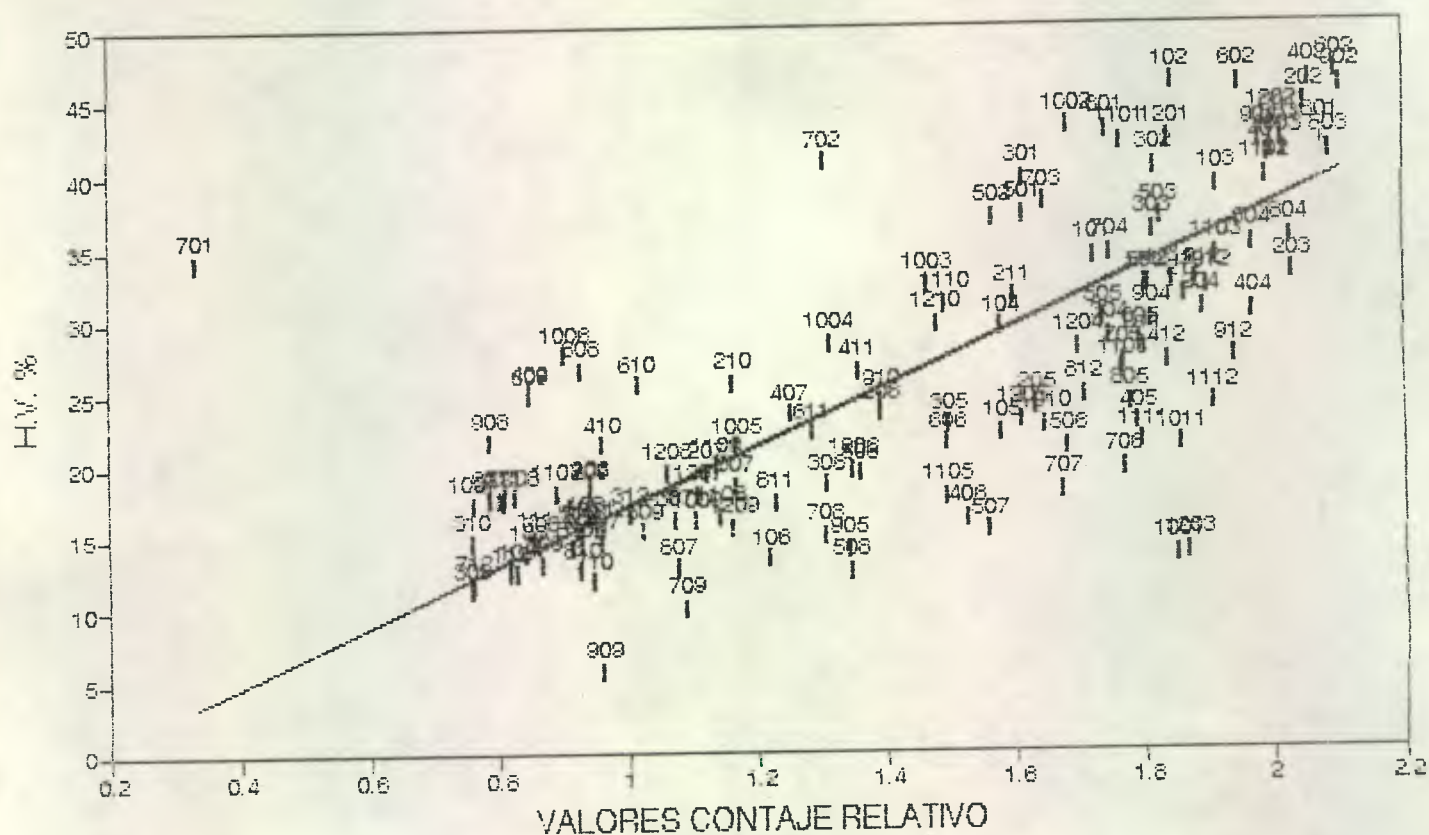


FIGURA 3. CURVA DE CALIBRACION DE LA
SONDA CPN-503. ICTA-CUYUTA. 1991

CUADRO 9. DATOS CLIMATICOS MEDIOS MENSUALES OBSERVADOS.

factor/mes	enero	febrero	marzo	abril
temperatura (centígrados)	26.36	25.82	27.06	27.38
insolación (horas)	8.59	9.61	8.77	5.42
humedad relativa (%)	67.91	74.09	68.74	66.19
recorrido viento (m/s)	0.88	0.99	1.09	0.99
evapot. pot. (mm/día) *	3.92	4.52	5.12	4.62
evapot. máxima (mm/día) *	3.14	3.78	5.66	3.59
evaporación (mm/día)	4.34	4.89	6.07	4.96

fuentes: estación meteorológica ICTA-Cuyuta.

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

CUADRO 10. PARAMETROS FISICOS CON- FINES DE RIEGO ICTA-CUYUTA, ENERO A ABRIL DE 1991.

ESTRATO (cm).	textura	CC (% w)	PMP (% w)	% MO	pH	densidad aparente	presencia alofanos
0 a 30	FA-F	37.22	21.25	5.02	6.8	1.07	+
		37.09	20.9			1.17	
						1.11	
						1.03	
30 a 65	FA-F	33.08	12.58	2.93	6.8	1.18	+
		33.08	12.36			1.11	
65 a 95	FA	24.38	9.41	-	6.8	1.36	+
						1.29	
						1.20	
95 a más	ARE NA	5.72	4.3	-m	6.9	1.44	+
						1.29	

fuentes: Laboratorio de suelos de DYRIA

referencias: FA = textura franco-arenosa; F = tendencia
textura franca.

CUADRO 11. CONCENTRACION Y NIVELES DE NUTRIENTES.

ELEMENTO	CONCENT. (mg/Kg)	NUTRIENTE (Kg/Ha)	NIVEL
nitrogeno	28.22	200	adecuado
fosforo	10.61	70	bajo
potasio	209.2	150	alto
calcio	214.41	0	adecuado
magnesio	327.31	0	adecuado
azufre	< 5	25	-
boro	< 0.1	0.58	-
cobre	1.35	0	adecuado
hierro	11.85	0	adecuado
manganeso	4.97	0	adecuado
zinc	1.13	0	adecuado
aluminio	< 6	-	bajo

Fuente: laboratorio análisis de suelo ICTA.

CUADRO 12. RESULTADOS DE FRUTO COMERCIAL (TM/ha)
POR UNIDAD EXPERIMENTAL.

TRAT/BLOQ	1	2	3	4	MEDIA
F7	30.659	43.583	39.381	49.479	40.775
F10	23.027	38.833	45.853	48.327	39.012
F13	18.847	45.306	43.909	49.201	39.310
F16	19.188	32.149	36.833	41.792	32.471
MEDIA	22.930	39.967	41.494	47.184	37.894

CUADRO 13. RESULTADOS DE FRUTO NO COMERCIAL (TM/ha) POR
UNIDAD EXPERIMENTAL.

TRAT/BLOQ	1	2	3	4	MEDIA
F7	0.972	0.604	1.437	1.583	1.149
F10	1.187	0.625	0.562	1.417	0.947
F13	1.076	0.708	0.84	0.701	0.831
F16	1.174	0.535	0.337	2.09	1.034
MEDIA	1.10225	0.618	0.794	1.44775	0.99025

CUADRO 14. RESULTADOS GRADOS BRIX (3er. corte) OBTENIDO POR FRECUENCIA Y POR REPETICION.

TRAT/BLOQ	1	2	3	4	MEDIA
F7	4.8	4.4	4.8	4.6	4.65
F10	5	4.2	4.7	4.4	4.575
F13	4.5	4.8	4.7	4.5	4.625
F16	4.8	4.5	4.7	4.6	4.65
MEDIA	4.775	4.475	4.725	4.525	4.625

CUADRO 15. PORCENTAJE DE ACIDEZ DEL FRUTO OBTENIDO POR BLOQUE Y TRATAMIENTO.

TRAT/BLOQ	1	2	3	4	MEDIA
F7	0.48	0.45	0.49	0.46	0.47
F10	0.57	0.51	0.49	0.54	0.5275
F13	0.64	0.49	0.52	0.61	0.565
F16	0.64	0.55	0.46	0.44	0.5225
MEDIA	0.5825	0.5	0.49	0.5125	0.52125

CUADRO 16. PORCENTAJE DE PECTINA OBTENIDO POR BLOQUE Y POR TRATAMIENTO.

TRAT/BLOQ	1	2	3	4	MEDIA
F7	0.23	0.17	0.21	0.2	0.2025
F10	0.19	0.19	0.17	0.2	0.1875
F13	0.25	0.15	0.18	0.1	0.1700
F16	0.15	0.18	0.16	0.2	0.1725
MEDIA	0.205	0.1725	0.18	0.175	0.1831

CUADRO 17. RESULTADOS POR UNIDAD EXPERIMENTAL, PORCENTAJE DE PULPA DEL FRUTO.

TRAT/BLOQ	1	2	3	4	MEDIA
F7	38	36	42	40	39
F10	38	42	40	36	39
F13	42	38	40	38	39.5
F16	36	38	36	40	37.5
MEDIA	38.5	38.5	39.5	38.5	38.75

CUADRO 18. RESULTADOS POR UNIDAD EXPERIMENTAL pH DEL FRUTO.

TRAT/BLOQ	1	2	3	4	MEDIA
F7	4	3.9	4.1	3.9	3.975
F10	4.1	4	4.15	3.9	4.037
F13	4.15	4.1	4.1	4	4.087
F16	4.1	4.1	3.9	3.9	4.000
MEDIA	4.0875	4.025	4.0625	3.925	4.025

CUADRO 19. NUMERO DE PLANTAS COSECHADAS POR BLOQUE Y POR TRATAMIENTO.

TRAT/BLOQ	1	2	3	4	MEDIA
F7	120	130	136	133	129.75
F10	122	132	128	137	129.75
F13	130	131	133	141	133.75
F16	125	126	127	137	128.75
MEDIA	124.25	129.75	131	137	130.5

CUADRO 20. RESULTADOS ANALISIS DE VARIANZA DE FRUTO COMERCIAL (TM/ha).

FUENTE VARIACION	G. L	S. C.	C. M.	F. CAL	F. TAB
BLOQUES	3	1309.91	436.64		
TRATAMIENTOS	3	163.75	54.58	3.12	3.86 NS
ERROR EXP.	7	122.08	17.44		
TOTAL	13	1595.74			

Coefficiente de variación = 10.31 %.

CUADRO 21. ANALISIS DE VARIANZA RENDIMIENTO DE FRUTO NO COMERCIAL (TM/ha).

FUENTE VARIACION	G. L	S. C.	C. M.	F. CAL	F. TAB
BLOQUES	3	1.596	0.532		
TRATAMIENTOS	3	0.218	0.072	0.434	NS 3.86
ERROR EXP.	9	1.496	0.166		
TOTAL	15	3.308			

Coefficiente de variación = 41.15 %.

CUADRO 22. ANALISIS DE VARIANZA GRADOS BRUX DEL FRUTO.

FUENTE VARIACION	G. L.	S. C.	C. M.	F. CAL	F. TAB
BLOQUES	3	0.21	0.07		
TRATAMIENTOS	3	0.025	0.08	0.016	NS 3.86
ERROR EXP.	9	0.465	0.05		
TOTAL	15	0.7			

Coefficiente de variación = 2.72 %.

CUADRO 23. ANALISIS DE VARIANZA PORCENTAJE DE PULPA DEL FRUTO

FUENTE VARIACION	G. L.	S. C.	C. M.	F. CAL	F. TAB
BLOQUES	3	3	1		
TRATAMIENTOS	3	9	3	0.46	NS 3.86
ERROR EXP.	9	59	6.56		
TOTAL	15	71			

Coefficiente de variación = 6.61 %.

CUADRO 24. ANALISIS DE VARIANZA (%) ACIDEZ (3er. CORTE).

FUENTE VARIACION	G. L.	S. C.	C. M.	F. CAL	F. TAB
BLOQUES	3	0.021	0.007		
TRATAMIENTOS	3	0.018	0.006	2	NS 3.86
ERROR EXP.	9	0.024	0.003		
TOTAL	15	0.063			

Coefficiente de variación = 10.51 %.

CUADRO 25. ANALISIS DE VARIANZA PORCENTAJE DE PECTINA DEL FRUTO.

FUENTE VARIACION	G. L.	S. C.	C. M.	F. CAL	F. TAB
BLOQUES	3	0.00253	0.0008		
TRATAMIENTOS	3	0.00105	0.0003	0.389	NS 3.86
ERROR EXP.	9	0.0084	0.0009		
TOTAL	15	0.0118			

Coefficiente de variación = 16.22 %.

CUADRO 26. ANALISIS DE VARIANZA pH DEL FRUTO (3er. CORTE)

FUENTE VARIACION	G. L.	S. C.	C. M.	F. CAL	F. TAB
BLOQUES	3	0.0612	0.0204		
TRATAMIENTOS	3	0.0278	0.009	1.5	NS 3.86
ERROR EXP.	9	0.0551	0.006		
TOTAL	15	0.145			

Coefficiente de variación = 1.92 %.

CUADRO 27. ANALISIS DE VARIANZA NUMERO DE PLANTAS COSECHADAS.

FUENTE VARIACION	G. L.	S. C.	C. M.	F. CAL	F. TAB
BLOQUES	3	328.5	109.5		
TRATAMIENTOS	3	59	19.67	1.69	NS 3.86
ERROR EXP.	9	104.5	11.61		
TOTAL	15	3.308			

Coefficiente de variación = 2.62 %.

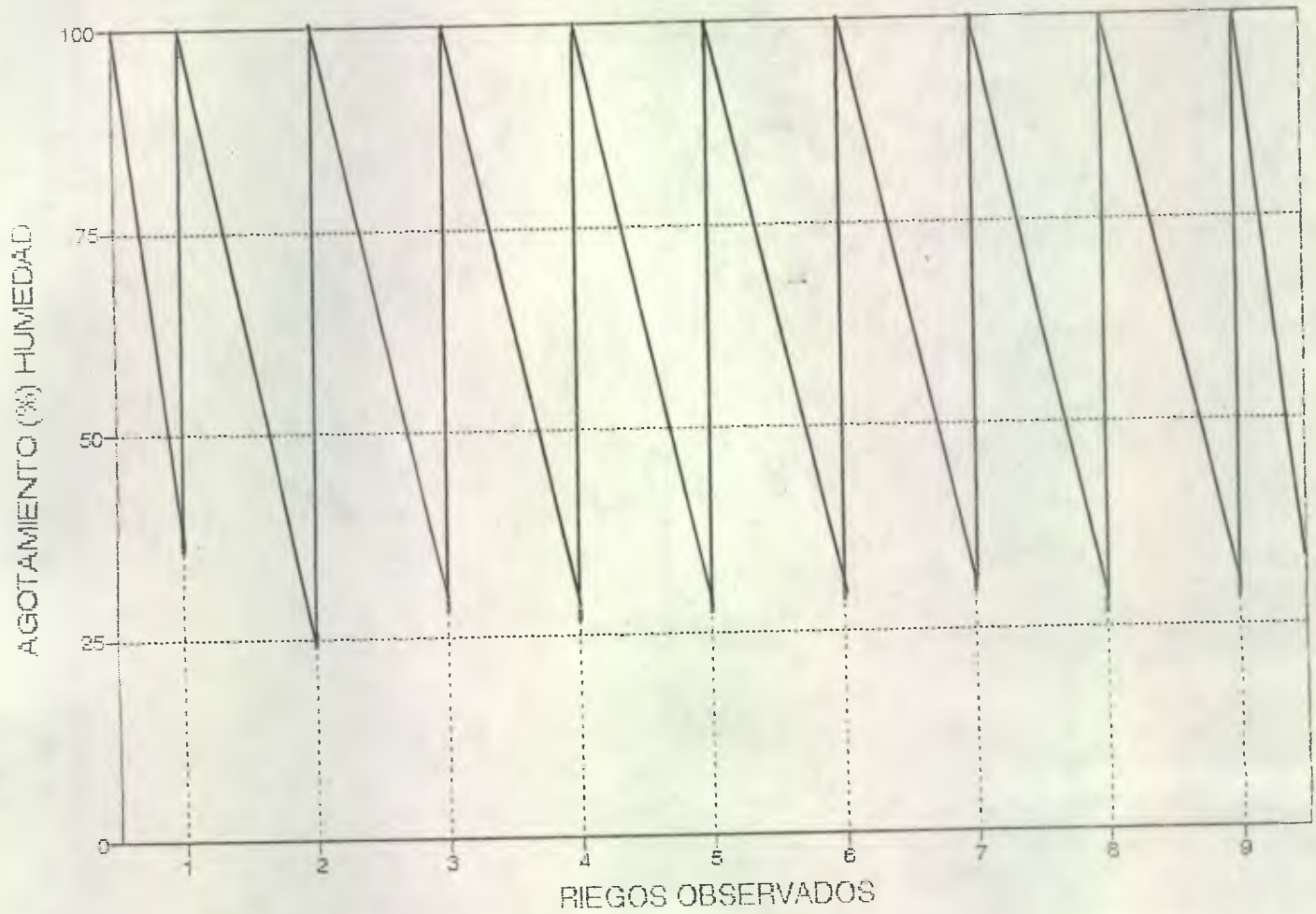


FIGURA 4. AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD EN LA FRECUENCIA DE 7 DIAS.

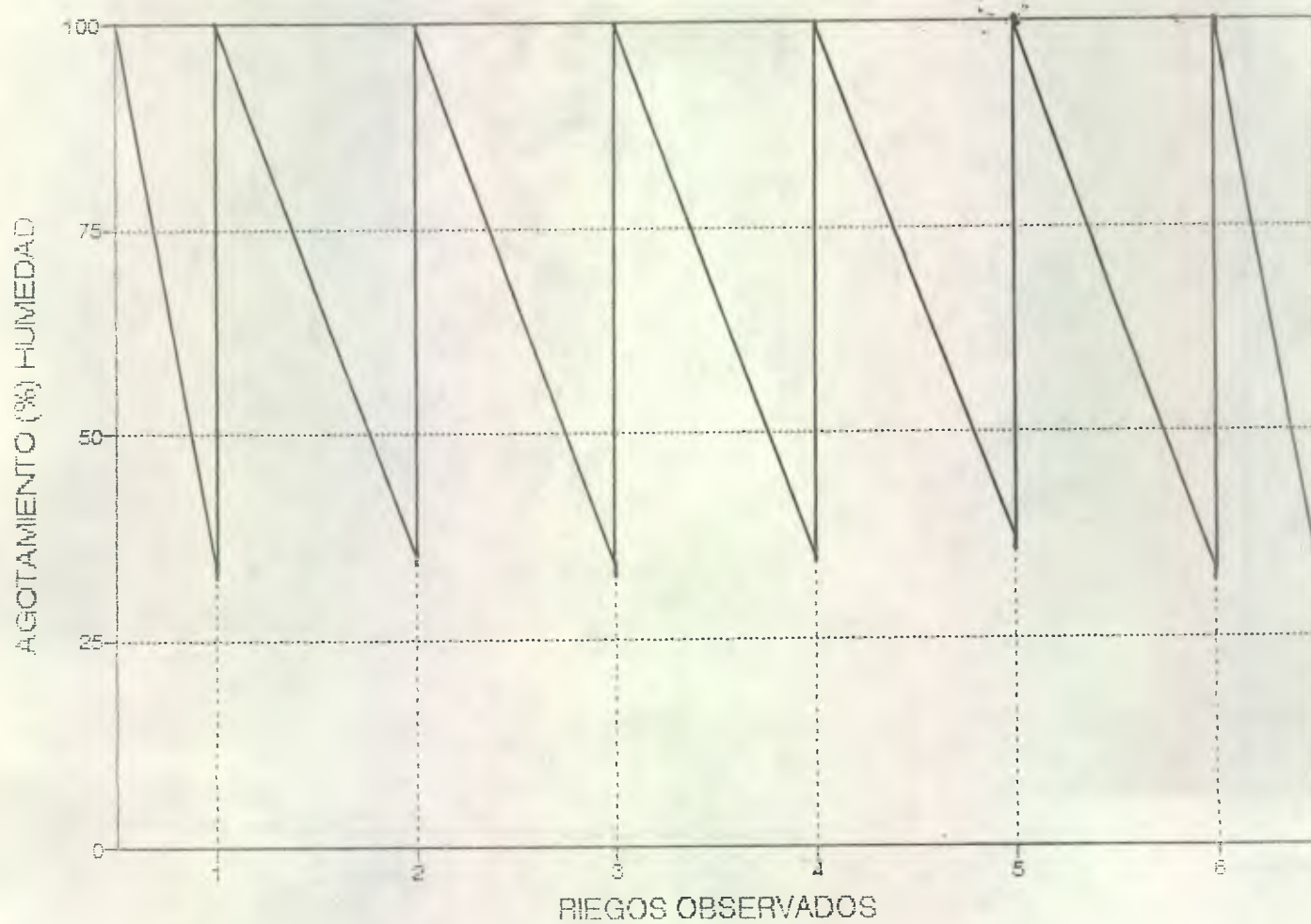


FIGURA 5. AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD EN LA FRECUENCIA DE 10 DIAS.

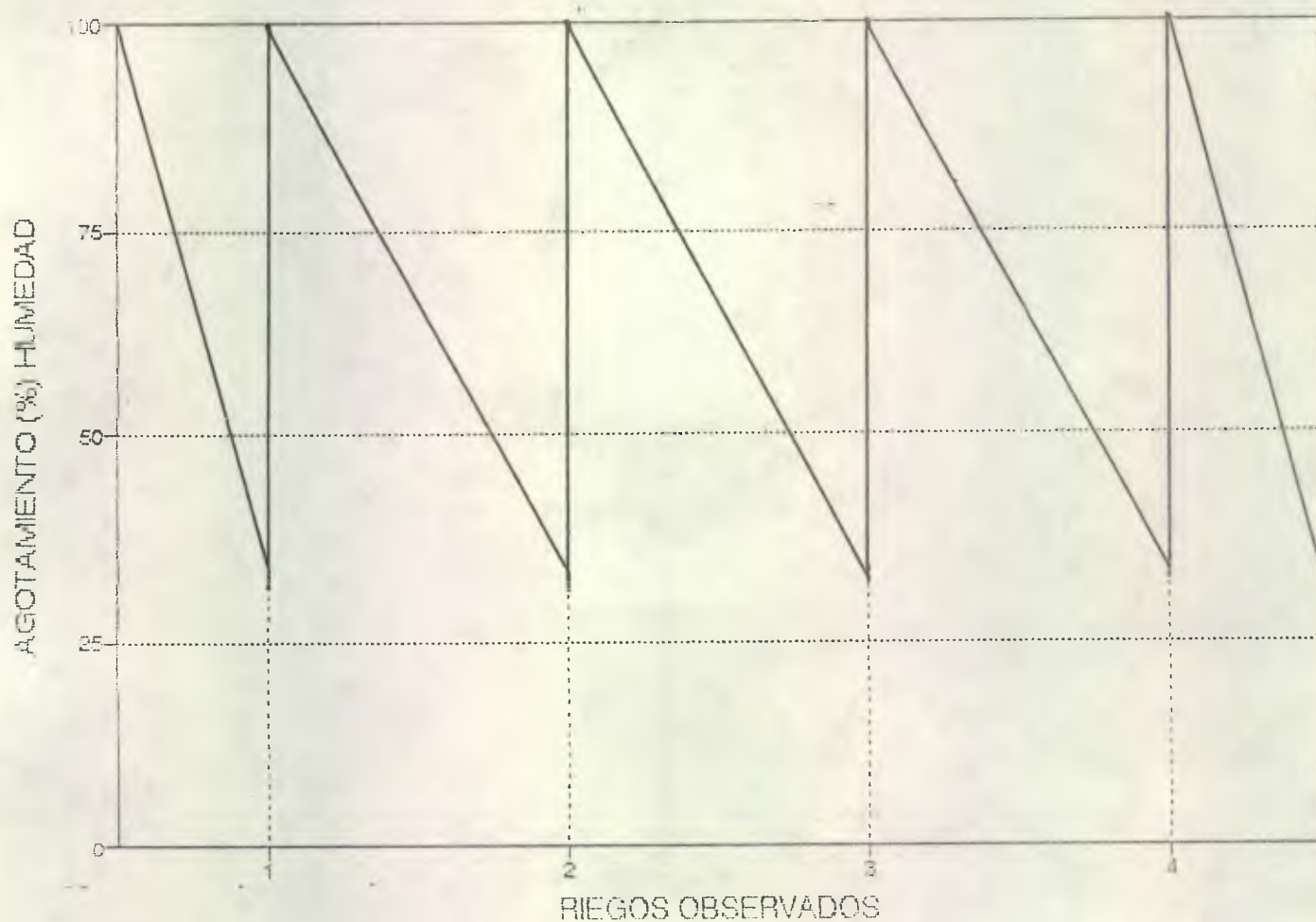


FIGURA 6. AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD EN LA FRECUENCIA DE 13 DIAS.

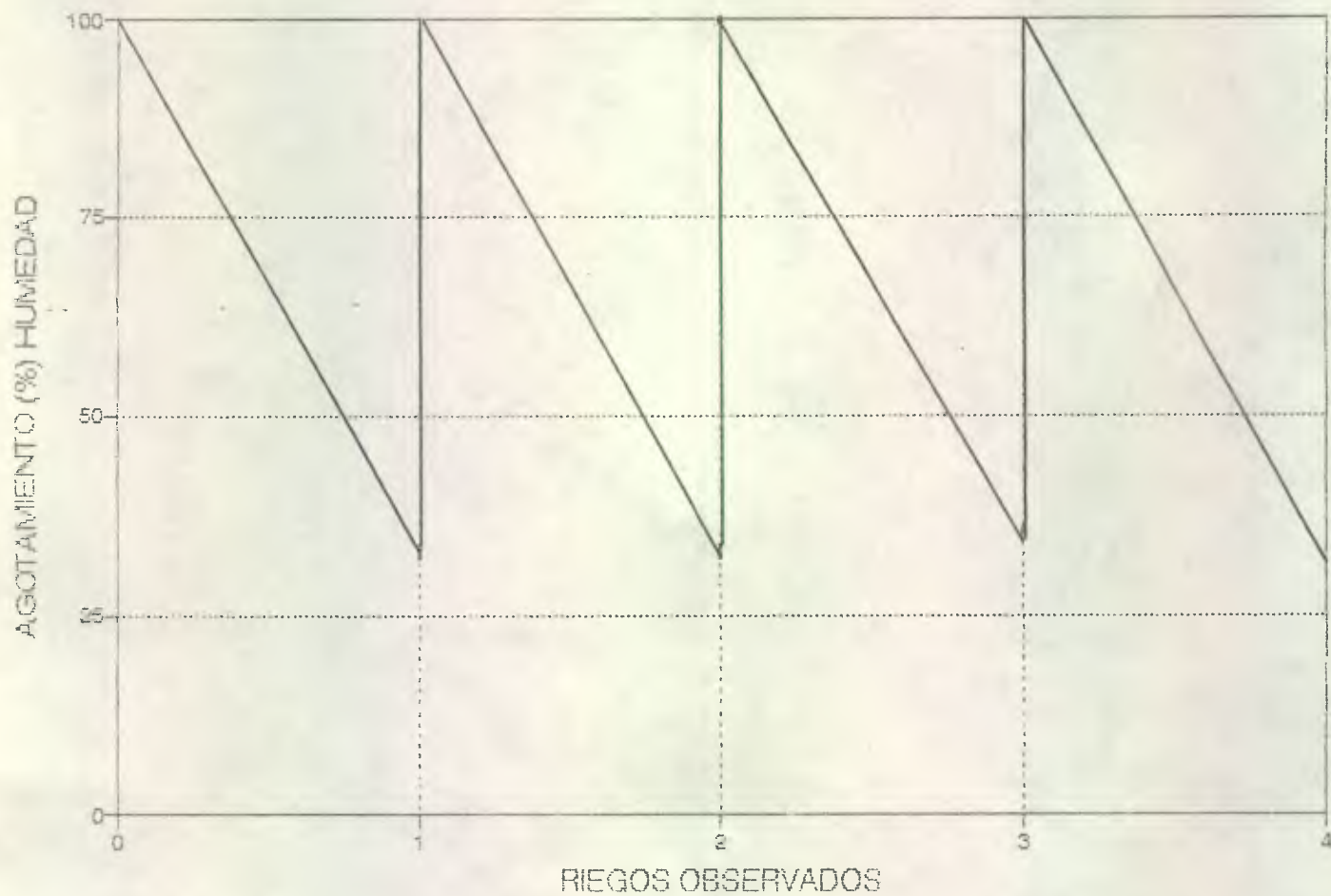


FIGURA 7. AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD
EN LA FRECUENCIA DE 16 DIAS

CALIBRACION DE CAMPO DE UN MEDIDOR DE HUMEDAD Y PESO VOLUMETRICO USANDO FUENTES RADIOACTIVAS.

Dr. Benjamín Figueroa Sandoval
 Dr. Mario R. Martínez Menez
 M.C. Baltazar Cuevas Renaud
 Colegio Postgraduados, Chapingo, México

La técnica para medir humedad y peso volumétrico utilizando fuentes radioactivas se desarrolló en los años cincuenta y se ha convertido en un método confiable para monitorear la humedad del suelo.

Las ventajas de este método son:

- Es poco laborioso;
- Es rápido;
- Permite mediciones continuas no destructivas, en una misma localidad y profundidad del suelo y,
- Es prácticamente independiente de la presión y humedad del ambiente.

Las desventajas son:

- Su alto costo inicial;
- Grado de resolución bajo;
- Es difícil medir el contenido de humedad del suelo superficial y,
- La exposición a la radiación gamma es peligrosa para la salud humana.

Los medidores de humedad de este tipo usan fuentes de neutrones que pueden ser de dos tipos: Superficiales y Subterráneos, los cuales constan de dos componentes principales:

- Una fuente de neutrones rápidos y un detector de neutrones lentos y,
- Un contador para monitorear el flujo de neutrones lentos.

En el caso de un medidor subterráneo, como el usado en este trabajo, la fuente y el sistema de detección se encuentra dentro de un tubo de acceso colocada a la profundidad que se desee monitorear, en ocasiones pueden alcanzarse hasta profundidades de 20 m. Esto puede observarse en la gráfica 8.

La fuente de neutrones rápidos generalmente consiste en una mezcla de un emisor radioactivo de partículas alfa (núcleo de Helio) con Berilio, una fuente alternativa es una mezcla de Americio y Berilio, escogidas estas fuentes alternativas por su longevidad, de tal manera que puedan usarse varios

años, sin que su flujo cambie apreciablemente (la vida media del Radio-Berilio es de 1620 años).

Al ser emitidos los neutrones rápidos en el suelo chocan con varios núcleos atómicos. Al sucederse una serie de choques, los neutrones son deflectados y dispersados y pierden gradualmente algo de energía cinética. Este estado se conoce como estado termalizado y a los neutrones se les conoce como neutrones lentos. Estos neutrones siguen interaccionando con el suelo y son absorbidos eventualmente por los núcleos presentes.

En el caso del suelo el constituyente más efectivo en el frenado de neutrones es el núcleo del Hidrógeno, el cual requiere de 18 choques para frenar un neutrón rápido. En un suelo con un contenido apreciable de iones Hidrógeno los neutrones rápidos se termalizan antes de que se alejen demasiado de la fuente y se dispersan al azar en el suelo formando un enjambre o nube de neutrones en fracción de segundo. La densidad de neutrones al alcanzar el equilibrio depende de la tasa de emisión de la fuente, y de las tasas de absorción y termalización del medio. Ciertos elementos que pueden estar presentes en el suelo, tienen una alta capacidad de absorción de neutrones lentos (por ejemplo el Boro, Cadmio y Cloro) y su presencia en concentraciones altas puede disminuir la densidad de neutrones lentos (en el Boro en concentraciones mayores de 10 ppm y en el Cloro mayores de 1000 ppm). Si consideramos que la concentración de neutrones lentos en el suelo alrededor de la fuente es proporcional al contenido de Hidrógeno solamente, es entonces proporcional a la fracción volumétrica del agua presente en el suelo.

Conforme los neutrones lentos se mueven al azar en el suelo, una porción de ellos regresa a la fuente donde son contados por un detector de neutrones lentos. La celda detectora generalmente está llena con gas BF₃. Cuando un neutrón lento encuentra un núcleo de ¹⁰B y es absorbido se emite una partícula alfa, creando un impulso eléctrico. El número de pulsos en un intervalo de tiempo es entonces registrado en el contador (pueden ser conteos por minuto = CPM en este trabajo).

Finalmente, el volumen de suelo en el que se mide el contenido de humedad depende de la energía de los neutrones y de la concentración de iones Hidrógenos. Si el suelo está seco la nube de neutrones que rodea la fuente es más bien de poca densidad y se extiende más lejos de la fuente, en el caso de un suelo húmedo sucede lo contrario. Con las fuentes de neutrones usadas comúnmente, la esfera de influencia varía menos de 10 cm. en un suelo húmedo a más de 25 cm en un suelo seco. Este grado de resolución hacen del método de

aspersión de neutrones inapropiado para detectar discontinuidad en el perfil de humedad.

La precisión del método en la determinación del contenido de humedad puede ser tan buena como de 2mm de desviación estándar en un contenido de humedad de 450 mm.

Aunque se hallan hecho intentos por predecir la relación entre tasa de conteo y humedad de suelo a partir de consideraciones teóricas, hay tanta variabilidad entre suelos que es necesario calibrar el aspersor de neutrones para cada tipo de suelo que va a ser utilizado.

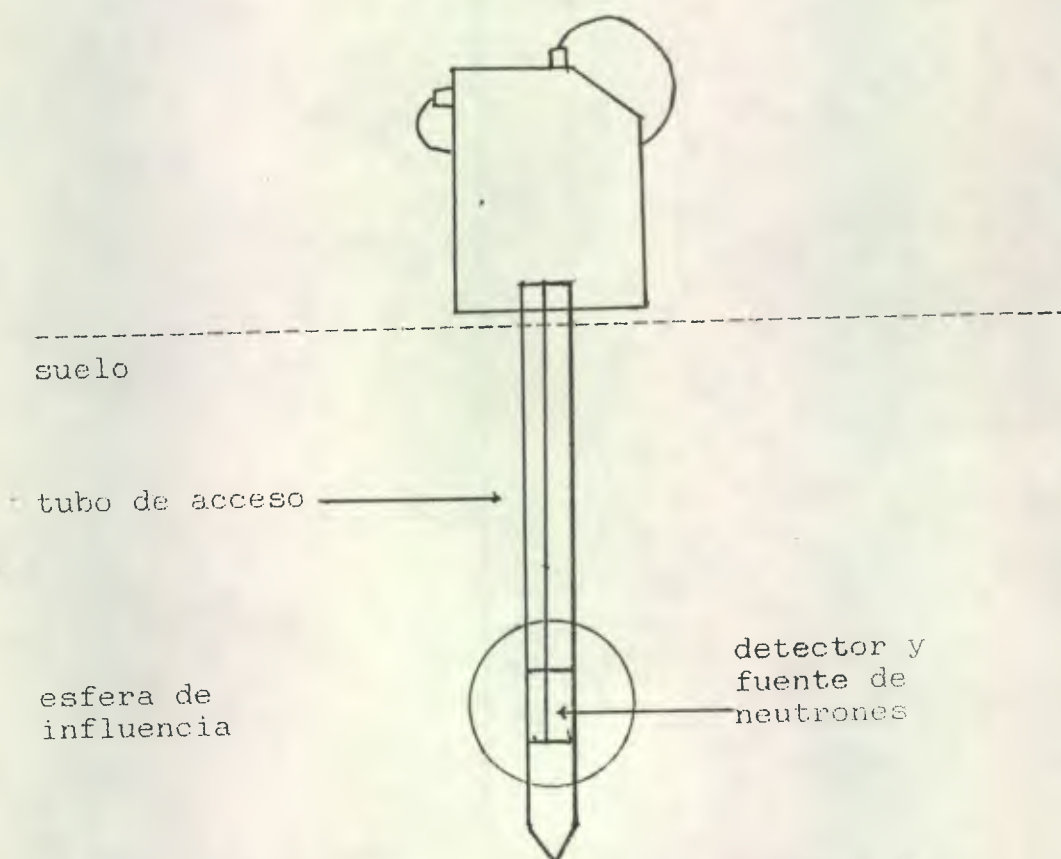


Figura 8. Esquema del dispositivo experimental y partes de la sonda de neutrones.



LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DE CUATRO FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO, CALIDAD INDUSTRIAL DEL FRUTO Y EVAPOTRANSPIRACION REAL DEL CULTIVO DEL TOMATE (*Lycopersicon esculentum* L.), UTILIZANDO LOS METODOS DE PENMAN Y SONDA DE NEUTRONES, EN EL PARCELAMIENTO DE CUYUTA, MASAGUA, ESCUINTLA".


DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: ISMAR BLADIMIR PEREZ PEREZ.

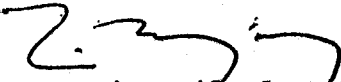
CARNET No.: 84-13543

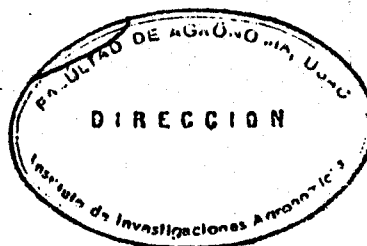
HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ingenieros Agrónomos Gustavo Méndez e Isaac Herrera.

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.

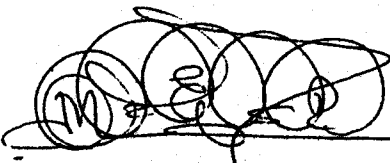

 Ing. Agr. Jorge Sandoval
 ASESOR


 Ing. Agr. María Antonieta Alfaro
 ASESOR


 Dr. Luis Mejía de León
 DIRECTOR DEL IIA



I M P R I M A S E


 Ing. Agr. Maynor Estrada Rosales
 DECANO EN FUNCIONES



c.c. Control Académico
 Archivo