

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

**EFFECTO DE LA INCORPORACION DE MATERIALES ORGÁNICOS
EN LA DISPONIBILIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LA HUMEDAD
DEL SUELO, EN EL ICTA, LA ALAMEDA CHIMALTENANGO**

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

MARCIAL DE JESUS CORADO RECINOS

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

**SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO DE
LICENCIADO**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 1,999.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Ing. Agr. Efraín Medina Guerra

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. Edgar Oswaldo Franco Rivera
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr. Walter Estuardo García Tello
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. William Roberto Escobar López
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. Alejandro Arnoldo Hernández Figueroa
VOCAL CUARTO:	Br. Jacobo Bolvito Ramos
VOCAL QUINTO:	Br. José Domingo Mendoza Cipriano
SECRETARIO:	Ing. Agr. Edil René Rodríguez Quezada

Guatemala, septiembre de 1,999

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

Señores representantes:

De conformidad con las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración, el trabajo de tesis titulado:

EFFECTO DE LA INCORPORACION DE MATERIALES ORGANICOS EN LA DISPONIBILIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN EL ICTA, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO.

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

Atentamente,



Marcial de Jesús Corado Recinos

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS Sobre todas la cosas, por darme sabiduría para poder alcanzar esta meta.

MIS PADRES:

Manuel de Jesús Corado Barrientos y
Reina Elvira Recinos Martinez de Corado.
Que sea este un significante tributo a su trabajo, a sus desvelos, a sus sacrificios, a sus oraciones, con eterna gratitud.

MIS ABUELITOS:

Marcial Corado García (Q.E.P.D) y Francisca Barrientos
Dario Recinos Lemus y María H. Martínez.

MI NOVIA:

Carmen Aideé Sandoval Escribá, con amor, que sea este el fruto de su constante apoyo y comprensión en todo momento y una motivación más para seguir adelante hasta lograr culminar sus metas.

MIS HERMANOS:

Lilian Estela (Q.E.P.D), Lorena, Carlos Manuel, Reina Aracely, Marvin Leonel y Byron Estuardo como muestra de mi amor y que los estimule a seguir adelante.

MIS SOBRINAS Y SOBRINOS

Natalie Michelle, Joseline Lorena, Melanie Gabriela y Angelito

MI CUÑADA Y CUÑADO

Angela y Jorge con especial cariño

MI FAMILIA EN GENERAL

Como una muestra de cariño y respeto.

MIS AMIGAS Y AMIGOS DE AHORA, MAÑANA Y SIEMPRE

En especial Carlos, César, Gustavo, Anicka, Amarilis, Betty y Flor de María.

TESIS QUE DEDICO

A:

GUATEMALA, AL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA Y AL MUNICIPIO DE MOYUTA

ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA

LA FACULTAD DE AGRONOMIA

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

MIS PADRES

MI FAMILIA EN GENERAL

MIS AMIGOS Y AMIGAS DE AHORA, MAÑANA Y SIEMPRE.

AL CAMPESINADO DEL AGRO GUATEMALTECO

A LA PROMOCIÓN 86 – 88 DE LA ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA (E.N.C.A)

AGRADECIMIENTOS

A:

Todas las personas, que con su apoyo permitieron la culminación de este trabajo, en especial Estuardo Girón y Jaime Sorin.

La Dirección General de Energía Nuclear (DGEN), al Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), La Alameda, Chimaltenango y al Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH.).

Mis Asesores: Ing. Agr. Raúl E. Macz Márquez , Ing. Agr. Eddi Vanegas Chacón (primera fase) y al Ing. Agr. Estuardo Roca Canett (fase final). Por la orientación brindada en la realización de este trabajo.

El Personal de la Dirección General de Energía Nuclear por el compañerismo y apoyo recibido.

La Familia Montufar Herrarte, por el apoyo y amistad recibida.

CONTENIDO		PAGINA
	INDICE DE CUADROS	x
	INDICE DE FIGURAS	xi
	RESUMEN	xii
1.	INTRODUCCION	1
2.	DEFINICION Y JUSTIFICACION DEL PROBLEMA	2
3.	MARCO TEORICO	3
3.1	MARCO CONCEPTUAL	3
3.1.1	Evapotranspiración	3
3.1.2	Evapotranspiración Potencial	3
3.1.3	Evapotranspiración Máxima	3
3.1.4	Evapotranspiración Real	4
3.1.5	Métodos para determinar la evapotranspiración	4
3.1.5.1	Utilización de lisímetros	5
3.1.5.2	Lisímetros de Superficie	5
3.1.5.3	Método de Parcelas Experimentales	6
3.1.5.4	Método de Blaney-Criddle	7
3.1.5.5	Fórmula de Penman	8
3.1.6	Contenidos de humedad del suelo	10
3.1.6.1	Humedad aprovechable o disponible para las plantas	10
3.1.6.2	Humedad fácilmente aprovechable	10
3.1.6.3	Agotamiento de la humedad aprovechable	10
3.1.7	Humedad en el suelo y estado de disponibilidad	11
3.1.7.1	Capacidad de Campo (CC)	11
3.1.7.2	Punto de Marchitez Permanente (PMP)	11
3.1.7.3	Humedad disponible o reserva útil del suelo (RU)	12
3.1.8	Factores que afectan los requerimientos de agua de los cultivos	12
3.1.9	Necesidades hídricas de los cultivos	13
3.1.10	Necesidades de agua y efectos sobre el cultivo del Maíz	13
3.1.11	Efecto de la incorporación de residuos orgánicos	15
3.1.12	Métodos para determinar el contenido de humedad del Suelo	15
3.1.12.1	Método gravimétrico	16
3.1.12.2	Sonda de Neutrones	16
3.1.12.3	Tensiómetros	17
3.1.13	El Balance Hídrico	17
3.2	MARCO REFERENCIAL	19
3.2.1	Localización y descripción del área experimental	19
3.2.1.1	Ubicación geográfica	19
3.2.1.2	Condiciones Climáticas	19
3.2.1.3	Condiciones edáficas	19

3.2.1.4	Cantidad de nutrientes en el suelo	21
3.2.2	Descripción de los materiales experimentales	21
3.2.2.1	Cultivo del Maíz (<u>Zea mays</u> L.)	21
3.2.2.2	Frijol (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.)	21
3.2.2.3	Vicia (<u>Vicia sativa</u> L.)	22
3.2.2.4	Frijol terciopelo ó Mucuna (<u>Stizolobium prurimum</u>)	22
4.	OBJETIVOS	23
4.1	General	23
4.2	Específicos	23
5.	HIPOTESIS	24
6.	MATERIALES Y METODOS	25
6.1	Tamaño de la Unidad Experimental	25
6.2	Descripción de los tratamientos utilizados	25
6.3	Establecimiento de las Parcelas de Ensayo	26
6.3.1	Preparación del suelo	26
6.3.2	Determinación de las características físicas	26
6.3.3	Determinación de las características químicas	26
6.3.4	Instalación del instrumental para la medición de la humedad del suelo	26
6.3.4.1	Para la sonda de neutrones	26
6.3.4.2	Para la medición de la tensión de la humedad en el suelo	27
6.4	Siembra y manejo de los cultivos	27
6.4.1	Siembra de los abonos verdes	27
6.4.2	Procedimiento de incorporación de los diferentes materiales orgánicos	27
6.5	Siembra de Maíz	27
6.6	Calibración de la sonda de neutrones	28
6.7	Calibración de los tensiómetros	28
6.8	Instalación de los lisímetros	29
6.9	Mantenimiento del lisímetro de Evapotranspiración Potencial	29
6.10	Manejo del ensayo	29
6.10.1	Toma de datos de humedad del suelo	29
6.10.2	Toma de datos de los tensiómetros	29
6.10.3	Toma de datos meteorológicos	29
6.10.4	Toma de los datos del lisímetro	30
6.11	Análisis de la información	30
6.11.1	Curva de calibración para la sonda de neutrones	30
6.11.2	Diseño experimental	30
6.11.3	Cálculo del coeficiente del cultivo	31
6.11.4	Cálculo de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo	31
7.	RESULTADOS Y DISCUSION	32
7.1	Curvas de Calibración	32
7.2	Humedad Tensiométrica	34

7.2.1	Comportamiento de la humedad tensiométrica en el cultivo del maíz período de investigación.	35
7.2.2	Comportamiento de la disponibilidad de humedad en el suelo después incorporación de los diferentes materiales orgánicos.	36
7.3	Rendimiento (kg./ha.)	38
7.4	Humedad Volumétrica (%)	40
7.5	Valores de Humedad obtenidos por medio de los lisímetros	41
7.6	Comportamiento de la evapotranspiración y la precipitación	42
7.7	Contenido de nutrientes antes y después de la incorporación de los diferentes materiales orgánicos.	44
7.8	Cálculo del coeficiente del cultivo (Kc)	44
7.9	Balance Hídrico	45
7.10	Cálculo de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo	46
8.	CONCLUSIONES	47
9.	RECOMENDACIONES	49
10.	BIBLIOGRAFIA	50
	APENDICES	52



INDICE DE CUADROS

UADRO	TITULO	PAGINA
No.		
1	Contenido de nutrientes en el área experimental	21
2	Diferentes materiales orgánicos incorporados al suelo	25
3	Curvas de calibración por estrato para los suelos serie Tecpán del ICTA, La Alameda, Chimaltenango.	32
4	Rendimientos de maíz de la var. Don Marshall (kg/ha), obtenidos en el ICTA.	39
5	Valores promedio de humedad (%) obtenidos mediante la utilización de la sonda de neutrones en el ICTA, La Alameda, Chimaltenango en el período 1995-1996.	40
6	Comportamiento de la humedad (%), registrada por medio de la sonda de neutrones para los lisímetros de ETR (Maíz) y ETP (Césped) de mayo a noviembre de 1,996.	42
7	Comportamiento de la evapotranspiración (mm) y la precipitación (mm), durante la investigación en el ICTA, La Alameda, Chimaltenango	43
8	Contenido de nutrientes en el suelo antes y después de la incorporación de los diferentes materiales orgánicos en el ICTA, La Alameda, Chimaltenango en 1,996	44
9	Balance Hídrico sobre la investigación del efecto de la incorporación de materiales orgánicos en la disponibilidad y aprovechamiento de la humedad del suelo en el ICTA, La Alameda, Chimaltenango, 1995-1996	45
10	Cálculo de la capacidad de Almacenamiento de agua en el perfil del suelo estudiado	46
11A	Boleta para la recopilación de la información obtenida por medio de la sonda de neutrones	54
12A	Boleta para la recopilación de la información de campo de las baterías de tensiómetros	55
13A	Boleta para la recopilación de datos meteorológicos	56
14A	Boleta para la recopilación de información del suelo por el método gravimétrico	57
15 A	Comportamiento de la humedad volumétrica para el estrato de 0-20 cm.	59
15 A.1	Resúmen del análisis de varianza (ANDEVA) para el estrato de 0-20	59
16 A	Comportamiento de la humedad volumétrica (%) para el estrato de 20-40 cm.	59
16 A.1	Resúmen del análisis de varianza (ANDEVA) para el estrato de 20-40 cm.	59
16 A.2	Matriz de diferencias para las medias de humedad volumétrica (%) para el estrato de 20-40 cm.	60
16 A.3	Resúmen de la prueba de Tukey para el estrato de 20-40 cm.	60
17 A	Comportamiento de la humedad volumétrica (%) para el estrato de 40-60 cm.	60
17 A.1	Resúmen del análisis de varianza (ANDEVA) para el estrato de 40-60 cm.	60
17 A.2	Matriz de diferencias para las medias de humedad volumétrica (%) para el estrato de 40-60 cm.	61
17 A.3	Resúmen de la prueba de Tukey para el estrato de 40-60 cm.	61
18 A	Comportamiento de la humedad volumétrica (%) para el estrato de 60-80 cm.	61
18 A.1	Resúmen del análisis de varianza (ANDEVA) para el estrato de 60-80 cm.	61
18 A.2	Matriz de diferencias para las medias de humedad volumétrica (%) para el estrato de 40-60 cm.	61
18 A.3	Resúmen de la prueba de Tukey para el estrato de 60-80 cm.	62
19 A	Rendimiento de maíz de la var. Don Marshall (kg/ha), obtenidos en el ICTA, La Alameda, Chimaltenango 1,996.	63
19A.1	Resumen del ANDEVA para el rendimiento de grano de maíz de la var. Don Marshall	63

19 A.2	Matriz de diferencias para los valores medios de rendimiento (kg/ha) para el maíz de la var. Don Marshall, en el ICTA, La Alameda, Chimaltenango 1,996.	63
19 A.3	Tabla resumen para la prueba de Tukey del rendimiento (kg/ha) , del maíz de la var. Don Marshall	63

INDICE DE FIGURAS

FIGURA No.	TITULO	PAGINA
1	Localización geográfica del área experimental	20
2	Curva de calibración para el estrato de 0 – 20 cm.	33
3	Curva de calibración para el estrato de 20 – 40 cm.	33
4	Comportamiento de la succión de humedad para el cultivo del maíz en los suelos del ICTA, La Alameda, Chimaltenango 1995 – 1996.	34
5	Comportamiento de la succión de humedad para el cultivo del maíz durante el ciclo del cultivo en el ICTA, La Alameda, Chimaltenango mayo a noviembre de 1996.	35
6	Comportamiento de la succión de humedad para el cultivo de la mucuna en los suelos del ICTA, La Alameda, Chimaltenango 1995 – 1996.	36
7	Comportamiento de la succión de humedad para el cultivo de la vicia en los suelos del ICTA, La Alameda, Chimaltenango 1995 – 1996.	37
8	Comportamiento de la succión de humedad para el cultivo del frijol en los suelos del ICTA, La Alameda, Chimaltenango 1995 – 1996.	38
9	Comportamiento del rendimiento de maíz de la var. Don Marshall (kg/ha) obtenidos en el ICTA, La Alameda, Chimaltenango 1,996.	39
10	Valores promedio de humedad (%) por estrato para cada uno de los tratamientos evaluados en el ICTA, La Alameda, Chimaltenango en el período de 1995 – 1996.	41
11	Comportamiento de la ETP (mm) y la Precipitación Pluvial (mm), durante el ciclo del cultivo del maíz var. Don Marshall, en el ICTA, La Alameda, Chimaltenango 1996.	43
11A	Croquis de campo y aleatorización de los tratamientos en un diseño de bloques al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones	53

**“EFECTO DE LA INCORPORACION DE MATERIALES ORGANICOS EN LA
DISPONIBILIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO, EN EL
ICTA, LA ALAMEDA CHIMALTENANGO”.**

**“THE EFFECT OF THE INCORPORATED ORGANIC MATERIALS AVAILABLE AND
THE PROFIT IN THE SOIL'S HUMIDITY, EN EL ICTA, LA ALAMEDA,
CHIMALTENANGO”.**

RESUMEN

Este estudio se realizó de junio de 1995 a noviembre de 1,996 apoyado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) conjuntamente con la Dirección General de Energía Nuclear (DGEN) a través de la Sección Agropecuaria.

Los objetivos consistieron en evaluar el efecto de la incorporación de los residuos orgánicos de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Mucuna (*Stizolobium prurimum* L.), vicia (*Vicia sativa* L.) y el rastrojo de maíz (*Zea mays* L.), todos estos comparados con un testigo en el rendimiento de grano de maíz de la variedad Don Marshall, expresado en kg/ha; establecer la curva de calibración de la sonda de neutrones CPN 503 para los suelos de la serie Tecpán; determinar los índices de consumo de humedad (kc) del maíz y por último establecer la disponibilidad de humedad en el suelo y su retención durante el ciclo del cultivo del maíz (época lluviosa) e inicio del período seco. Las variables de respuesta en las cuales se apoyo la investigación fueron: Contenido de humedad del suelo (%), Rendimiento de grano de maíz (kg/ha), Evapotranspiración real (Etr) . Los diferentes tratamientos evaluados fueron: Testigo (A), Rastrojo de maíz (B), Frijol (C), Mucuna (D) y Vicia (E); arreglados en un diseño experimental de bloques al azar con 4 repeticiones.

Los contenidos de humedad se determinaron mediante la utilización de la sonda de neutrones, tomando en consideración las curvas de calibración obtenidas para cada estrato, que fueron las siguientes: $Y = 15.777X - 0.1298$ (0-20 cm) , $Y = 13.194X + 3.2106$ (20 - 40 cm), $Y = 14.876X - 4.7869$ (40 - 60 cm) y por último $Y = 19.028X - 14.061$ (60 - 80 cm) con la finalidad de transformar la humedad gravimétrica en humedad volumétrica, obteniéndose los valores más altos de humedad para el estrato de 0-20 cm donde se incorporó el rastrojo de maíz (B) con 20.11% de humedad y para el estrato de 20-40 cm el mejor tratamiento fue donde se incorporó el residuo orgánico de vicia registrando valores de humedad de 25.97%.

Con respecto al rendimiento de grano de maíz de la variedad Don Marshall (kg/ha), el mejor tratamiento fue donde se incorporó el residuo de vicia con un rendimiento de 4,595.13 kg/ha.

Los valores de Precipitación Pluvial (PP) y Evapotranspiración (ETP) durante el ciclo del cultivo fueron de 1,014.1 mm y 708.14 mm respectivamente.

Los valores de los índices de consumo de humedad (kc) para las diferentes fases fenológicas quedaron de la siguiente manera: 0.982 en la fase vegetativa, 1.076 en la fase de formación de estigma, 0.902 en floración, 0.973 durante la formación de cosecha , 0.733 en la fase de maduración del grano y 0.825 al finalizar el ciclo del cultivo (cosecha).

INTRODUCCION

En Guatemala la producción agrícola se realiza mediante el aprovechamiento del agua de lluvia, utilizando algún sistema de riego o mediante el aprovechamiento de la humedad residual de los suelos. Debido a que todos los procesos de la vida, tienen lugar en un medio acuoso, el contenido de agua aprovechable del suelo desempeña un papel importante en el crecimiento de las plantas y otros organismos vivos, pero aún más importante es la disponibilidad de ésta para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Los cuales absorben este líquido vital a través de los estomas y en mayor parte por medio del sistema radicular. Por esta razón, para hacer un uso eficiente del agua es necesario conocer el movimiento de la misma en y a través del perfil del suelo, como se almacena y por último como medir su contenido y pérdida.

Con base en lo anterior, en este proyecto de investigación se evaluó el efecto de los materiales orgánicos incorporados al suelo: Frijol (Phaseolus vulgaris L.), Vicia (Vicia sativa) y Mucuna (Stizolobium prurimum).

El diseño experimental que se utilizó fue el de Bloques al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones. Las variables de respuesta en las cuales se apoyó la investigación fueron: Contenido de Humedad (%), Evapotranspiración Real (ET_r), Rendimiento de grano (kg./ha), de las cuales se analizaron estadísticamente; el Contenido de Humedad (%) y Rendimiento de grano (kg./ha).

Esta investigación se realizó en el Centro Experimental del ICTA, La Alameda Chimaltenango; con el apoyo de la Sección Agropecuaria de la Dirección General de Energía Nuclear (DGEN) del Ministerio de Energía y Minas (MEM), y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

2. DEFINICIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El contenido de humedad de los suelos es un factor limitante para la producción de los cultivos, debido a la importancia que éste desempeña en el desarrollo de las plantas; entre otros se pueden mencionar: ser la mayor parte del constituyente protoplásmico (85 a 95%), esencial para el proceso de fotosíntesis y la conversión de almidones en azúcares, ser el solvente en el cual se mueven los nutrientes en y a través de las partes de la planta y proveer a la planta de turgidez.

Debido al incremento de la población durante los últimos años, la frontera agrícola ha ido creciendo y los suelos han sido rápidamente empobrecidos, en lo que al contenido nutricional se refiere, por lo que se ha hecho necesaria la aplicación de grandes cantidades de fertilizantes básicamente nitrogenados a efecto de aumentar o sostener la productividad natural de los suelos; por lo que se hace necesario mantener niveles apropiados de humedad por más tiempo en los terrenos (durante la época seca); ya que el agua junto con los nutrientes son necesarios para el buen desarrollo y producción de los cultivos.

Es aquí donde los materiales orgánicos de: (Mucuna, Vicia y Frijol), incorporados al suelo; pueden contribuir de alguna manera en la retención de la humedad en el suelo y además constituyen una fuente de nitrógeno por la facultad que tienen de fijarlo del aire por medio de bacterias nitro fijadoras a través de sus nódulos. Debido a estas características los materiales orgánicos, son utilizados como abonos verdes e incorporados al suelo con el objeto de aumentar la capacidad de retención de humedad de éste, y así garantizarle condiciones adecuadas de humedad para el desarrollo de los cultivos aún en la época seca, lo cual fue el objeto de estudio de esta investigación, en la cual se monitoreo el comportamiento de la humedad en el suelo durante el ciclo de cultivo e inicio de la estación seca antes y después de la incorporación de los diferentes residuos de materiales orgánicos.

Esta investigación forma parte del proyecto: "Influencia de los abonos verdes, fijación biológica de N y eficiencia hídrica en granos básicos", llevada a cabo por la sección Agropecuaria de la Dirección General de Energía Nuclear (DGEN) del ministerio de Energía y Minas (MEM), conjuntamente con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) con el apoyo del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) y la sección de Agrometeorología del Instituto de Sismología, Vulcanología Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Grassi (11), define la evapotranspiración como el proceso de cambio de estado líquido del agua a vapor, mediante el cual el agua almacenada en la capa del suelo pasa a la atmósfera al ser usada en el complejo suelo-planta-agua.

La evapotranspiración, es un proceso combinado que comprende la **evaporación** de todos los tipos de superficies (vegetal, superficie del suelo, lámina de agua etc.) y la **transpiración** de las plantas. Se utiliza en general como un indicador de las necesidades de agua de las plantas.

3.1.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Penman (16), la define como la cantidad de agua transpirada en una unidad de tiempo por un cultivo verde y de poca altura, el cual cubre completamente la superficie del suelo, de altura uniforme y sin limitaciones de agua en ningún momento. Esta evapotranspiración depende del poder evaporante del aire, el cual a su vez esta determinado por la radiación solar, la temperatura, el viento y la humedad del aire.

3.1.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN MÁXIMA

Se considera a la evapotranspiración máxima (ET_m) como el producto de multiplicar el coeficiente del cultivo y la evapotranspiración potencial, referida a aquellas condiciones en que el agua es conveniente para un crecimiento y desarrollo sin limitaciones; ET_m representa la tasa de evapotranspiración máxima de un cultivo sano, que crece en grandes campos y en condiciones óptimas de ordenación agronómica y de riego (9).

3.1.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL

Se define como la cantidad de agua que se pierde por la evapotranspiración desde la superficie del suelo y la transpiración de las plantas, bajo condiciones actuales o reales de tiempo, suelo y vegetación. La evapotranspiración real y la potencial pueden ser iguales solo cuando el suelo esta a capacidad de campo y los cultivos han llegado a una fase de desarrollo en que cubren completamente el suelo (6).

Existen diferencias entre la evapotranspiración potencial y la de los cultivos, siendo esta última la que determina las necesidades hídricas de los cultivos. Estas diferencias tienen que ver con el tiempo del cultivo y el estado de desarrollo del mismo.

La evapotranspiración real se calcula usando la fórmula siguiente:

$$E_{tr} = K_h * K_c * E_{tp}$$

Donde:

E_{tr} = Evapotranspiración real

K_h = Coeficiente de humedad del suelo

K_c = Coeficiente del cultivo

E_{tp} = Evapotranspiración potencial.

Según la ecuación anterior, la evapotranspiración real por medio del coeficiente "Kc" considera el efecto fisico-fisiológico que deriva de la planta y el suelo, mientras que la evapotranspiración potencial incluye aspectos de orden que dependen del clima (2).

3.1.5 MÉTODOS PARA DETERMINAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración puede ser determinada por varios métodos, los cuales se dividen en directos e indirectos. La determinación directa proporciona la evapotranspiración a través de medidas, pudiéndose obtener en el mismo lugar en donde se localicen los aparatos. Para su determinación se pueden utilizar los siguientes métodos y aparatos: lisímetros, atmómetros, evapotransporímetros, parcelas experimentales, estudios sobre humedad del suelo, métodos de integración y métodos de entradas y salidas (12).

Los métodos indirectos se basan en datos climáticos aplicado en fórmulas empíricas para calcular la evapotranspiración de cualquier cultivo, toman en cuenta tablas con valores para constantes y coeficientes de cultivo. Las fórmulas más conocidas y usadas son: Penman, Blaney-Cridle, Hargreaves, Jensen, Grassi-Christiansean, Lowry Jhonson y Tanque tipo "A" (12).

3.1.5.1 UTILIZACIÓN DE LISÍMETROS

Un lisímetro es un depósito, que esta enterrado, de paredes verticales, abierto en la parte superior y relleno del terreno que se quiere estudiar, hasta la profundidad deseada. La superficie del suelo esta así sometida a los agentes atmosféricos (medidos en una estación meteorológica cercana), y recibe las precipitaciones naturales (medidas por medio de un pluviómetro). El suelo contenido en el lisímetro es drenado a un nivel bien determinado (nivel del fondo del depósito o nivel superior); el agua de drenaje es recogida y medida. En ciertos lisímetros se mide también la humedad y la temperatura del suelo a diferentes profundidades (3).

Los lisímetros pueden ser subterráneos y de superficie.

3.1.5.2 LISÍMETRO DE SUPERFICIE

Son los más usados y consisten en un depósito, que esta enterrado, de paredes verticales, abierto en la parte superior y relleno del terreno que se quiere estudiar, hasta la profundidad deseada. Las dimensiones de los lisímetros varían desde uno hasta seiscientos veinte y cinco metros cuadrados (1 a 625 m²)

Son en general de sección cuadrada o rectangular, a veces circular. Su profundidad alcanza de uno a tres metros (1 a 3 m.). Habitualmente se construye una batería de varias cajas lisimétricas, con el suelo descubierto y/o cubierto por diversos tipos de vegetación. La superficie del suelo esta así sometida a los agentes atmosféricos, los cuales son registrados por aparatos o dispositivos que se encuentran ubicados en una estación meteorológica completa.

Los parámetros que con mayor frecuencia se observan y registran son las variaciones de la pluviometría, velocidad del viento, temperatura y humedad del aire y del suelo a diversos niveles.

La muestra escogida puede ser de un suelo homogéneo artificial o un suelo natural, preferiblemente con la muestra natural; es esencial que la estructura del suelo en el lisímetro corresponda a las mismas condiciones de suelo inalterado de los alrededores o con ligeros cambios, siempre y cuando se ubiquen dentro del lisímetro, los estratos del suelo que configura el perfil del mismo (9).

3.1.5.3 MÉTODO DE PARCELAS EXPERIMENTALES

Aquí se realizan parcelas en el terreno donde se realizaran determinaciones de humedad, antes y después de regar. Considera al suelo como un reservorio que puede retener una determinada cantidad de agua hasta la profundidad que exploran las raíces del cultivo. El método de parcelas experimentales es realmente la aplicación de la ecuación de balance hídrico, la ecuación general del principio de la conservación del agua caída por las precipitaciones naturales (Pre) o por riego (Rie); dicha agua se reparte en:

- Agua evapotranspirada (ETR)
- Agua perdida por escurrimiento superficial (Esc).
- Agua perdida por drenaje o percolación (Dre)
- Variación de almacenamiento de humedad del suelo (Var. St.)

La ecuación general para un volumen determinado (Parcelas Experimentales), se escribe entonces para dos fechas:

$$\text{Pre} + \text{Rie} = \text{ETR} + \text{Esc} + \text{Dre} + \text{Var (Reserva de agua en el suelo)}.$$

Por lo tanto, conociendo las precipitaciones y/o el riego por un lado y por otro las leyes que rigen el funcionamiento de la evapotranspiración, el escurrimiento, del drenaje y del almacenamiento de agua en el suelo, uno puede en teoría, estimar cualitativamente y cuantitativamente el comportamiento de todos estos parámetros bajo un cultivo cualquiera sembrando en una fecha cualquiera.

Debe tomarse en cuenta que en el balance hídrico de un cultivo es importante conocer cuales son las entradas y salidas de agua en un volumen de suelo, ya que la cantidad almacenada en un volumen determinado debe igualar a la diferencia entre los ingresos y egresos de agua (2).

3.1.5.4 MÉTODO DE BLANEY-CRIDDLE:

De acuerdo a Grassi (11), este método se basa en temperatura y horas luz mensuales y fue desarrollado al relacionar los valores de Evapotranspiración con la temperatura media mensual (T) con el porcentaje mensual de las horas de brillo solar. La evapotranspiración real se calculó usando la fórmula siguiente:

$$ETR = K * F$$

n

$$Tr = E (k * f) = K * F$$

i=1

Donde:

ETr = Evapotranspiración durante todo el ciclo.

k = Coeficiente mensual del cultivo.

f = Factor de uso consuntivo mensual

K = Coeficiente del cultivo para el ciclo vegetativo.

F = Suma de los factores mensuales de uso consuntivo.

Para la temperatura en grados centígrados y la evapotranspiración en mm/mes, "f" se calcula así:

$$f = p(8.13 + 0.457t)$$

Donde:

p = Porcentaje mensual de horas luz respecto al total anual.

t = Temperatura media anual mensual en grados centígrados.

El Método Blaney-Criddle fue modificado por J. Phelan. Esta modificación propuesta consiste en determinar el coeficiente de desarrollo "Kc" del cultivo por medio de tablas ya elaboradas. Estos coeficientes de desarrollo, no se aplican directamente en los valores de "f", sino en los productos de f * kt, en donde kt es el coeficiente de temperatura, se calcula con la fórmula siguiente:

$$kt = 0.03144t + 0.2396$$

3.1.5.5 FÓRMULA DE PENMAN:

Tiene dos términos a saber: el de energía (radiación) y el aerodinámico (viento y humedad). En condiciones meteorológicas de calma, el término aerodinámico suele ser más pequeño que el energético. En condiciones ventosas y especialmente en las regiones áridas. El término aerodinámico pasa a ser relativamente más importante.

Los procedimientos de cálculo para obtener Etp pueden ser bastante complicadas. Eso se debe a que la fórmula contiene más elementos que pueden derivarse de datos climáticos conocidos y relacionados cuando no se dispone de mediciones directas.

La fórmula de la ecuación utilizada en este método es la siguiente:

$$E_{tp} = c * (w * R_n * + (1-w) * f(u) * (e_a - e_d))$$

DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE ETP POR LA FORMULA DE PENMAN

Presión de Vapor (ea)

La Etp es función de la humedad del aire. Con este método los valores de la humedad vienen expresados como déficit de la presión de saturación del vapor (ea), la diferencia existente entre la presión del vapor de agua media (ea) y la presión del vapor de agua media (ed) (16).

Los datos sobre la humedad del aire se presentan de diversas formas, principalmente como humedad relativa (RH max. y RH min. en porcentajes), como mediciones psicrométricas (temp. en °C en psicrómetro húmedo y seco) obtenidas con termómetros secos y húmedos, ventilados o como temperatura en el punto de rocío (°C).

Función del Viento F(u)

El término f(u) es una función relacionada con el viento.

Esta función se define como:

$$f(u) = 0.27 * (1 + U/100)$$

donde:

U es la velocidad total del viento en km./día a una altura de 2 m.

Factor de Ponderación (w)

w es un factor de ponderación correspondiente a los efectos de la radiación sobre Etp.

Radiación Neta (Rn)

La Radiación neta (Rn) o sea, la diferencia entre toda la radiación entrante y la saliente se puede medir, pero rara vez se dispone de estos datos.

Se puede calcular Rn, si se cuenta con datos medidos sobre la radiación solar, las horas de insolación, la temperatura y la humedad. Los cálculos son más sencillos y más seguros si se conoce la radiación solar.

La Radiación neta total es igual a la diferencia entre la radiación solar neta de ondas cortas (Rns) y la radiación neta de ondas largas (Rnl), o sea $Rn = Rns - Rnl$, y se expresa en mm/día.

Factor de Corrección (c)

Este factor es el que se encarga de ajustar la Etp calculada con la Etp verdadera, toma en cuenta la relación de la velocidad de viento de día y de la noche (15).

3.1.6 CONTENIDOS DE HUMEDAD DEL SUELO

3.1.6.1 HUMEDAD APROVECHABLE O DISPONIBLE PARA LAS PLANTAS

Se le llama Humedad aprovechable, al agua que queda entre los límites de Capacidad de Campo (C.C) y Punto de Marchitez Permanete (P.M.P), y la que queda entre la capacidad de campo y 5 bares de succión se le llama agua fácilmente aprovechable. Debe de tenerse en cuenta que cada especie de planta tiene su propia capacidad para extraer agua para el crecimiento activo y productivo, y por lo tanto debe de determinarse la curva de absorción completa de un suelo para poder comparar sus características con las necesidades de un cultivo dado (12).

La humedad aprovechable a las plantas (HA) o reserva útil (RU), es la diferencia entre el contenido de humedad gravimétrica del suelo a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (18).

3.1.6.2 HUMEDAD FÁCILMENTE APROVECHABLE

Israelsen y Hansen (12), afirman que la humedad del suelo que se encuentra cerca del punto de marchitez permanente es no utilizable fácilmente por las plantas, ya que la humedad fácilmente utilizable, es la humedad que puede ser extraída por las plantas sin gran esfuerzo y que según la FAO representa aproximadamente un 70% de la humedad utilizable total.

3.1.6.3 AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE

Doorembos y Kassam (6), demostraron que teniendo en cuenta el nivel de evapotranspiración máxima, para atender todas las necesidades de agua en el cultivo del maíz puede llegar a un nivel de agotamiento de alrededor de un 40% para el período de establecimiento, entre un 55-65% durante los períodos vegetativos, de floración y formación de cosechas y hasta un 80% durante la maduración.

Castro, citado por Ayala (2), sugiere que la unidad de riego El Tempisque, Jutiapa, que el nivel mínimo de humedad aprovechable en el suelo para el cultivo de maíz varía entre 40 y 60%.

Reyes, citado por Ayala (2), determinó que para la primera etapa del cultivo del maíz, el 20% de la humedad aprovechable es el mínimo y para las etapas de floración y maduración, regando al 62% y 64% de humedad aprovechable, se obtienen los mejores rendimientos.

3.1.7 HUMEDAD EN EL SUELO Y ESTADO DE DISPONIBILIDAD

Durante muchos años el agua se ha clasificado en higroscópica, capilar y gravitacional; 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 (12).

3.1.7.1 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 (densidad aparente) y el contenido de materia orgánica (12).

El contenido de humedad en este punto, puede variar de 6 a 12% en suelos arenosos y hasta 39% en suelos de textura arcillosa (13).

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.

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 (12).

3.1.7.2 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 (18)

Este estado se alcanza en términos de una semana en terrenos arenosos, cuatro semanas en terrenos arcillosos y aún más en el caso de que el enraizamiento sea profundo (12).

Sus factores son los mismos que para la humedad a capacidad de 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). 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 atmósferas (referencia internacional) (12).

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

3.1.8 FACTORES QUE AFECTAN LOS REQUERIMIENTOS DE AGUA DE LOS CULTIVOS

Israelsen y Hansen (12), indican de que manera general los factores que afectan las necesidades de agua de los cultivos son: radiación, horas de brillo solar, temperatura del aire, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento y período libre de heladas.

Otros factores muy importantes son la fertilidad y salinidad, la fertilización aumenta el desarrollo de las plantas con lo que las necesidades se reducen proporcionalmente, es decir, a mayor fertilidad menor necesidad de agua, pues esta se usa más eficientemente (13).

3.1.9 NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS CULTIVOS

De acuerdo a Doorembos (7), muchos procesos que ocurren en las plantas son afectados por el agua, sin embargo, la relación, cambia con las características de la planta, estado de desarrollo, condiciones del suelo y condiciones climáticas. Estas relaciones se hacen más complejas bajo condiciones de estrés hídrico; por ejemplo, las deficiencias de agua no solamente reducen el rendimiento, sino que afectan el patrón de crecimiento. Generalmente la profundidad efectiva de las raíces, disminuye cuando aumentan los niveles de humedad en el suelo, estas raíces son más gruesas, menos ramificadas y más cortas. La relación raíz/tallo generalmente aumenta con el estrés hídrico.

La calidad del rendimiento económico, formación de flores y producción de semillas son todas influenciadas por las condiciones de humedad. Los efectos de escasez de agua sobre los rendimientos resultan muy importantes durante ciertos periodos de crecimiento de algunos cultivos extensivos, las fases más críticas son el establecimiento o germinación y los cambios del estado vegetativo a reproductivo, incluyendo la floración y la formación de la cosecha.

En cuanto a la obtención de rendimientos altos, los cultivos tienen diferentes necesidades, en términos del grado de agotamiento de la humedad del suelo que pueda tolerar. La evidencia experimental indica que cultivos como la mayoría de hortalizas producen el máximo rendimiento cuando la humedad del suelo es mantenida a un nivel superior del 50% de la humedad disponible (7).

3.1.10 NECESIDADES DE AGUA Y EFECTOS SOBRE EL CULTIVO DEL MAÍZ

Francis y Turelle, citados por Ayala (2), mencionan que por medio del riego, el maíz puede desarrollarse aún en áreas áridas y semiáridas con lluvias inferiores a los 38.10 cm., además sostienen que las necesidades de agua para el maíz son mayores y más críticas durante los periodos de floración y jilote, por lo que el correcto nivel de humedad en estas etapas es de suma importancia para lograr buenos rendimientos, esto incluso en regiones húmedas donde los agricultores consideran rentable el riego del maíz. También mencionan que este cultivo no necesita la misma cantidad de agua en todas las regiones debido a que el agua está condicionada a los factores propios de cada región, como lo son: precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa, horas luz, duración del ciclo vegetativo y tipo de suelo. En general se estiman de 30.48 a 91.44 cm. de agua como la

oscilación volumétrica para satisfacer las necesidades de maíz en todo su ciclo e incluyendo las pérdidas por evaporación, filtración, desperdicio, y según sus estudios dicen que cuando el maíz esta logrando su más rápido desarrollo, algunas veces requerirá 1.27 cm. diarios de agua durante un período de varios días.

De acuerdo a Donahue (6), para áreas desérticas la evapotranspiración diaria del maíz varia de 2 a 15 mm., dependiendo de las condiciones climáticas y desarrollo del cultivo.

Castro (4), recomienda para Jalpatagua y Jutiapa, que se aplique una lámina neta de 22.5 cm. para el cultivo del maíz. Reyes, citado por Ayala (2) y García (10) determinaron que el maíz necesita una lámina de agua de 50.0 y 44.2 cm., respectivamente para el Valle "La Fragua", Zacapa.

De acuerdo a Doorembos (7), para la aplicación de agua en el cultivo del maíz, hay que tener cuidado, debido a que tanto la falta como el exceso repercuten en el rendimiento. El maíz prospera en suelos bien drenados, debiendo evitar el encharcamiento, especialmente durante los períodos de floración y formación de cosecha, ya que el encharcamiento puede producir una reducción en los rendimientos en grano en un 50% o más.

El efecto de una limitación de agua en el maíz es considerada como una disminución de los rendimientos en grano, la cual es ocasionada por el déficit de agua durante el período de floración, especialmente en el tiempo de formación del estigma y la polinización.

El déficit de agua durante el período de formación de cosecha, puede reducirse debido a la disminución del tamaño del grano. El déficit de agua durante el período de maduración tiene poco efecto sobre el rendimiento en grano (7).

Según Jenkins (13), el daño al maíz por efectos de la falta de humedad, se puede presentar de diversas maneras; el efecto total es una reducción del rendimiento y su disminución puede ser tan ligero que no se aprecian los efectos visibles sobre las plantas mismas o pueden ser severo que no produzca grano o que inclusive mueren las plantas.

El rendimiento y la calidad del maíz puede reducirse en los períodos de alta sequía, trayendo como factores asociados, un ataque más fuerte del carbón, un mayor daño por insectos o una mayor caída de mazorcas.

Lo ideal es pues, que la planta no sufra por falta de humedad durante todo su ciclo, sin embargo, existe un período crítico durante el cual el agua tiene más repercusiones, particularmente perjudiciales: las cuatro o cinco semanas que comprende la floración masculina, se calcula que de una deficiencia durante este período puede producir una disminución del 30% de la cosecha, cuando el maíz padece falta de agua durante este período, la flor masculina no se desarrolla bien (13).

3.1.11 EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Dentro de los beneficios de la incorporación de residuos orgánicos a los suelos tenemos la aglomeración de partículas, ayuda a una mejor infiltración del agua en el suelo y por lo tanto la erosión se ve reducida al añadir residuos orgánicos en la superficie del suelo, mejora la aireación de los suelos, es una fuente alternativa de nutrientes para las plantas. En los suelos para la producción de los cultivos se pierde alrededor del 2% de la materia orgánica por año y es entonces que la incorporación de residuos orgánicos de cultivos especialmente de leguminosas pueden incrementar el contenido de materia orgánica en lugar de reducirla (6).

3.1.12 METODOS PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

El contenido de humedad de un suelo se puede determinar por métodos directos e indirectos. Los métodos directos son basados en muestreo de suelo, dentro de estos tenemos el método gravimétrico, al tacto y con alcohol. Los métodos indirectos, son métodos que estiman el contenido de humedad indirectamente en base a la medición de otros parámetros que dependen del contenido de agua en el suelo, como por ejemplo la conductividad eléctrica y la tensión con la cual el agua es retenida por el suelo. Dentro de estos métodos tenemos: el del tensiómetro, bloques de yeso y aspensor de neutrones.

En la presente investigación se usarán los métodos que se describen a continuación:

3.1.12.1 MÉTODO GRAVIMÉTRICO

Consiste en tomar una muestra de suelo de aproximadamente 125 grs. en el campo y guardarla posteriormente en una cajita o bote de metal (aluminio de preferencia) con tapadera hermética para evitar pérdidas por humedad (puede usarse también un frasco de vidrio con tapadera hermética). Esta muestra se pesa para obtener el peso de suelo húmedo (Psh), luego se destapa y se coloca en un horno especial para el secado de muestras a una temperatura de 105 - 110° C, durante 18 a 24 horas. Pasando este tiempo la muestra se pesa para obtener el peso de suelo seco (Pss), con estos datos se calcula el porcentaje de humedad en base a peso de suelo seco (Ps).

El contenido de humedad se determina a partir de la fórmula siguiente:

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

3.1.12.2 SONDA DE NEUTRONES

Este método ha sido desarrollado desde 1,950, y en nuestros días es usado ampliamente como un medio de efectuar determinaciones de humedad del suelo in situ, dando el resultado inmediatamente. El principio de funcionamiento de la sonda de neutrones, consiste en que se emiten neutrones rápidos y de alta energía desde una fuente radiactiva de Americio - Berilio, los cuales chocan con los átomos de hidrógeno de las moléculas de agua presentes en el suelo: provocando que los neutrones rápidos se desvíen y pierden energía convirtiéndose en neutrones lentos. La mayoría de estos neutrones los que son registrados y cuantificados produciendo impulsos, cuyo contaje aparecerá en una pantalla colocado en la parte superior de la sonda. Así a mayor cantidad de neutrones lentos registrados, mayor cantidad de agua presente en el suelo (2).

La cantidad de átomos que regresan y fueron captados por la fuente son proporcionales a la cantidad de átomos de hidrógeno de las moléculas de agua presentes en el suelo y por consecuencia a la humedad del estrato estudiado. Por las diferencias existentes entre los suelos, se establece esta relación de proporcionalidad en base a una calibración de la sonda. Se puede demostrar que generalmente existe una relación lineal entre la tasa de contaje de neutrones (CPM) y el contenido volumétrico de agua en el suelo. Si se tiene una relación de calibración previa y válida para estas condiciones, el status de agua del suelo en la zona radicular puede ser continuamente no destructiva y fácilmente monitoriada (2).

3.1.12.3 TENSÍOMETROS

Consisten en una copa de cerámica porosa conectada a un tubo del cual sale otro tubo de diámetro más pequeño conectado a un recipiente de mercurio (11). Al llenar de agua el sistema y tapar el extremo superior del tubo el agua saldrá por la copa de cerámica hacia el suelo, si el suelo está seco entonces ejerce una fuerza que extrae el agua por la cerámica y a su vez hace que el mercurio ascienda en el tubo pequeño: si se mide este ascenso del mercurio puede determinarse la tensión, con el que puede correlacionarse el contenido de humedad (%) del suelo; ya que a mayor tensión, menor contenido de agua en el suelo; el recipiente de mercurio y el tubo pequeño han sido reemplazados por un manómetro. El cual mide directamente la tensión en centibares con que el agua es retenida por el suelo.

Los tensiómetros son muy útiles para saber cuando regar, ya que para muchos cultivos se sabe la tensión a la cual debe aplicarse el agua para que su rendimiento no disminuya. Para saber la cantidad de agua a aplicar el tensiómetro debe ser calibrado para cada suelo, mediante una curva de tensión vs. contenido de humedad del suelo (11).

3.1.13 EL BALANCE HÍDRICO

El término balance hídrico fue usado a mediados de la década del cuarenta y cincuenta por el meteorólogo C. Warren Thornwaite para referirse al balance entre el ingreso de precipitación y nieve y las salidas de agua por evapotranspiración, cantidad de humedad del suelo y escurrimiento. El balance puede ser llevado a cabo desde un simple perfil de suelo hasta en una cuenca (15).

El estudio del balance hídrico conduce a la estimación de la cantidad de agua realmente aprovechada por las plantas (15). El balance hídrico es una técnica que permite establecer las ganancias y las pérdidas de agua que se registran en un área dada, por lo que su aplicación nos sirve para (14).

- a.- Manejo de riego (dosis y frecuencias).
- b.- Diagnóstico hídrico de un cultivo establecido.
- c.- Predicción de rendimiento
- d.- Determinación de fechas de siembra y variedades óptimas

- e.- Estimación cuantitativa de la lixiviación
- f.- Estimación de erosión hídrica
- g.- Seguimiento de la campaña agrícola.
- h.- Zonificación agroecológica (15).

Los cálculos de los balances hídricos se facilitan si se posee información de campo sobre las fluctuaciones de la humedad del suelo y la evapotranspiración, sin embargo por su medición difícil se debe de proceder a estimarlos por medio de datos meteorológicos. Los balances hídricos se pueden computar para periodos diarios, semanales, mensuales o anuales, de acuerdo a las necesidades del caso.

Para fines operativos a corto o a mediano plazo se suelen utilizar los balances diarios y semanales, mientras que para el manejo de los recursos hídricos a largo plazo se requieren los balances mensuales.

La esencia del balance hídrico comprende, entonces, el estudio de los aportes, el movimiento y las salidas del agua en una determinada zona, lo cual puede sintetizarse en la siguiente ecuación general:

$$P = E_{tr} + H_s + I + E$$

Donde:

- P = Precipitación
- E_{tr} = Evapotranspiración real
- H_s = Cambios de humedad que se dan en el suelo
- I = Infiltración que se da en las capas profundas
- E = Escorrentía

Sin embargo, esta ecuación se simplifica cuando el balance se lleva a cabo en una estación seca y donde haya necesidad de aplicar riegos, quedando la misma de la siguiente manera:

$$L = E_{tr} + H_s$$

Donde:

$$L = \text{Lámina neta de riego aplicada (15).}$$

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL AREA EXPERIMENTAL:

3.2.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El presente estudio se llevó a cabo en el Centro de Producción del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, localizado en el altiplano central de Guatemala, en la aldea La Alameda, a 3.5 kilómetros de la cabecera departamental de Chimaltenango. Sus coordenadas geográficas son 14°39'38" latitud norte y 90°49'10" longitud oeste (Ver Figura 1).

3.2.1.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS

Según el sistema de clasificación de las zonas de vida de Holdridge, la región donde se ubica el área experimental corresponde a la zona ecológica Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical. La altitud es de 1800 metros sobre el nivel del mar y según registros meteorológicos de la estación meteorológica tipo "A" de La Alameda, Chimaltenango; posee una precipitación pluvial media anual de 1600 milímetros, la humedad relativa media es del 80 % y una temperatura media anual de 18 °C. (5).

3.2.1.3 CONDICIONES EDÁFICAS

Según la clasificación de Simmons, Tarano y Pinto (19), los suelos del centro de producción del altiplano central del ICTA, corresponden a la serie de suelos Tecpán, los cuales se caracterizan por ser suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica blanca, porosa y de grano relativamente fino. Su relieve es casi plano (declive dominante de 1 a 5 %) a ondulado. El suelo superficial es de un espesor aproximado de 30 a 50 cm. su color es café oscuro, con textura franco-arenosa y consistencia friable. El subsuelo es de un espesor aproximado de 50 a 100 cm. su color es café amarillento, su textura es franco arcillosa y tiene una consistencia friable. La fertilidad natural de estos suelos se encuentra a niveles adecuados. El contenido de materia orgánica es bajo (2 %). La reacción es de mediana a ligeramente ácida, pH al rededor de 6.0 (19).

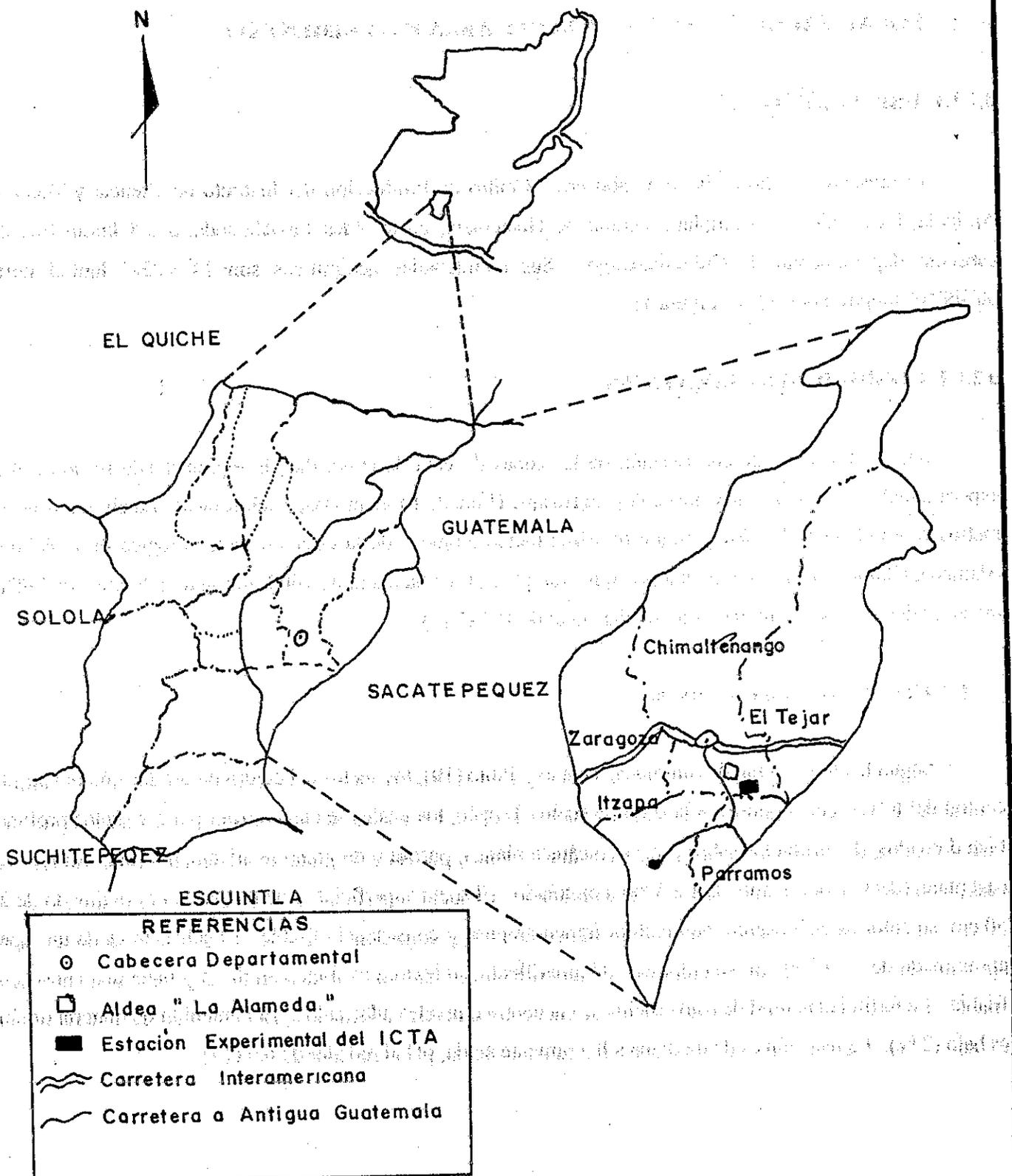


FIGURA 1. LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL AREA EXPERIMENTAL

3.2.1.4 CANTIDAD DE NUTRIENTES EN EL SUELO

Según los análisis del suelo provenientes del área experimental, efectuados en el laboratorio de suelos del ICTA, mostraron las siguientes características:

CUADRO 1. Contenido de Nutrientes en el Area Experimental

M.O	PH	CONTENIDO DE NUTRIENTES (ppm)											
		NH ₄	P	K	Ca	Mg	S	Bo	Cu	Fe	Mn	Zn	Al
1.25	5.58	8.58	9.6	193.6	766.8	93.14	5.95	0.1	0.63	5.34	2.46	0.3	6.0

FUENTE: Análisis del Laboratorio de Suelos del ICTA, 1995.

3.2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES EXPERIMENTALES

3.2.2.1 Cultivo del Maíz (Zea mays L.)

La variedad de maíz que se utilizó en este ensayo es la Don Marshall; la cual fue obtenida de un cruzamiento realizado entre líneas del CIMMYT y la variedad Barcenás 71, obteniendo así una variedad de polinización libre con grano de color amarillo semidentado, con una altura de 2.2 m. y una altura de mazorca de 1.1 m.; con 96 días a la floración después de la siembra, que se cosecha a los 5 1/2 meses después de la siembra, la cual es resistente al acame, a la roya y al tizón, con una distribución de 1500 a 1900 m.s.n.m, la cual alcanza rendimientos de 48 a 72 quintales por manzana

3.2.2.2 Frijol (Phaseolus vulgaris L.)

Planta anual que pertenece a la familia Fabaceae, originaria de América, de tallo herbáceo, con hojas compuestas de tres folíolos; sus flores se encuentran reunidas en racimos cortos, de color, blanco, violeta o rosado. De acuerdo con la variedad alcanza diferentes alturas, clasificándose en tipo arbustivo (de suelo) y

trepador o enredo (de guía). Su reproducción se hace por semilla, las que conservan su poder germinativo durante 3-4 años.

Su cultivo se encuentra distribuido en las diferentes zonas de la república, existiendo variedades específicas para climas cálidos templados y fríos, su distribución va de los 0 a 2,740 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas de 15 a 25 °C; se adapta a diferentes condiciones de suelos siempre que estos no sean demasiado pesados, prefiriendo los francos y franco arcillosos, con un pH de 6.0 a 7.5.

3.2.2.3 Vicia (Vicia sativa L.)

Es una leguminosa forrajera perteneciente a la familia de las Fabaceae; de excelente valor nutritivo, cuando se utiliza para alimentación de ganado (ya sea en estado fresco o en forma de ensilaje), así también es de gran valor como fertilizante, cuando se utiliza como abono verde, se cultiva de 920 a 2,700 metros sobre el nivel del mar; creciendo bien en diferentes condiciones de suelo, pero prefiere los franco arcillosos con un pH de 5.5 a 7.0.

3.2.2.4 Frijol Terciopelo o Mucuna (Stizolobium prurritum L.)

Es una leguminosa anual de tallos rastreros o trepadores, de rápido crecimiento, cuyos tallos alcanzan hasta 8 m. de largo, excelente como planta forrajera o para abono verde; el grano también se utiliza en forma de concentrado para el ganado en general. Se adapta a diferentes condiciones de clima, cálidos y templados, con alturas comprendidas entre los 0 a 1,370 metros sobre el nivel del mar; crece bien en diferentes condiciones de suelo, pero prefiere los que son profundos y bien drenados, con un pH de 6.0 a 7.5.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Determinar el efecto de la incorporación de los materiales orgánicos de (Rastrojo de Maíz, Frijol, Vicia y Mucuna) en la capacidad de retención y almacenamiento de agua en el suelo, en la estación experimental ICTA, La Alameda, Chimaltemango.

4.2 ESPECÍFICOS

- 4.2.1 Determinar el efecto residual de la incorporación de los materiales orgánicos con respecto a la retención de humedad, en el rendimiento de grano de Maíz (Zea mays L.) en kg./ha. de la variedad DON MARSHALL.
- 4.2.2 Establecer la curva de calibración de la Sonda de Neutrones para el suelo Serie Tecpán en la Estación experimental de La Alameda, Chimaltemango.
- 4.2.3 Determinar los índices de consumo de humedad (K_c) del Maíz (Zea mays L.) de la variedad DON MARSHALL para las diferentes fases fenológicas, mediante la medición directa de la demanda climática potencial (ETP) y la demanda máxima (ETM) del cultivo.
- 4.2.4 Establecer la disponibilidad de humedad en el suelo y su retención durante el ciclo de cultivo (época lluviosa) e inicio del período seco.

5. HIPOTESIS

- 5.1** Los materiales orgánicos incorporados (Frijol, Vicia y Mucuna) producirán el mismo efecto en cuanto al aprovechamiento, disponibilidad y retención de la humedad en el suelo.

- 5.2** El rendimiento de maíz (kg./ha) de la variedad Don Marshall se verá afectado por la retención y almacenamiento de la humedad producida por la incorporación de los diferentes materiales orgánicos en alguno de los tratamientos.

6. MATERIALES Y METODOS

6.1 TAMAÑO DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL:

La unidad experimental utilizada fue una parcela de 6 m. de largo por 6 m. de ancho, lo que es un área de 36 m². La unidad contó con seis surcos de 6 m. de largo, dejando una distancia de 1 m. entre cada uno y de 0.5 m. entre plantas. La parcela neta a utilizada fueron los surcos centrales, eliminando una planta en cada extremo. Entre cada tratamiento había un metro de distancia, y entre cada bloque había un metro de distancia. El área total del experimento tuvo una dimensión de 1008 m².

6.2 DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS

Los cuales quedaron de la siguiente manera: en el tratamiento "A" no se incorporó ningún tipo de material; el tratamiento "B" se incorporó el rastrojo de maíz, en el tratamiento "C" el residuo orgánico de frijol; en el tratamiento "D" el residuo orgánico de vicia y por último en el tratamiento "E" que fue donde se incorporó la mucuna. En todos los tratamientos los residuos orgánicos se incorporaron molidos al suelo y la cantidad fue de 8 kg. por unidad experimental (36 m²).

CUADRO 2. DIFERENTES MATERIALES ORGANICOS INCORPORADOS AL SUELO

TRATAMIENTOS	CÓDIGO	MATERIAL ORGANICO INCORPORADO
1	A	NINGUNO
2	B	RASTROJO DE MAÍZ
3	C	FRIJOL
4	D	MUCUNA
5	E	VICIA

6.3 ESTABLECIMIENTO DE LAS PARCELAS DE ENSAYO

6.3.1 PREPARACIÓN DEL SUELO

Las actividades de preparación del suelo fueron aradura, rastra y posteriormente el surqueado.

6.3.2 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Para el análisis físico del suelo de la parcela del ensayo se realizó una calicata de 1m^3 ; y se tomaron muestras de suelo en 4 estratos (de 20 cm. de espesor) los cuales fueron: de 0-20 cm., 20-40 cm., 40-60 cm. y de 60-80 cm. respectivamente, determinándose posteriormente la textura, la densidad aparente, el punto de marchitez permanente y la capacidad de campo, antes y después de la incorporación de los abonos verdes (ver Apéndice 10).

6.3.3 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Las principales características químicas que se tomaron en consideración fueron: contenido de nutrientes, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y el pH, para lo cual se tomaron muestras de suelo que se analizaron en el laboratorio de suelos del ICTA antes y después de la incorporación de los materiales orgánicos (ver cuadro 8)

6.3.4 INSTALACIÓN DEL INSTRUMENTAL PARA LA MEDICIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO.

6.3.4.1 PARA LA SONDA DE NEUTRONES.

Se instalaron 20 tubos de acceso de aluminio de 1.10 m. de altura enterrados a una profundidad de 0.8 m., colocados en el centro de cada unidad experimental.

6.3.4.2 PARA LA MEDICIÓN DE LA TENSIÓN DE HUMEDAD EN EL SUELO.

Instalación de una batería de tensiómetros de mercurio a 5 profundidades: 20, 40, 60, 80 y 100 cm. para el caso del maíz y para los materiales orgánicos (Frijol, Vicia y Mucuna), solamente a dos profundidades 20 y 40 cm.; considerando la poca profundidad del sistema radicular de éstos.

6.4 SIEMBRA Y MANEJO DE LOS CULTIVOS

6.4.1 SIEMBRA DE LOS ABONOS VERDES

En el mes de Junio del 1995 se sembraron los abonos verdes; Frijol y Mucuna a distanciamientos de 1m. entre surco y 0.3 m entre postura y Vicia solamente 1m. entre surco y distribuida en fila en el surco, los cuales se secaron, picaron y posteriormente se incorporaron en el mes de diciembre del 95.

6.4.2 PROCEDIMIENTO DE INCORPORACIÓN DE LOS DIFERENTES MATERIALES ORGÁNICOS

El procedimiento de incorporación para los diferentes materiales orgánicos se dividió en cuatro etapas. En una primera etapa se realizó el corte de los diferentes materiales orgánicos en estado fresco (verde), cuando se encontraban en su punto óptimo de producción de biomasa y madurez fisiológica a los 3 meses después de sembrados. Luego se procedió a dejar a estos materiales al aire libre durante 2 meses para que se secaran al sol; luego que los materiales se encontraban completamente secos se procedió al picado o molienda de los mismos mediante la utilización de una picadora mecánica accionada por combustible (gasolina) y por último cuando ya los materiales se encontraban completamente picados y desmenuzados se realizó la incorporación de los mismos mediante la utilización de un azadón rotativo (rotovator), incorporando 8 kg. por unidad experimental de 36 m², lo que equivale a 2,222.22 kg./ha., lo que es equivalente a 2.22 Toneladas métricas de materia seca por hectárea.

6.5 SIEMBRA DEL MAIZ.

Esta se realizó en el mes de Mayo del 1996, utilizando semilla certificada de maíz de la variedad DON MARSHALL en distanciamientos de 1m. entre surco y 0.3 m. entre postura.

Los cultivos se manejaron de acuerdo a las recomendaciones del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), en lo que se refiere a preparación del terreno, método y distanciamientos de siembra, control fitosanitario (plagas y enfermedades), control de malezas y fertilización.

6.6 CALIBRACIÓN DE LA SONDA DE NEUTRONES

Para las condiciones locales del suelo, se instalaron 20 tubos de acceso en diferentes niveles de humedad. Se tomaron muestras de suelo en los cuatro estratos: de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm. y 60-80 cm. de profundidad para los 16 tubos mencionados anteriormente, las muestras de suelo fueron colocadas en cajas de aluminio, para posteriormente determinar el contenido de humedad en base a peso a través del método gravimétrico; (ver Anexo 5). Con el aspersor de neutrones se tomaron 5 conteos estándar (C.S.), estando la fuente en la caja del aparato. Posteriormente se efectuaron las lecturas obtenidas en el campo en cada uno de los tubos (CPM), los cuales se dividieron dentro de la media de los conteos estándar, para obtener así los conteos relativos (CR).

A través de un análisis de regresión simple entre los conteos relativos (CR) y la Humedad Volumétrica del suelo obtenida por el método volumétrico se elaboró la curva de calibración por estrato para este tipo de suelo.

6.7 CALIBRACIÓN DE LOS TENSÍOMETROS

Para el caso del maíz se tomo una parcela de 2 m², se inundó dicha parcela hasta la profundidad deseada 0.8m, luego estando el suelo saturado se purga cada tensiómetro colocando los tensiómetros en el nivel cero de la escala graduada en milibares por medio de la escala graduada de la batería de tensiómetros, las lecturas reportadas por los tensiómetros indican la fuerza de tensión que ejerce el agua sobre el suelo.

Para los abonos verdes únicamente se instalaron 2 tensiometros en los estratos de 0-20 cm. y de 20-40 cm. respectivamente debido a la longitud del sistema radicular.

6.8 INSTALACIÓN DE LISÍMETROS

Se instaló un tubo de acceso de aluminio en el lisímetro de evapotranspiración real y se sembrará maíz con igual distanciamiento y manejo al de la parcela.

6.9 MANTENIMIENTO DEL LISÍMETRO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Recorte del césped para propiciar rebrote de tejido joven que garantice la máxima evapotranspiración.

6.10 MANEJO DEL ENSAYO

6.10.1 TOMA DE DATOS DE HUMEDAD DEL SUELO

Utilizando la Sonda de Neutrones se determinó la humedad instantánea en el suelo, expresada como Humedad Volumétrica en cuatro diferentes estratos: de 0-20 cm., 20-40 cm., 40-60 cm. y 60-80 cm., cuya información se recopiló en formatos. La frecuencia de la toma de datos fue de 8 días. (Ver Cuadro 11A).

6.10.2 TOMA DE DATOS DE LOS TENSIÓMETROS.

Para el caso del maíz se tomaron lecturas en los 5 estratos: de 0-20 cm., 20-40 cm., 40-60 cm, 60-80 cm. y 100 cm. Y para el caso de los abonos verdes de 0-20 cm. y de 20-40 cm., solamente debido a la longitud del sistema radicular. La frecuencia de la toma de las lecturas fue de 8 días. (Ver Cuadro 12A).

6.10.3 TOMA DE DATOS METEOROLÓGICOS

De la estación ICTA, La Alameda, Chimaltenango del INSIVUMEH, contigua a la parcela del ensayo, se tomaron los siguientes datos (Ver Cuadro 13A):

- a) Precipitación,
- b) Brillo Solar,
- c) Velocidad del Viento,
- d) Temperatura Promedio.

6.10.4 TOMA DE LOS DATOS DEL LISÍMETRO

Se realizó la lectura directa de gráficas de ETP en dicho lisímetro, obteniéndose para el período de interés la pérdida de agua por la demanda climática.

6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Luego de la obtención de los resultados, éstos se presentaron por medio de gráficas, cuadros; y se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para las variables de respuesta de: Contenido de Humedad (%) y Rendimiento de grano (kg./ha). Con las que presentaron diferencias significativas, se efectuó una prueba múltiple de medias de Tukey.

6.11.1 CURVA DE CALIBRACIÓN PARA LA SONDA DE NEUTRONES

La calibración de la sonda consta básicamente de la obtención de una recta que correlaciona los valores de RATIO de la sonda y el porcentaje (%) de humedad volumétrica de las muestras de suelo, calculada por el método gravimétrico. El modelo de calibración general es de la forma:

$$\% \text{ de humedad volumétrica (Y)} = (a+b) * \text{conteo RATIO (X)}.$$

$$\text{RATIO} = \text{conteos de sonda (CPM)} / \text{conteos de referencias (CS)}.$$

Donde el conteo de referencia o conteos estándar es fijo y generalmente es la media de varios conteos de la sonda, cuando la fuente del aparato esta en su caja protectora (2).

6.11.2 DISEÑO EXPERIMENTAL:

Para la realización del experimento se utilizó un diseño en Bloques al azar; con 5 tratamientos y 4 repeticiones, para hacer un total de 20 unidades experimentales cuyo croquis de campo y aleatorización se observa en el Anexo 1. El modelo estadístico es el siguiente:

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

donde

$$Y_{ij} = \text{Variable respuesta}$$

$$U = \text{Efecto de la media general}$$

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento

B_j = Efecto del J-ésimo bloque

E_{ij} = Efecto del error experimental .

6.11.3 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DEL CULTIVO

Este se realizó con la información de lisímetros de ETP y ETM (ver apéndice) relacionándose mediante la siguiente expresión:

$$ETM = ETP * K_c.$$

$$K_c = \frac{ETM}{ETP}$$

6.11.4 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO

La cantidad máxima de agua disponible corresponderá a la que existe entre el punto de capacidad de campo y la de un punto permanente de marchitamiento, multiplicado por la Densidad aparente (D_a) y la profundidad útil del perfil del suelo aprovechado por las raíces del cultivo (Z_r), para lo cual se mandaron muestras representativas de cada estrato a la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento (DYRIA), hoy Plan de Manejo de Áreas Bajo Riego (PLAMAR) para determinar: Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP); donde se utilizará el método de la olla de presión.

$$\text{LAMINA DE HUMEDAD DISPONIBLE (L.H.D)} = D_a * \frac{(CC - PMP)}{100} * \text{Prof. del suelo}$$

Donde:

D_a = Densidad Aparente (gr./cc.)

CC = Capacidad de Campo (%)

PMP = Punto de Marchitez Permanente (%).

Z_r = Profundidad radicular (cm.)

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados del efecto de la incorporación de 4 diferentes materiales orgánicos (maíz, frijol, mucuna y vicia) en la capacidad de Retención y Almacenamiento de Humedad en los suelos del ICTA, La Alameda, Chimaltenango.

7.1 CURVAS DE CALIBRACIÓN

Estas se dibujaron con la finalidad de poder transformar la Humedad Gravimétrica en Humedad Volumétrica a través del modelo matemático $y = a + bx$ de donde, a y b son valores constantes obtenidos mediante un análisis de regresión lineal simple y X son los conteos relativos que se obtienen directamente mediante la utilización de la sonda de neutrones. Para lo cual se obtuvo una ecuación para cada estrato. Estas curvas de calibración obtenidas son representativas para los suelos de la serie Tecpán de la estación experimental del ICTA, La Alameda, Chimaltenango; de acuerdo con el cuadro 3.

CUADRO 3. Curvas de calibración por estrato para los suelos serie Tecpán del ICTA, La Alameda Chimaltenango.

ESTRATO ESTUDIADO	ECUACION
0 – 20 centímetros	$Y = 15.777 X - 0.1298$
20 – 40 centímetros	$Y = 13.194X + 3.2106$
40 – 60 centímetros	$Y = 14.876X - 4.7869$
60 – 80 centímetros	$Y = 19.028 X - 14.061$

FUENTE: Análisis de Regresión Lineal Simple entre Conteos Relativos y Humedad Volumétrica.

Las gráficas obtenidas de la calibración de la sonda de neutrones CPN modelo 503 para los suelos de la serie Tecpán del ICTA, La Alameda Chimaltenango para los estratos de 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 centímetros, se presentan en las figuras 2 y 3 respectivamente.

Unicamente se presentan las gráficas de los primeros dos estratos debido a que la influencia de la incorporación de los diferentes materiales orgánicos en el suelo se observó principalmente en los primeros dos estratos (0 – 20 y 20 – 40 cm. respectivamente). En la figura 2 podemos observar la curva de calibración para el estrato de 0 - 20 cm, para los suelos de la serie Tecpán del ICTA, La Alameda, Chimaltenango; cuya ecuación obtenida del análisis de regresión la podemos ver en el cuadro 3 y es $Y = 15.777X - 0.1298$ con un valor de R^2

de 0.697 y mediante la utilización de esta ecuación nos facilitamos la transformación de la humedad gravimétrica en humedad volumétrica, mediante la utilización de la sonda de neutrones.

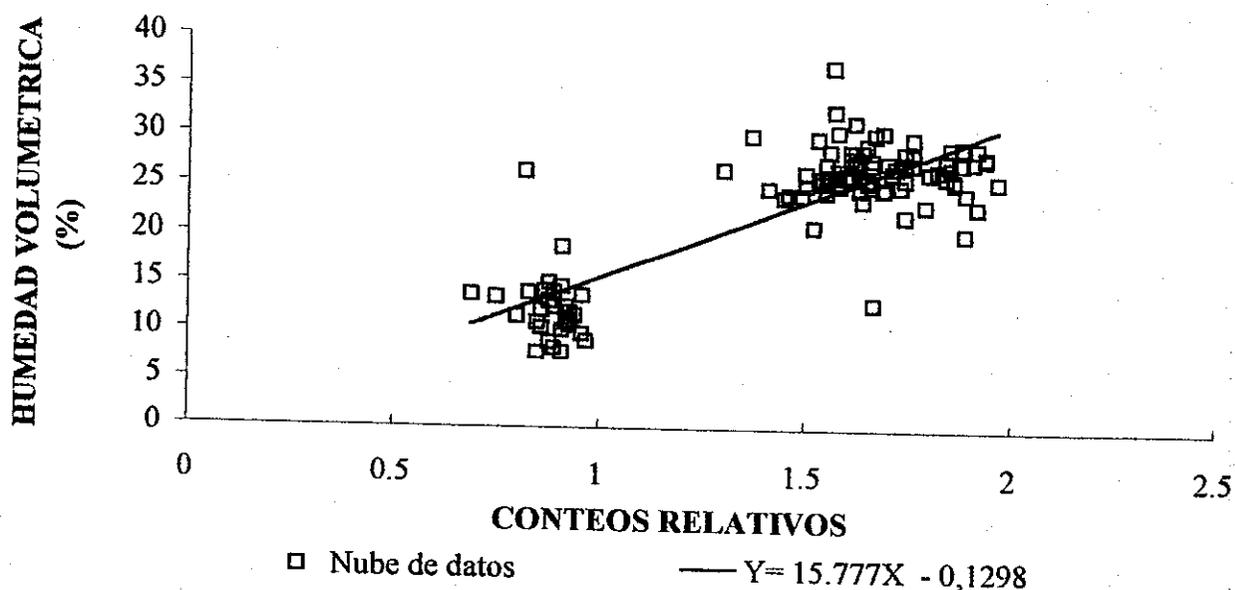


FIGURA 2. ECUACION DE LA CURVA DE CALIBRACION PARA EL ESTRATO DE 0 - 20 cm.

En la figura 3 podemos observar la curva de calibración para el estrato de 20 - 40 cm. Para los suelos de la serie Tecpán del ICTA, La Alameda, Chimaltenango, cuya ecuación y valor del coeficiente R^2 son $Y = 13.194 X + 3.2106$ y 0.5608 respectivamente.

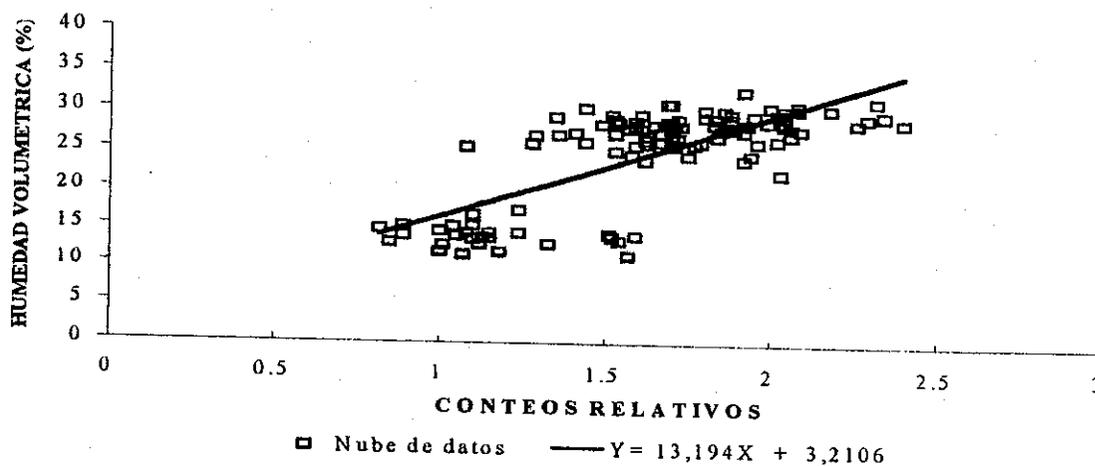


FIGURA 3. ECUACION DE LA CURVA DE CALIBRACION PARA EL ESTRATO DE 20- 40 cm.

Al igual que en la curva de calibración para el estrato de 0 – 20 cm, en el estrato de 20 – 40 cm. También se logran observar dos aglomeraciones o grupos de datos los cuales indican dos estados de humedad en el suelo, un punto en el cual el suelo está seco y por ende se registran los valores más bajos de humedad en porcentaje y otro en que el suelo está húmedo y es cuando se registran los valores más altos de humedad en porcentaje de este tipo de suelo.

7.2 HUMEDAD TENSIO MÉTRICA

Tal y como su nombre lo indica es la humedad que se registra directamente con las baterías de tensiómetros en el campo y expresa la fuerza de tensión del agua en el suelo y se expresa en unidades de tensión (Atmósferas, centibares, milibares, centímetros de agua, etc.); la cual es inversamente proporcional al contenido de humedad en el suelo.

Cabe hacer notar que para el cultivo del maíz se tomaron en cuenta 5 diferentes profundidades de muestreo considerando el sistema radicular del mismo (20, 40, 60, 80, y 100 centímetros).

Como podemos observar en las figuras 4 y 5 en las cuales se muestra el comportamiento de la succión de humedad durante la investigación y mientras duró el ciclo del cultivo del maíz, en las cuales tomando en consideración las fases fenológicas del mismo, nos podemos dar cuenta que tuvimos un déficit de humedad en las fases vegetativas y de formación de estigma, no así en las más importantes del cultivo como lo son: floración y formación de cosecha.

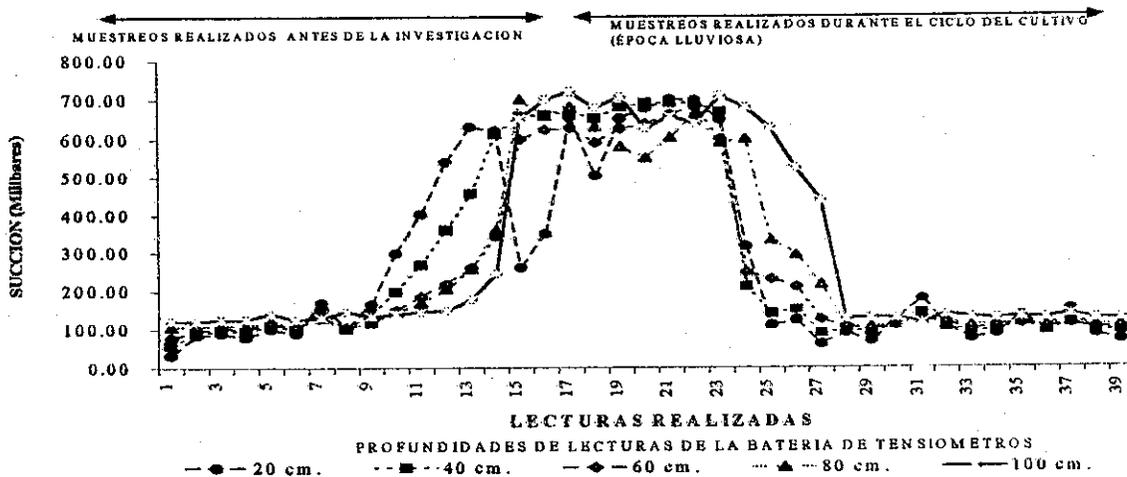


FIGURA 4. COMPORTAMIENTO DE LA SUCCION DE LA HUMEDAD PARA EL CULTIVO DEL MAIZ EN LOS SUELOS DEL ICTA, LA ALAMEDA CHIMALTENANGO EN EL PERIODO 1995-1996.

Podemos observar en la figura 4 que la humedad tensiométrica de agosto a noviembre de 1995 (muestreros del 1 al 16), se mantuvo entre los 100 y 300 milibares de succión, lo cual significa que las condiciones del suelo del ICTA se mantuvieron a capacidad de campo, posteriormente de noviembre del 95 a Abril de 1996 (muestreros 16 al 25); que fue cuando se presentó la etapa crítica con respecto a la disponibilidad de humedad en el suelo, no llegando este suelo al Punto de Marchitez Permanente (PMP), que es considerado de 750 milibares en adelante. Posteriormente en los muestreros del 26 al 40 (Mayo a Noviembre de 1996) la succión de la humedad por el cultivo se mantuvo entre los 100 a 200 milibares de tensión.

7.2.1 COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD TENSÍOMETRICA EN EL CULTIVO DEL MAIZ DURANTE EL PERIODO DE INVESTIGACIÓN (JUNIO 95 – NOVIEMBRE DE 1996):

Asimismo nos podemos dar cuenta en la figura 5, que durante el ciclo del cultivo de Mayo a Noviembre, el comportamiento de la succión de humedad en los diferentes estratos se presentó de una forma homogénea para el cultivo del maíz, manteniéndose entre 80 y 720 milibares de succión.

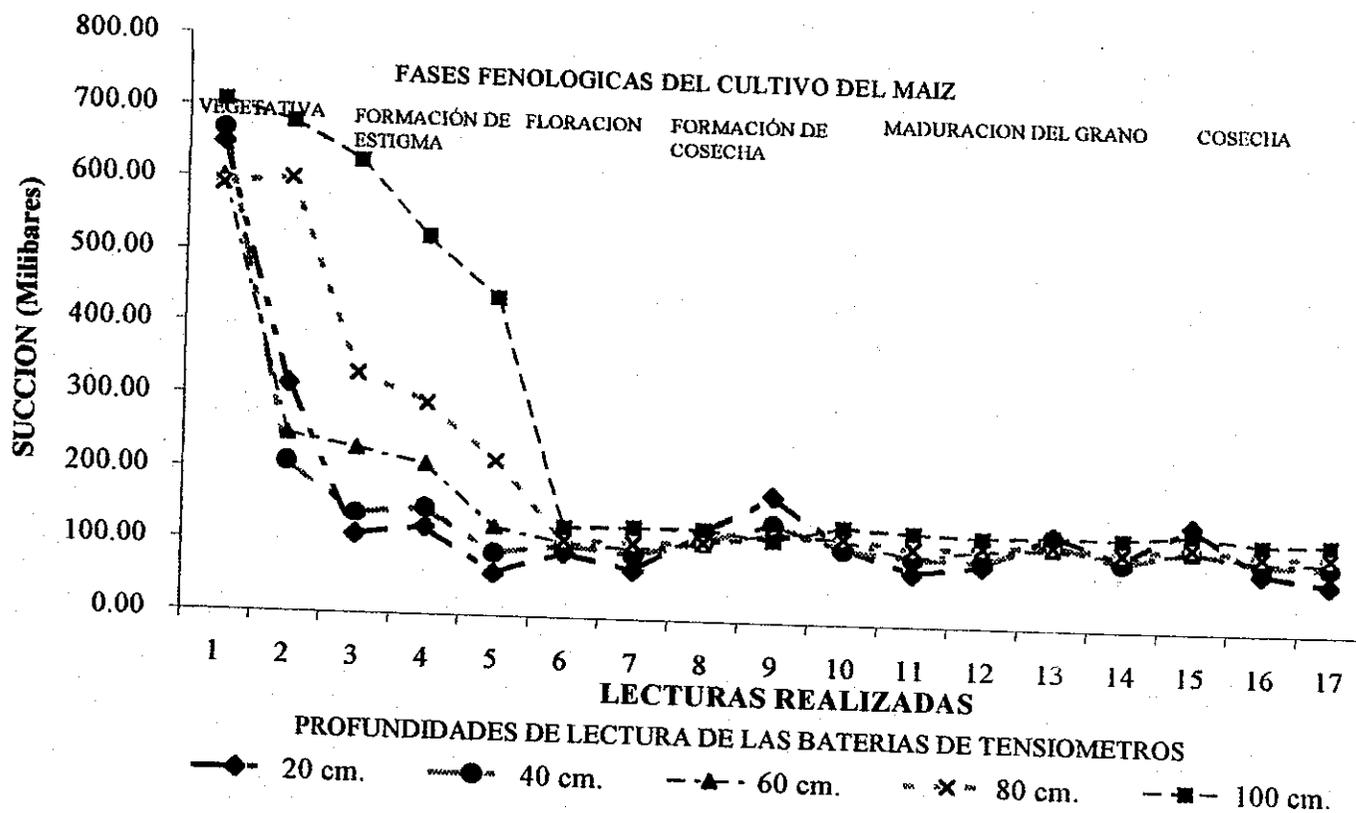


FIGURA 5. COMPORTAMIENTO DE LA SUCCION DE HUMEDAD PARA EL MAIZ DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO EN EL ICTA, La Alameda, Chimaltenango, Mayo a Noviembre de 1996

Luego podemos observar en la figura 5 que corresponde al ciclo del cultivo del maíz variedad Don Marshall, la etapa crítica con respecto a la disponibilidad de humedad para el cultivo que corresponde los muestreos del 23 al 26 y las fases fenológicas Vegetativa y de Formación de Estigma.

7.2.2 COMPORTAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE HUMEDAD EN EL SUELO DESPUÉS DE LA INCORPORACIÓN DE LOS DIFERENTES MATERIALES ORGÁNICOS (FRIJOL, MUCUNA Y VICIA)

Como podemos observar en las figuras 6 a la 8; que corresponden a los diferentes tratamientos en los cuales se incorporaron los diferentes residuos de materiales orgánicos de Mucuna, Vicia y Frijol respectivamente; la disponibilidad de humedad en el suelo para los diferentes tratamientos se mantuvo entre los 100 y 700 milibares de succión, lo cual significa que el suelo se mantuvo a capacidad de campo no llegando al punto de marchitez permanente.

En la figura 6, se puede apreciar el comportamiento de la succión de humedad después de la incorporación del material orgánico de mucuna, en el cuál se presentó cierto déficit de humedad en la fase vegetativa del cultivo del maíz, llegando a los 700 milibares de succión, y manteniéndose a niveles adecuados durante el resto del ciclo del cultivo.

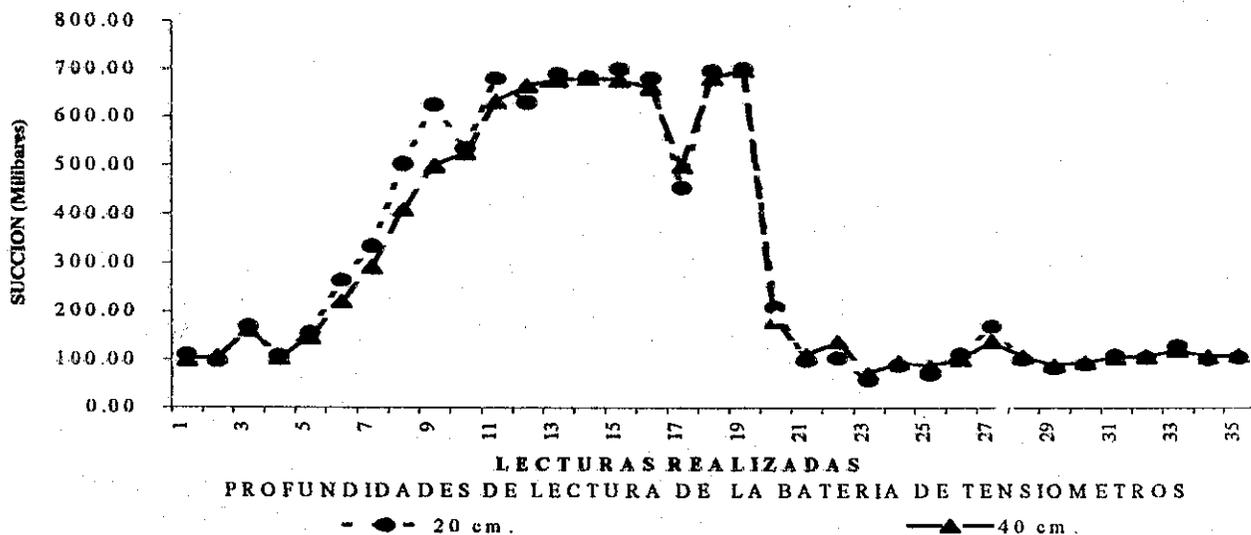


FIGURA 6. COMPORTAMIENTO DE LA SUCCION DE HUMEDAD PARA LA MUCUNA, EN LOS SUELOS DEL ICTA La Alameda Chimaltenango 1995-1996.

En la figura 7, se puede apreciar el comportamiento de la succión de humedad obtenida por medio de la batería de tensiómetros para el tratamiento en el cual se incorporó el material orgánico de vicia, en la cual observamos que al igual que donde se incorporó el material orgánico de mucuna hubo un déficit hídrico en la fase vegetativa. Pero el contenido de humedad en términos generales se mantuvo a niveles adecuados durante el ciclo del cultivo.

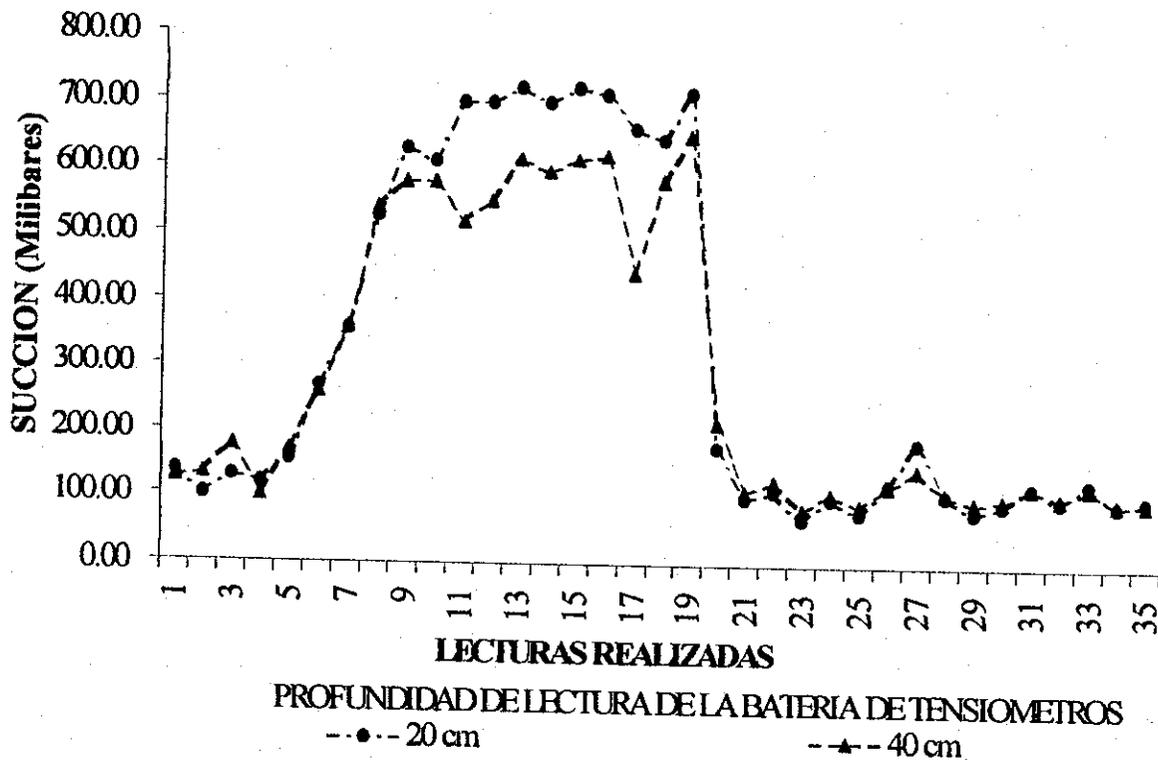


FIGURA 7. COMPORTAMIENTO DE LA SUCCION DE HUMEDAD PARA LA VICIA EN LOS SUELOS DEL ICTA, La Alameda, Chimaltenango 1995-1996.

En la figura 8, podemos observar el comportamiento de la succión de humedad en el tratamiento en el cual se incorporó el residuo del material orgánico de frijol, en la cual se puede ver que al igual que donde se incorporó mucuna y vicia; la fase del ciclo del cultivo del maíz en la cual se notó un déficit de humedad, fue en la vegetativa.

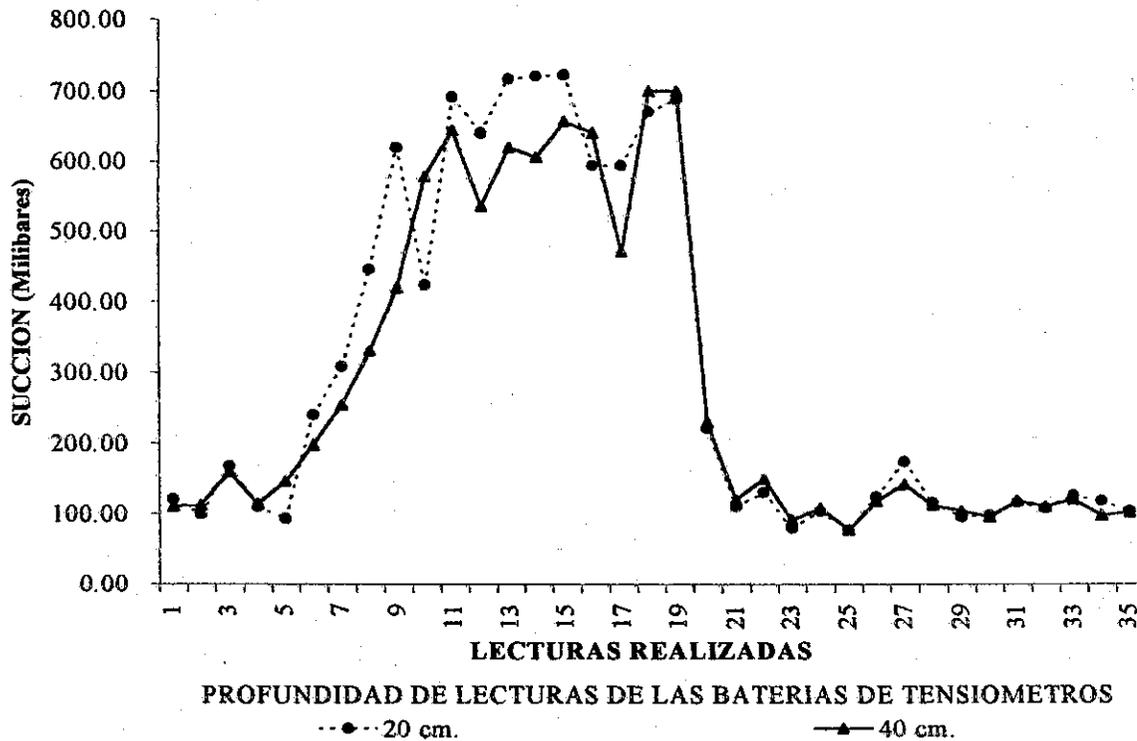


FIGURA 8. COMPORTAMIENTO DE LA SUCCION DE HUMEDAD PARA EL FRIJOL EN LOS SUELOS DEL ICTA, La Alameda, Chimaltenango 1995-1996

7.3 RENDIMIENTO (kg./ha.)

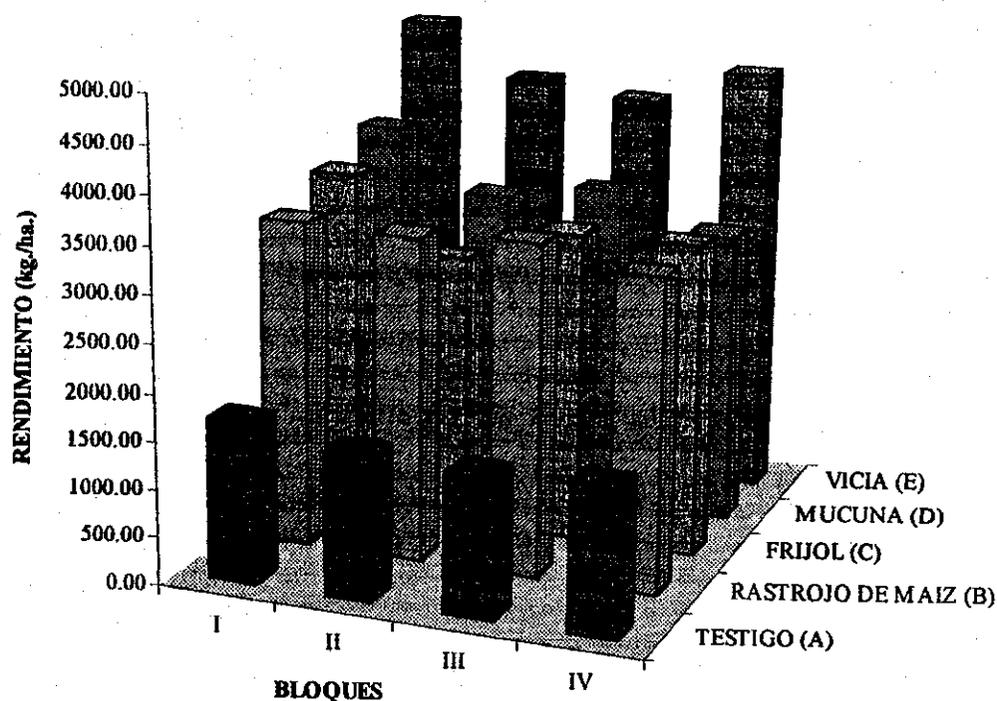
Cabe hacer notar que los resultados obtenidos no fueron los esperados debido a factores adversos que se presentaron en la etapa de campo y los cuales eran casi imposibles de controlar (Heladas, Ataque de Roedores etc.); más sin embargo si se dieron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos evaluados.

Como podemos observar en el cuadro 4 y en la figura 9; que el mayor rendimiento de grano de maíz (kg./ha) de la variedad Don Marshall se obtuvo en el tratamiento (E) en el cual se incorporó el material orgánico de Vicia (*vicia sativa* L.) con un rendimiento medio de grano de 4,595.13 kg./ha.; seguido del tratamiento (D), con una media de 3,490.91 kg./ha. y el tercer lugar se obtuvo en el tratamiento (B) que corresponde al rastrojo de maíz con una media de 3,426.35 kg./ha. Existiendo una diferencia significativa entre el tratamiento E y el tratamiento D de 24.04% y entre el tratamiento D y el tratamiento B del 1.4%.

CUADRO 4. RENDIMIENTOS OBTENIDOS DE MAÍZ DE LA VAR. DON MARSHALL (kg./ha.), EN EL ICTA, La Alameda Chimaltenango 1,996.

TRATAMIENTOS (material orgánico incorporado)	BLOQUES				MEDIA
	I	II	III	IV	
TESTIGO (A)	1697,46	1513,92	1466,25	1543,15	1555,19
RASTROJO DE MAIZ (B)	3465,15	3433,25	3508,75	3298,25	3426,35
FRIJOL (C)	3708,54	2932,56	3312,48	3329,86	3320,86
MUCUNA (D)	3983,54	3331,76	3505,38	3140,96	3490,41
VICIA (E)	4995,56	4415,98	4292,18	4676,81	4595,13

FUENTE: Datos de Campo.



■ TESTIGO (A) ■ RASTROJO DE MAIZ (B) ■ FRIJOL (C) ■ MUCUNA (D) ■ VICIA (E)

FIGURA 9. COMPORTAMIENTO DEL RENDIMIENTO DE MAIZ DE LA variedad DON MARSHALL (kg./ha), OBTENIDOS EN EL ICTA, La Alameda Chimaltenango 1,996.

7.4 HUMEDAD VOLUMÉTRICA (%)

Este parámetro evaluado se obtuvo mediante la medición directa en conteos por minuto (CPM) con la sonda de neutrones CPN modelo 503 de la Dirección General de Energía Nuclear (DGEN), que posee una fuente radioactiva de Americio - Radio - Berilio obteniéndose los resultados que se presentan en los cuadros (Humedad Volumétrica).

Como podemos observar en la figura 9 y el cuadro 5; para el estrato de 0 - 20 cm. la mayor concentración de humedad se obtuvo en el tratamiento B que fue donde se incorporó el residuo orgánico de rastrojo de maíz obteniéndose una media de 20.11%, seguido del tratamiento en el cual se incorporó como residuo orgánico la biomasa de vicia (E), con una media de 19.79% y en tercer lugar el tratamiento D donde se incorporó el material orgánico de mucuna con un valor medio de 19.55% de Humedad.

A la profundidad de 20 a 40 centímetros, el mejor tratamiento fue donde se incorporó Vicia (E) con una media de 25.97% seguido del tratamiento en el cual se incorporó el rastrojo de maíz (B) con 25.41%. Para el estrato de 40 - 60 el mejor tratamiento fue donde se incorporó rastrojo de maíz (B) con una media de 23.09%, seguido del tratamiento E con una media de 22.31%. Por último en el estrato de 60 - 80 centímetros, el tratamiento que presentó la mayor retención y almacenamiento de la humedad fue donde se incorporó la biomasa de frijol con una media de 26.49% seguido del tratamiento en el cual se incorporó vicia con 26.10%.

CUADRO 5. VALORES PROMEDIO DE HUMEDAD (%) OBTENIDOS MEDIANTE LA UTILIZACION DE LA SONDA DE NEUTRONES EN EL ICTA, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO EN EL PERIODO 1995-96.

TRATAMIENTOS Material orgánico	ESTRATOS DE SUELO MUESTREADOS			
	0-20 cm.	20-40 cm.	40-60 cm.	60-80 cm.
TESTIGO (A)	19.49	20.60	19.85	22.95
RASTROJO DE MAIZ (B)	20.11	25.41	23.09	25.36
FRIJOL (C)	19.13	20.98	21.01	26.49
MUCUNA (D)	19.55	22.62	21.34	25.78
VICIA (E)	19.79	25.97	22.31	26.10

Fuente: Muestreos realizados con la sonda de neutrones de junio de 1995 a noviembre de 1996.

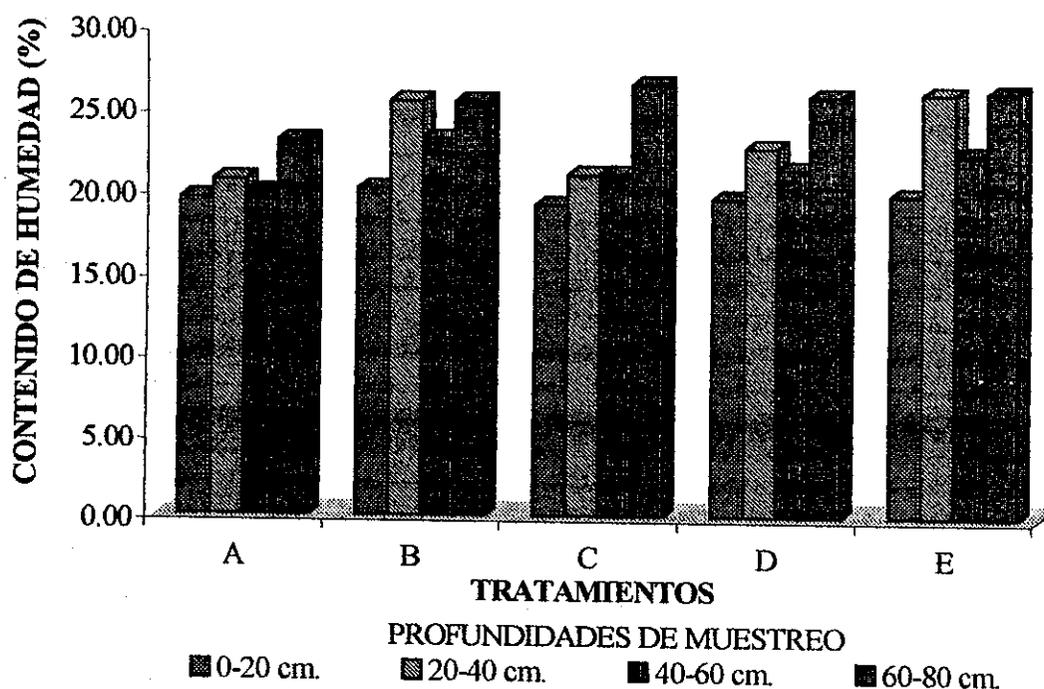


FIGURA 10. VALORES PROMEDIO DE HUMEDAD (%) POR ESTRATO OBTENIDAS CON LA SONDA DE NEUTRONES PARA CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS EN EL ICTA La Alameda, Chimaltenango, 1995-96.

7.5 VALORES DE HUMEDAD OBTENIDOS POR MEDIO DE LOS LISÍMETROS

Como se puede observar en el cuadro 6, los valores más altos de humedad se registraron en el lisímetro de evapotranspiración potencial (césped), mientras que para el lisímetro de evapotranspiración real, donde estuvo el cultivo del maíz, se registraron valores de humedad comprendidos entre el 26.20 al 37.13% de humedad para el estrato de 0-20 cm; de 27.44 al 30% para el estrato de 20-40 cm; de 20.11 al 25% para el estrato de 40-60 y por último de 16.86 al 26.61% de humedad registrada mediante la utilización de la sonda de neutrones.

Mientras que para el lisímetro en el cual se encontraba sembrado césped registró valores de humedad en el rango comprendido del 30.98% al 48.25% durante el período comprendido de mayo a noviembre de 1996.

CUADRO 6. COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD (%), REGISTRADA POR MEDIO DE LA SONDA DE NEUTRONES PARA LOS LISÍMETROS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (MAIZ) Y POTENCIAL (CESPED), EN EL PERÍODO DE MAYO A NOVIEMBRE DE 1,996.

Fechas	FASES FENOLOGICAS	CONTEOS ESTÁNDAR	MAIZ				CESPED			
			20 cm.	40 cm.	60 cm.	80 cm.	20 cm.	40 cm.	60 cm.	80 cm.
07/05/96	Siembra	14279,30	28,92	27,95	20,11	17,03	41,64	38,97	36,35	38,43
16/05/96	Vegetativa	14337,20	30,63	30,00	25,00	26,61	43,15	39,37	36,29	37,60
29/05/96		14301,60	37,13	29,43	24,09	16,86	48,25	39,62	36,36	30,98
06/06/96		14451,20	37,12	29,35	23,97	17,49	47,57	39,33	35,78	32,01
18/07/96		Formación de Estigma	14336,40	26,20	27,83	23,90	25,31	41,96	39,52	35,86
24/07/96	14729,00		26,54	27,44	22,85	23,83	42,57	38,87	34,64	35,37
31/07/96	14741,80		29,23	28,79	24,04	24,38	42,47	39,29	36,38	36,93
07/08/96	Floración		14641,40	29,15	28,90	23,94	25,43	42,93	39,28	36,73
14/08/96		14481,40	28,30	28,67	24,05	24,75	42,44	40,02	36,81	37,71
21/08/96		14744,00	30,92	27,81	23,40	22,99	44,64	38,66	35,37	36,16
28/08/96		14343,80	31,06	29,23	24,36	25,92	45,72	39,84	36,39	37,41
04/09/96	Formación de Cosecha	14314,60	28,32	28,77	24,47	23,41	43,32	39,82	36,47	36,25
11/09/96		14366,80	29,63	28,83	24,07	24,11	45,37	38,37	36,71	36,05
18/09/96		14396,20	28,45	28,95	24,72	25,58	44,15	39,90	37,28	37,67
02/10/96		Maduración del grano	14418,80	28,00	28,39	24,43	25,47	41,32	34,42	36,71
16/10/96	14289,00		29,38	29,21	24,42	25,69	45,51	40,64	37,95	37,66
06/11/96	Cosecha		14326,00	28,93	29,03	24,62	26,02	45,35	40,60	37,29

FUENTE: LECTURAS TOMADAS CON LA SONDA DE NEUTRONES

7.6 COMPORTAMIENTO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL Y LA PRECIPITACIÓN

Como se observa en el cuadro 7 y la figura 11, que nos muestra el comportamiento de la evapotranspiración potencial y la precipitación, observamos que en los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre la precipitación superó a la evapotranspiración a excepción de los meses de octubre y noviembre que la evapotranspiración superó a la precipitación. Siendo la precipitación total durante el ciclo del cultivo de 1,014.1 mm y la evapotranspiración de 708.14 mm.

CUADRO 7. COMPORTAMIENTO DE LA EVAPOTRANSPIRACION (mm) Y LA PRECIPITACION (mm) DURANTE LA INVESTIGACION EN EL ICTA, La Alameda, Chimaltenango 1996.

MES	PRECIPITACION PLUVIAL (mm)	EVAPOTRANSPIRACION (mm)
Mayo	143.9	108.89
Junio	223.3	108.16
Julio	188.00	108.73
Agosto	149.2	112.68
Septiembre	205.2	100.00
Octubre	80.6	94.6
Noviembre	23.9	75.08

FUENTE: Estación Meteorológica, La Alameda, Chimaltenango.

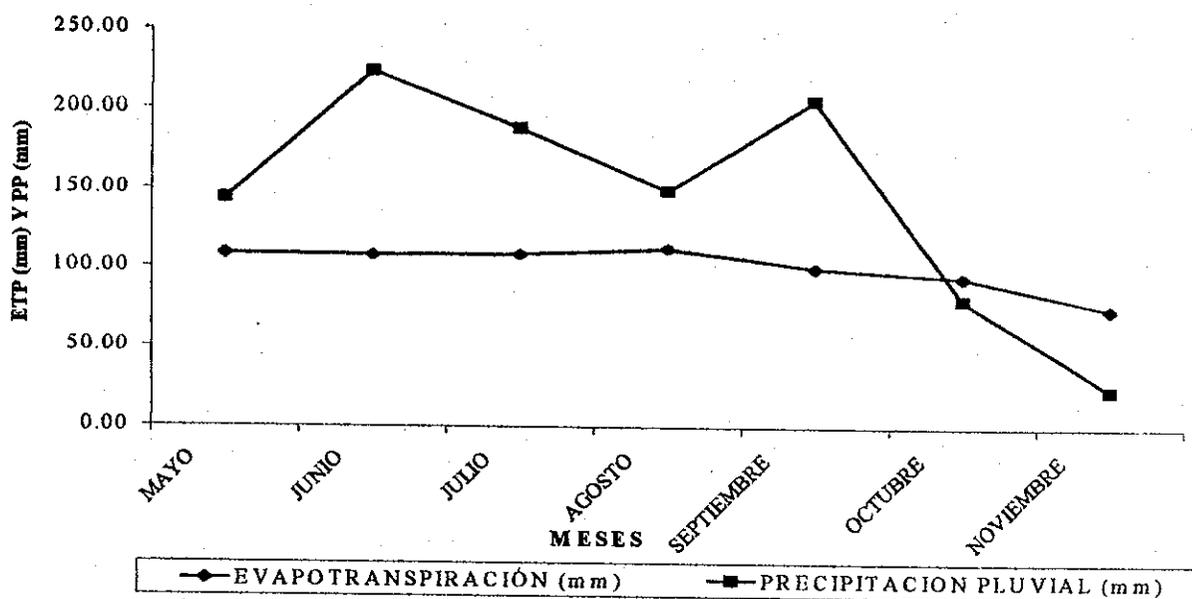


FIGURA 11. COMPORTAMIENTO DE LA ETP (mm) Y LA PP (mm), DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO DEL MAIZ VAR. DON MARSHALL EN EL ICTA, LA Alameda, Chimaltenango 1,996.

7.7 CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL SUELO ANTES Y DESPUÉS DE LA INCORPORACIÓN DE LOS DIFERENTES MATERIALES ORGÁNICOS.

Tal y como podemos observar en el cuadro 8, todos los tratamientos mostraron un notable incremento en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), asimismo podemos observar un aumento del porcentaje de saturación de bases (%SB) en los tratamiento donde se incorporó mucuna (D). También nos podemos dar cuenta de que en todos los tratamientos donde se incorporo algún residuo orgánico perteneciente a la familia de las fabaceae (frijol, mucuna y vicia), el contenido de materia orgánica (%), se vió incrementado después de la incorporación de estos.

CUADRO 8. CONTENIDO DE NUTRIENTES ANTES Y DESPUES DE LA INCORPORACION DE LOS DIFERENTES MATERIALES ORGÁNICOS

TRATAMIENTOS EVALUADOS	M.O (%)	Contenido de nutrientes expresado en (Meq/100 cc.)						S.B. (%)	Contenido de nutrientes expresado en (p.p.m.)			
		CIC	Ca	Mg	Na	K	H		Fe	Cu	Mn	Zn
Testigo (A) 1	3.42	25.75	5.05	0.80	0.47	0.54	19.02	26.63	16.88	2.51	1.38	0.75
Testigo (A) 2	3.21	28.58	4.55	0.72	0.34	0.53	22.43	22.01	38.25	4.43	3.75	1.00
Maíz (B) 1	3.66	25.62	4.68	0.87	0.34	0.53	22.43	22.01	38.25	4.43	3.75	1.00
Maíz (B) 2	3.24	28.89	4.62	0.74	0.40	0.65	19.02	25.96	18.13	2.81	1.38	0.63
Frijol (C) 1	3.63	26.24	4.30	0.62	0.59	0.41	20.01	24.63	18.00	2.63	1.50	0.63
Frijol (C) 2	4.17	26.51	4.62	0.72	0.34	0.51	19.55	26.54	34.88	4.08	3.38	0.75
Mucuna (D) 1	3.59	26.07	4.55	0.78	0.40	0.57	19.56	25.00	17.88	2.40	1.25	0.88
Mucuna (D) 2	3.78	29.39	4.74	0.71	0.35	0.71	23.02	21.67	36.88	4.05	3.88	0.88
Vicia (E) 1	3.53	25.12	4.62	0.71	0.48	0.48	18.86	25.02	15.63	2.33	1.38	0.50
Vicia (E) 2	3.74	28.35	4.87	0.59	0.33	0.40	22.67	20.04	33.38	4.21	3.50	1.00

1/Contenido de nutrientes en el suelo antes de la incorporación de los residuos orgánicos

2/ Contenido de nutrientes en el suelo después de la incorporación de los residuos orgánicos

FUENTE: LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA DEL ICTA.

7.8 CALCULO DEL COEFICIENTE DEL CULTIVO A NIVEL OCTADAL

Para el cálculo del coeficiente del cultivo a nivel octadal se consideró la información obtenida en los lisímetros de Evapotranspiración Potencial (Césped) y el de Evapotranspiración Máxima del cultivo bajo estudio (Maíz) mediante la utilización de la sonda de Neutrones, tal y como se aprecia en el cuadro 9

7.9 BALANCE HÍDRICO

El Balance Hídrico es una contabilización de las entradas y salidas de agua de un ecosistema dado considerando un intervalo de tiempo (8 días). En cuanto al balance hídrico podemos observar, que no hubo un déficit hídrico en las etapas más importantes del cultivo del maíz, como lo son: Formación de Estigma y Floración. Llegando a alcanzar valores más críticos de la relación ETR/ETM en la fase de formación de Estigma y Floración (1.342 y 1.2405 respectivamente), lo que indica que no está en un punto de equilibrio. Mientras se reporta un déficit hídrico de 2.3924 en la etapa de formación de cosecha, etapa en la cual el déficit de humedad no afectó significativamente al cultivo (ver cuadro 9).

CUADRO 9. BALANCE HIDRICO SOBRE LA INVESTIGACION DEL EFECTO DE LA INCORPORACION DE MATERIALES ORGANICOS EN LA DISPONIBILIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN EL ICTA, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO CON DATOS A PARTIR DE 2-8-95 AL 4-12-96.

FECHAS DE LECTURAS	ALM. (mm)	# DIAS	DIF. ALM.	PP (mm)	E.T.R	ETR/DIA	ETR/ETM (Kc)	FASES FENOLOGICAS
2/8/95	234.58							
11/8/95	223.19	9	-11.39	42.9	54.29	6.0322222		
18/8/95	226.87	7	3.68	28.4	24.72	3.5314285		
23/8/95	212.77	5	-14.1	31	45.1	9.02		
12/9/95	232.89	20	20.12	131.2	111.08	5.554		
23/9/95	219.17	11	-13.72	87	100.72	9.1563636		
2/2/96	104.16	132	-115.01	207.6	322.61	2.4440151		
8/2/96	121.27	6	17.11	0	-17.11	-2.851666		
14/2/96	138.52	6	17.25	0	-17.25	-2.875		
21/2/96	140.23	7	1.71	0	-1.71	-0.244285		
01/3/96	142.5	13	2.27	0	-2.27	-0.174615		
06/3/96	139.89	5	-2.61	0	2.61	0.522		
13/3/96	138.37	7	-1.52	0	1.52	0.2171428		
20/3/96	136.3	7	-2.07	0	2.07	0.2957142		
28/3/96	134.16	8	-2.14	0	2.14	0.2675		
10/4/96	131.32	13	-2.84	0	2.84	0.2184615		
17/4/96	127.88	7	-3.44	5.1	8.54	1.22		
24/4/96	132.89	7	5.01	5.7	0.69	0.0985714		
16/5/96	146.66	22	13.77	110.2	96.43	4.3831818	0.912571	Vegetativa
29/5/96	177.94	13	31.28	93.8	62.52	4.8092307	1.021028	
06/6/96	181.1	8	3.16	58.7	55.54	6.9425	1.011518	
18/7/96	209.77	42	28.67	270.8	242.13	5.765	0.989186075	Formación de Estigma
24/7/96	193.59	6	-16.18	66.3	82.48	13.746666	1.342469767	
31/7/96	199.49	7	5.9	36.5	30.6	4.3714285	0.896755854	
07/8/96	188.62	7	-10.87	0	10.87	1.5528571	0.4218787	Floración
14/8/96	195.02	7	6.4	41.1	34.7	4.9571428	0.893984284	
21/8/96	202.07	7	7.05	36	28.95	4.1357142	1.240519347	
28/8/96	207.14	7	5.07	72.1	67.03	9.5757142	0.919478738	
04/9/96	201.64	7	-5.5	2.5	8	1.1428571	1.030131342	
11/9/96	205.6	7	3.96	88.2	84.24	12.034285	0.97353519	Formación de Cosecha
18/9/96	200.08	7	-5.52	24	29.52	4.2171428	2.392414296	
02/10/96	206.26	14	6.18	100.5	94.32	6.7371428	0.835962704	Maduración del Grano
16/10/96	198.58	14	-7.68	62	69.68	4.9771428	0.630109238	
06/11/96	193.31	21	-5.27	18.9	24.17	1.1509523	0.825566366	Cosecha

FUENTE: DATOS OBTENIDOS DE LOS LISIMETROS DE EVAPOTRANSPIRACION REAL Y POTENCIAL.

7.10 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO

Tal y como podemos observar en el cuadro 10 la capacidad de almacenamiento agua En los suelos de la serie Tecpán del ICTA, La Alameda Chimaltenango hasta una profundidad de 80 cm. (0.80 m) es de 17.76 mm.

CUADRO 10. CALCULO DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL PERFIL DEL SUELO ESTUDIADO.

ESTRATO (cm)	C.C (%)	P.M.P (%)	Da (g/cc)	PROFUNDIDAD (cm.)	LAMINA (mm)
0.-20	22.89	8.51	1.3728	20	3.95
20-40	24.21	8.56	1.2805	20	4.00
40-60	23.68	8.31	1.269	20	3.90
60-80	26.25	9.91	1.272	20	3.91
TOTAL					15.76 mm

8. CONCLUSIONES

- 8.1 De los diferentes materiales orgánicos incorporados al suelo fueron los tratamientos (E) y (D) en los cuales se incorporó Vicia (Vicia sativa), y Mucuna (Stizolobium prurimum) los que presentaron las medias más alta con respecto a l rendimiento de grano de maíz de la variedad Don Marshall (4,595.13 y 3,490.41 kg./ha) , mientras que el rendimiento más bajo se obtuvo en el tratamiento en el cuál no se incorporó ningún tipo de material orgánico (A) (1,555.19 kg./ha)..
- 8.2 Las curvas de calibración para los suelos de la serie Tecpán del ICTA, La Alameda, Chimaltenango de los diferentes estratos estudiados fueron las siguientes: estrato de 0-20 cm ($Y = 15.777X - 0.1298$); estrato de 20-40 cm ($Y = 13.194X + 3.2106$); estrato de 40-60 cm. ($Y = 14.876X - 4.7869$) y por último para el estrato de 60-80 cm. ($Y = 19.028X - 14.061$).
- 8.3 En cuanto al almacenamiento y retención de humedad en el suelo, los materiales orgánicos incorporados al suelo que dieron los mejores resultados en el estrato de 0-20 cm fueron : El tratamiento (B) que corresponde al residuo orgánico de Rastrojo de Maíz con una media de 20.11% de humedad y el tratamiento (E) que corresponde al residuo orgánico de vicia con una media de 19.79%; mientras que para el estrato de 20-40 los mejores tratamientos fueron (E) donde se incorporó el material orgánico de vicia y el tratamiento(B) donde de se incorporó el rastrojo de maíz con valores de 25.97 y 25.41% respectivamente; tal y como lo podemos observar en la figura 10 y el cuadro 5.
- 8.4 Los valores calculados del coeficiente del cultivo (kc) para las diferentes fases fenológicas del maíz de la variedad Don Marshall fueron: fase vegetativa 0.982; formación de estigma 1.076; floración 0.902; formación de cosecha 0.973; 0.733 en la fase de maduración del grano y por último 0.825 en la fase final del ciclo del cultivo, la cosecha.
- 8.5 Los suelos de la estación experimental del ICTA, La Alameda, Chimaltenango; mantuvieron la humedad disponible para las plantas ya que la fuerza de succión registrada por las diferentes baterías de tensiómetros se mantuvo entre los 100 y 700 milibares de succión, lo que se encuentra por debajo del punto de marchitez permanente (mayor de 700 milibares de succión)
- 8.6 La respuesta de la incorporación de los diferentes materiales orgánicos al suelo, en cuanto a la capacidad de almacenamiento y retención de humedad se observó principalmente en los primeros 40 cm (0.4 m) del suelo.

- 8.7 Con respecto al contenido de nutrientes solamente se observó un notable incremento en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en todos los los tratamientos evaluados. Así también el porcentaje de saturación de bases (%SB) mostró un incrementó principalmente en el tratamiento "C", donde se incorporó el material orgánico de frijol (de 24.63 al 26.54%); El Calcio (Ca) únicamente se incrementó donde se incorporó Mucuna (Tratamiento D), Al igual que el Fe, Cu, Mn y Zn se vió incrementado considerablemente en todos los tratamientos, a excepción del tratamiento donde se incorporó mucuna (E) en donde permaneció constante el contenido de Zn en el suelo.

9. RECOMENDACIONES

- 9.1 Debido a que los rendimientos más altos de grano de maíz de la variedad Don Marshall se obtuvieron donde se incorporaron los materiales orgánicos de Vicia (Tratamiento E) y Mucuna (Tratamiento D) (4,595.13 y 3,490.41 kg. /ha. respectivamente); se recomienda la utilización de estos incorporados al suelo.
- 9.2 Se recomienda la utilización de los materiales orgánicos de rastrojo de maíz (Tratamiento B) y Vicia (Tratamiento E) que fueron los que presentaron la media más alta en cuanto al almacenamiento y retención de humedad en el suelo (20.11 y 19.79% respectivamente) , estos dos materiales orgánicos predominaron en los primeros dos estratos del suelo (0-20 y 20-40 cm. respectivamente)..
- 9.3 Se recomienda utilizar en futuras investigaciones altas cantidades de biomasa (8 – 10 toneladas métricas /ha.) incorporadas al suelo, para poder obtener mejores resultados principalmente en los primeros 2 estratos del suelo (20 y 40 cm. de profundidad) y dejar un mayor tiempo de descomposición (3-5 años).

10. BIBLIOGRAFIA

- (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 la determinación de la evapotranspiración en El Oasis, La Fragua, zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 99 p.
- (2) AYALA MARROQUIN, M. E. 1992. Efecto de cuatro frecuencias de riego en el rendimiento y la evapotranspiración del maíz (Zea mays L.) en la unidad de riego de San Cristobal Acasaguastlán, El Progreso. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 101 p.
- (3) BALDIZON, J. R. 1983. Determinación de la evapotranspiración por medio de lisímetro y comparación de resultados con las fórmulas empíricas aplicadas en Guatemala. Teis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 72 p.
- (4) CASTRO MAGAÑA, M. 1976. Consumo de agua para el cultivo del maíz (Zea mays L.), en la unidad de riego El Tempisque. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 58 p.
- (5) CRUZ, J. R. DE LA. Clasificación de zonas de vida a nivel de reconocimiento Guatemala, Instituto Nacional Forestal p. 29 – 33.
- (6) DONAHUE, R. L.; MILLER, A. H.; SHICKLUNA, J. C. 1987. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. México, Prentice-Hall Hispanoamericana. 624 p.
- (7) DOOREMBOS, J.; PRUIT, W. O. 1986. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, FAO. Serie de Riego y Drenaje no. 24 110 p.
- (8) DUNN, T.; LEOPOLD, L. B. 1978. Water in environmental planning. Colorado, EE.UU., Freeman. 818 p.
- (9) FIGUEROA, I. 1987. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y la evapotranspiración del cultivo del frijol en la unidad de riego San Jerónimo, Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 82 p.
- (10) GARCIA ALDANA, M. R. 1987. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y la evapotranspiración del maíz (Zea mays L.) en el valle de La Fragua, Zacapa, Tesis de Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 58 p.

- (11) GRASSI, C. J.; 1978. Aspectos metodológicos para la determinación experimental de la evapotranspiración y la frecuencia de riego. Venezuela, CIDIAT. 110 P.
- (12) ISRAELSEN, O. N.; HANSEN, V. E. 1976. Principios y aplicaciones de riego. Trad. Por Alberto García. Barcelona, España, Reverte. 276 p.
- (13) JENKINS, M.T. 1932. Differential resistance or hibred and crossbre strins of corn to drought and heat injury. Journals of American-Society of Agronomy (EE.UU.) no 24 p. 504-506.
- (14) MARAUX, F.; RAPIDEL, B. 1,990. La simulación del balance hídrico; aplicación para la determinación de fechas de siembra Proyecto Regional de Agrometeorología. Costa Rica, CATIE. 31 p.
- (15) MOSCOSO, E.A. 1990. Evaluación del rendimiento de seis frecuencias de riego sobre el cultivo del brócoli, usando el método del balance hídrico, tipo FAO/OMN en la unidad de riego Laguna El Hoyo, Monjas Jalapa. Tesis Ing. Agr.. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 73 p.
- (16) PENMAN, J. 1989. Evapotranspiración potencial. Colombia, Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras. 72 p.
- (17) PEREZ ARANA, G.S. 1993. Estudio del efecto de prácticas agronómicas y mecánicas de conservación de humedad en el suelo, sobre el rendimiento del cultivo del maíz (*Zea mays* L.), en la aldea San Juan, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, facultad de Agronomía. 54 p.
- (18) SANDOVAL ILLESCAS, J. E. 1989. Principio de riego y drenaje, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 345 p
- (19) SIMMONS, CH.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1945. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.



Rolando Barrios.

Vo. Bo. Udine Rolando Aragón Barrios
Coordinador CEDIA

APENDICES

APENDICE 1.

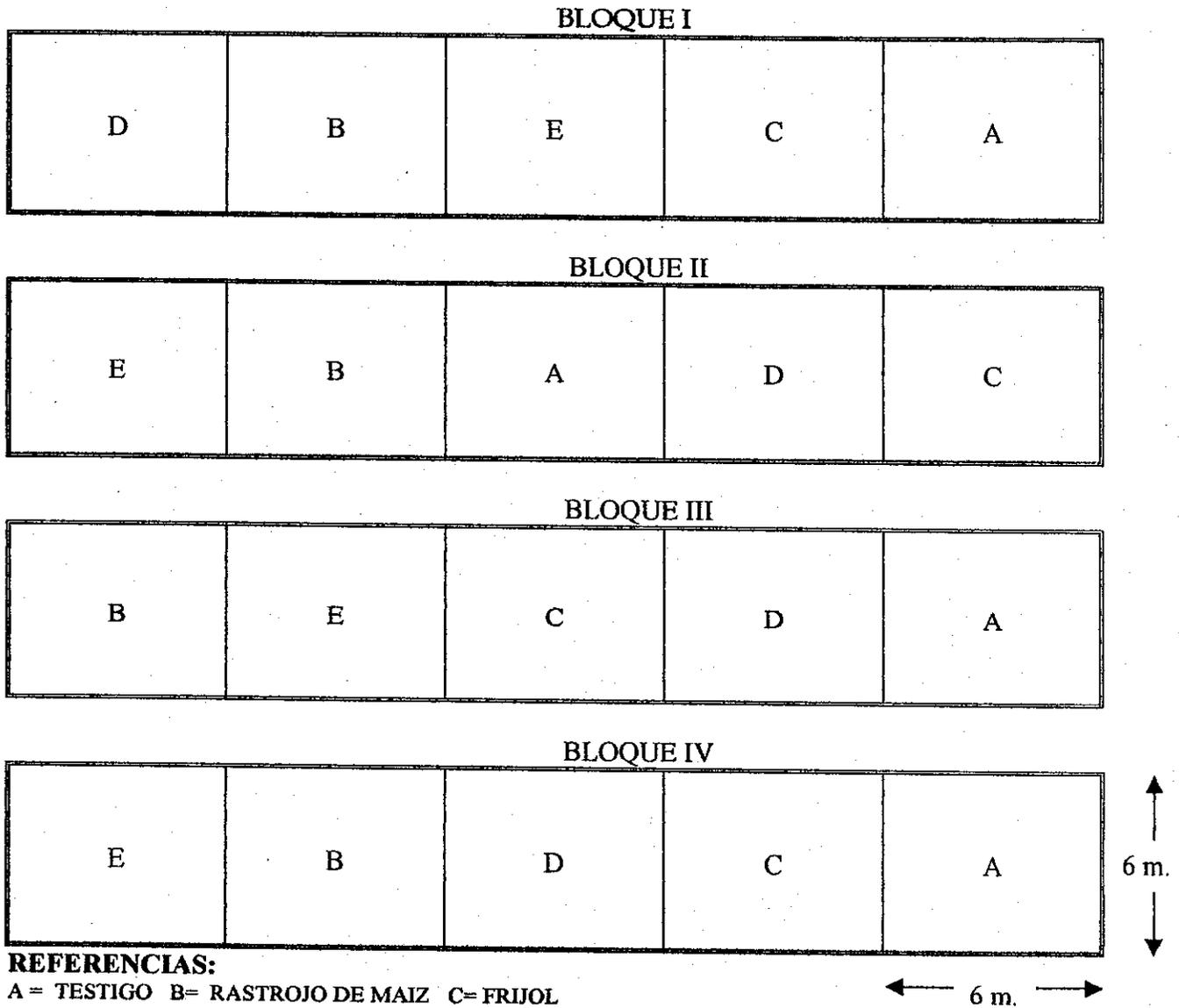


FIGURA 12 A. CROQUIS DE CAMPO Y ALEATORIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS, EN UN DISEÑO DE BLOQUES AL AZAR CON 5 TRATAMIENTOS Y 4 REPETICIONES.

APENDICE 2

CUADRO 11 A. BOLETA PARA LA RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA POR MEDIO DE LA SONDA DE NEUTRONES..

TRATAMIENTOS	BLOQUES	PROFUNDIDAD (cm)/LECTURAS				CONTEOS ESTÁNDAR	
		20	40	60	80		
D	I					1	
B	I					2	
E	I					3	
C	I					4	
A	I					5	
E	II					MEDIA	
B	II						
A	II						
D	II						
C	II						
B	III						
E	III						
C	III						
D	III						
A	III						
E	IV						
B	IV						
D	IV						
C	IV						
A	IV						

FECHA:

MUESTREO No:

**REFERENCIAS: A = TESTIGO B = RASTROJO DE MAIZ C = FRIJOL D = MUCUNA
E = VICIA.**

APENDICE 3.

CUADRO 12 A. BOLETA PARA OBTENER LA INFORMACION DE CAMPO DE LAS BATERIAS DE TENSIOMETROS, EN EL ENSAYO DE INCORPORACION DE RESIDUOS ORGANICOS, REALIZADO EN EL ICTA, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO.

Fecha: _____ Muestreo No.: _____

CULTIVOS	SUCCION (milibares) EN LAS DIFERENTES PROFUNDIDADES (cm.)					
	PROFUNDIDADES (cm.)	20 cm.	40 cm.	60 cm.	80 cm.	100 cm.
Maiz						
Mucuna						
Vicia						
Frijol						

**APENDICE 6. Análisis de Varianza (ANDEVA) y prueba de medias de Tukey para la 59
humedad volumétrica (%) en el ICTA, La Alameda, Chimaltenango.**

CUADRO 15 A. COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD VOLUMETRICA (%), PARA

TRATAMIENTOS	BLOQUES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
TESTIGO (A)	19.84	19.74	18.88	19.49	77.94	19.49
RASTROJO (B)	20.30	21.20	20.05	18.90	80.45	20.11
FRIJOL (C)	19.09	18.39	19.98	19.06	76.52	19.13
MUCUNA (D)	19.50	19.66	19.95	19.09	78.21	19.55
VICIA (E)	19.28	20.01	20.33	19.55	79.18	19.79
TOTAL	98.01	99.00	99.20	96.10	392.30	98.08
MEDIA	19.60	19.80	19.84	19.22	78.46	19.62

CUADRO 15 A.1 RESUMEN DEL ANALISIS DE VARIANZA PARA EL ESTRATO DE 0-20 cm.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	4	2.13887	0.5347175	1.47	3.26	5.41
Bloques	3	1.208655	0.402885	1.11	N.S	N.S
Error	12	4.36077	0.3633975			
Total	19	7.708295				

C. V. (%) 3.07%

**CUADRO 16 A COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD VOLUMETRICA (%), PARA
EL ESTRATO DE 20-40 cm.**

TRATAMIENTOS	BLOQUES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
TESTIGO (A)	20.94	19.98	20.65	20.84	82.41	20.60
RASTROJO (B)	27.26	27.40	24.03	22.97	101.65	25.41
FRIJOL (C)	20.36	21.36	21.24	20.97	83.93	20.98
MUCUNA (D)	22.26	22.36	23.36	22.51	90.49	22.62
VICIA (E)	25.18	26.95	26.52	25.22	103.87	25.97
TOTAL	116.00	118.05	115.79	112.51	462.35	115.59
MEDIA	23.20	23.61	23.16	22.50	92.47	23.12

CUADRO 16 A.1 RESUMEN DEL ANALISIS DE VARIANZA PARA EL ESTRATO DE 20 A 40 cm.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	4	98.11792	24.52948	17.89	3.26	5.41
Bloques	3	3.15004	1.050013333	0.76581	*	**
Error	12	16.45336	1.37111333			
Total	19	117.72132				

C. V. (%) 5.06%

CUADRO 16 A.2 MATRIZ DE DIFERENCIAS PARA LAS MEDIAS DE HUMEDAD VOLUMETRICA (%) PARA EL ESTRATO DE 20-40

60

Tratamientos	25.97	25.41	22.62	20.98	20.60
TESTIGO (A)	20.60 ** 5,36	** 4,81	N.S. 2,02	N.S. 0,38	N.S. 0
FRIJOL (C)	20.98 ** 4,98	** 4,43	N.S. 1,64	N.S. 0	
MUCUNA (D)	22.62 ** 3,34	N.S. 2,79	N.S. 0		
RASTROJO (B)	25.41 N.S. 0,55	N.S. 0			
VICIA (E)	25.97 N.S. 0				

N.S. = NO SIGNIFICATIVO ** = ALTAMENTE SIGNIFICATIVO (1%)

Anexo 6. Análisis del contenido de humedad volumétrica (%)

CUADRO 16 A.3 TABLA RESUMEN DE LA PRUEBA DE TUKEY PARA EL ESTRATO DE 20-40 cm.

VICIA (E)	25.9673	A
RASTROJO (B)	25.4127	A B
MUCUNA (D)	22.6229	B C
FRIJOL (C)	20.9824	C D
TESTIGO (A)	20.6030	C D E

CUADRO 17 A COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD VOLUMETRICA (%), PARA EL ESTRATO DE 40-60 cm.

TRATAMIENTOS	BLOQUES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
TESTIGO (A)	18.16	20.32	20.05	20.84	79.38	19.85
RASTROJO (B)	24.38	23.46	22.41	22.13	92.38	23.09
FRIJOL (C)	21.00	21.68	20.64	20.73	84.04	21.01
MUCUNA (D)	21.43	20.78	22.41	20.74	85.37	21.34
VICIA (E)	22.45	24.16	21.20	21.44	89.26	22.31
TOTAL	107.42	110.40	106.71	105.89	430.42	107.61
MEDIA	21.48	22.08	21.34	21.18	86.08	21.52

CUADRO 17 A.1 RESUMEN DEL ANALISIS DE VARIANZA PARA EL ESTRATO DE 40-60 cm.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	Fc	Ft	0.05	0.01
Tratamientos	4	24.85057	6.2126425	5.79	3.26		5.41
Bloques	3	2.324575	0.7748583		*		**
Error	12	12.87915	1.0732625				
Total	19	40.054295					

C. V. (%) 4.81%

Prueba Multiple de Medias de Tukey
Comparador (W) = 0,518*5,41 = 2,80

**CUADRO 18 A.3 TABLA RESUMEN DE LA PRUEBA DE TUKEY PARA
EL ESTRATO DE 60-80 cm.**

FRIJOL (C)	23.0938	A
VICIA (E)	22.3144	A B
MUCUNA (D)	21.3418	A B C
RASTROJO (B)	21.0097	A B C D
TESTIGO (A)	19.8455	C D E

CUADRO 19 A. RENDIMIENTO DE MAIZ DE LA VAR. DON MARSHALL (kg/ha), OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE ABONOS VERDES, EN EL ICTA, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO 1,996.

TRATAMIENTOS	BLOQUES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
TESTIGO (A)	1697.46	1513.92	1466.25	1543.15	6220.78	1555.19
RASTROJO (B)	3465.15	3433.25	3508.75	3298.25	13705.40	3426.35
FRIJOL (C)	3708.54	2932.56	3312.48	3329.86	13283.44	3320.86
MUCUNA (D)	3983.54	3331.76	3505.38	3140.96	13961.64	3490.41
VICIA (E)	4995.56	4415.98	4292.18	4676.81	18380.53	4595.13

CUADRO 19 A.1 RESUMEN DE ANDEVA PARA EL RENDIMIENTO DE GRANO (kg/ha)

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	4	19087449.64	4771862.41	4.00	3.26	5.41
Bloques	3	593511.98	197837.33			
Error	12	444041.69	37003.47			
Total	19	20125003.31				

* COEFICIENTE DE VARIACION = 5.86%

CUADRO 19 A.2 MATRIZ DE DIFERENCIAS PARA LOS VALORES MEDIOS DE RENDIMIENTO (kg/ha) PARA EL MAIZ DE LA var. DON MARSHALL, EN EL ICTA, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO 1996.

Tratamientos	4595.13	3490.41	3426.35	3320.86	1555.19
TESTIGO (A)	1555.19 ** 3039,94	** 1935,22	** 1871,16	** 1765,67	N.S. 0
FRIJOL (C)	3320.86 ** 1274,27	** 169,55	** 105,49	N.S. 0	
RASTROJO (B)	3426.35 ** 1168,78	** 64,06	N.S. 0		
MUCUNA (D)	3490.41 ** 1104,72	N.S. 0			
VICIA (E)	4595.13 N.S. 0				

N.S. = NO SIGNIFICATIVO

** = ALTAMENTE SIGNIFICATIVO (1%)

CUADRO 19 A.3 TABLA RESUMEN DE LA PRUEBA DE TUKEY PARA EL RENDIMIENTO (kg/ha)

VICIA (E)	4595.1335	A
MUCUNA (D)	3490.4100	B
RASTROJO (B)	3426.3505	C
FRIJOL (C)	3320.8610	D
TESTIGO (A)	1555.1943	E

APENDICE 8.

INFORMACION UTILIZADA PARA EL CALCULO DEL BALANCE HIDRICO Y LOS COEFICIENTES DE LAS DIFERENTES FASES FENOLOGICAS DEL CULTIVO DEL MAIZ var. DON MARSHALL.

EVAPOTRANSPIRACION REAL (ETR)				EVAPO EVAPOTRANP. MAXIMA (ETM)			
MAIZ				GRAMA			
FECHA	PROF	H.VOL.mmr	PROF.mm	ALM.	H.VOL.mn	PROF	MACENAMIENTO (mm)
6/6/96	20	0.23335	300	70.005	0.33555	300	100.665
	40	0.26769	200	53.538	0.38698	200	77.396
	60	0.23895	200	47.79	0.39497	200	78.994
	80	0.23329	100	23.329	0.39391	100	39.391
TOTAL ALMACENAMIENTO				194.662			296.446
18/7/96	20	0.24804	300	74.412	0.34902	300	104.706
	40	0.29106	200	58.212	0.39297	200	78.594
	60	0.28707	200	57.414	0.39588	200	79.176
	80	0.30647	100	30.647	0.38922	100	38.922
TOTAL ALMACENAMIENTO				220.685			301.398
24/7/96	20	0.29977	300	89.931	0.38922	300	116.766
	40	0.28423	200	56.846	0.39471	200	78.942
	60	0.27763	200	55.526	0.39555	200	79.11
	80	0.23243	100	23.243	0.33851	100	33.851
TOTAL ALMACENAMIENTO				225.546			308.669
31/7/96	20	0.30277	300	90.831	0.38773	300	116.319
	40	0.28634	200	57.268	0.39557	200	79.114
	60	0.27932	200	55.864	0.39409	200	78.818
	80	0.2396	100	23.96	0.34987	100	34.987
TOTAL ALMACENAMIENTO				227.923			309.238
07/8/96	20	0.21232	300	63.696	0.33942	300	101.826
	40	0.26752	200	53.504	0.39451	200	78.902
	60	0.27645	200	55.29	0.39169	200	78.338
	80	0.29667	100	29.667	0.38753	100	38.753
TOTAL ALMACENAMIENTO				202.157			297.819
14/8/96	20	0.22101	300	66.303	0.3538	300	106.14
	40	0.27044	200	54.088	0.39808	200	79.616
	60	0.27362	200	54.724	0.3904	200	78.08
	80	0.29327	100	29.327	0.3826	100	38.26
TOTAL ALMACENAMIENTO				204.442			302.096
21/8/96	20	0.24343	300	73.029	0.35328	300	105.984
	40	0.28579	200	57.158	0.40316	200	80.632
	60	0.28568	200	57.136	0.40795	200	81.59
	80	0.29782	100	29.782	0.39508	100	39.508
TOTAL ALMACENAMIENTO				217.105			307.714
28/8/96	20	0.24119	300	72.357	0.35463	300	106.389
	40	0.28511	200	57.022	0.40031	200	80.062

	60	0.28269	200	56.538	0.4086	200	81.72
	80	0.30388	100	30.388	0.39102	100	39.102
TOTAL ALMACENAMIENTO				216.305			307.273
04/9/96	20	0.23159	300	69.477	0.34677	300	104.031
	40	0.27941	200	55.882	0.40405	200	80.81
	60	0.28073	200	56.146	0.40496	200	80.992
	80	0.29534	100	29.534	0.39402	100	39.402
TOTAL ALMACENAMIENTO				211.039			305.235
11/9/96	20	0.23141	300	69.423	0.35856	300	107.568
	40	0.28089	200	56.178	0.40036	200	80.072
	60	0.28558	200	57.116	0.40714	200	81.428
	80	0.29992	100	29.992	0.3914	100	39.14
TOTAL ALMACENAMIENTO				212.709			308.208
18/9/96	20	0.29955	300	89.865	0.40883	300	122.649
	40	0.28322	200	56.644	0.40221	200	80.442
	60	0.27522	200	55.044	0.34112	200	68.224
	80	0.22817	100	22.817	0.33621	100	33.621
TOTAL ALMACENAMIENTO				224.37			304.936
25/9/96	20	0.23721	300	71.163	0.36685	300	110.055
	40	0.28161	200	56.322	0.4054	200	81.08
	60	0.28059	200	56.118	0.41046	200	82.092
	80	0.29853	100	29.853	0.38837	100	38.837
TOTAL ALMACENAMIENTO				213.456			312.064
2/10/96	20	0.23422	300	70.266	0.3665	300	109.95
	40	0.28036	200	56.072	0.40597	200	81.194
	60	0.28324	200	56.648	0.40518	200	81.036
	80	0.30178	100	30.178	0.38984	100	38.984
TOTAL ALMACENAMIENTO				213.164			311.164
16/10/96	20	0.2157	300	64.71	0.36183	300	108.549
	40	0.26893	200	53.786	0.4041	200	80.82
	60	0.27656	200	55.312	0.41121	200	82.242
	80	0.29921	100	29.921	0.38651	100	38.651
TOTAL ALMACENAMIENTO				203.729			310.262
06/11/96	20	0.21592	300	64.776	0.36202	300	108.606
	40	0.26899	200	53.798	0.40743	200	81.486
	60	0.27391	200	54.782	0.40978	200	81.956
	80	0.29822	100	29.822	0.40193	100	40.193
TOTAL ALMACENAMIENTO				203.178			312.241
30/10/96	20	0.22142	300	66.426	0.33661	300	100.983
	40	0.27014	200	54.028	0.40562	200	81.124
	60	0.27627	200	55.254	0.41005	200	82.01
	80	0.29451	100	29.451	0.39728	100	39.728
TOTAL ALMACENAMIENTO				205.159			303.845

APENDICE 9

66

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN CON LA FORMULA DE PENMAN

Programa: CIRAD / IRAT

ESTACIÓN: ICTA, La Alameda, Chimaltenango

AÑO: 1,996

VALOR DEL ALBEDO: 0,20

ALTURA DEL ANEMÓMETRO: 4.0 m.

(Corrección efectuada en velocidad del viento para estandarizarla a 10 m.)

MES DE MAYO

	INSOL (HRA)	VIENTO (m/s)	T MED	E VAP	E SAT	RG	RAD	ADV	ETP
DEC 13	61.90	1.16	19.26	18.76	22.31	81.14	32.98	4.26	37.23
DEC 14	42.87	1.06	19.08	17.81	22.05	69.22	28.97	5.01	34.01
DEC 15	51.14	1.81	17.98	16.65	20.57	78.15	31.31	6.45	37.75
TOTAL	155.91	1.34	18.77	17.74	21.64	228.51	93.26	15.72	108.99

MES DE JUNIO

	INSOL (HRA)	VIENTO (m/s)	T MED	E VAP	E SAT	RG	RAD	ADV	ETP
DEC 16	65.30	0.97	19.34	18.25	22.41	81.98	32.94	4.76	37.71
DEC 17	66.00	1.08	18.85	17.24	21.74	82.12	32.16	5.39	37.54
DEC 18	40.85	0.98	18.18	16.02	20.85	67.04	27.15	5.78	32.91
TOTAL	172.15	1.01	18.79	17.17	21.67	231.14	92.25	15.93	108.16

MES DE JULIO

	INSOL (HRA)	VIENTO (m/s)	T MED	E VAP	E SAT	RG	RAD	ADV	ETP
DEC 19	39.80	1.34	18.09	16.00	20.72	66.45	27.01	6.26	33.26
DEC 20	56.40	1.06	18.50	16.68	21.26	76.49	30.03	5.53	35.56
DEC 21	64.00	1.27	18.13	15.80	20.78	85.56	32.83	7.08	39.91
TOTAL	160.20	1.22	18.24	16.16	20.92	228.50	89.87	18.87	108.73

MES DE AGOSTO

	INSOL (HRA)	VIENTO (m/s)	T MED	E VAP	E SAT	RG	RAD	ADV	ETP
DEC 22	71.00	1.07	18.02	17.70	20.64	85.79	33.06	3.63	36.73
DEC 23	80.30	1.07	18.27	17.83	20.97	91.63	34.75	3.82	38.58
DEC 24	61.40	1.25	18.04	16.93	20.64	84.18	32.15	5.22	37.37
TOTAL	212.70	1.13	18.11	17.49	20.75	261.60	99.96	12.67	112.68

MES DE SEPTIEMBRE

	INSOL (HRA)	VIENTO (m/s)	T MED	E VAP	E SAT	RG	RAD	ADV	ETP	
DEC 25	50.29	0.85	18.63	18.11	21.43		72.65	29.29	3.73	33.02
DEC 26	67.40	1.05	18.80	18.10	21.68		82.26	31.78	4.27	36.05
DEC 27	43.40	1.07	18.39	17.77	21.11		66.56	26.80	4.14	30.93
TOTAL	161.09	0.99	18.61	17.99	21.41		221.47	87.87	12.14	100.00

MES DE OCTUBRE

	INSOL (HRA)	VIENTO (m/s)	T MED	E VAP	E SAT	RG	RAD	ADV	ETP	
DEC 28	52.99	0.86	18.55	18.72	21.32		70.80	27.87	2.98	30.87
DEC 29	67.40	1.05	18.80	18.11	21.68		77.39	28.81	4.27	33.06
DEC 30	54.14	1.06	17.94	17.79	20.52		71.40	27.04	3.65	30.67
TOTAL	174.53	0.99	18.43	18.21	21.17		219.59	83.72	10.90	94.60

MES DE NOVIEMBRE

	INSOL (HRA)	VIENTO (m/s)	T MED	E VAP	E SAT	RG	RAD	ADV	ETP	
DEC 31	60.20	1.41	16.22	15.94	18.56		68.96	23.53	3.67	27.23
DEC 32	49.60	1.32	15.34	15.40	17.50		61.31	20.93	3.11	24.04
DEC 33	59.29	1.19	15.75	16.07	17.88		65.05	21.29	2.50	23.81
TOTAL	169.09	1.31	15.77	15.80	17.98		195.32	65.75	9.28	75.08

MES DE DICIEMBRE

	INSOL (HRA)	VIENTO (m/s)	T MED	E VAP	E SAT	RG	RAD	ADV	ETP	
DEC 34	73.30	1.27	15.26	13.62	17.31		71.23	20.44	5.38	25.81
DEC 35	74.42	1.24	15.61	15.07	17.72		71.08	21.18	3.67	24.86
DEC 36	66.22	1.25	15.22	14.73	17.25		70.03	21.33	3.95	25.29
TOTAL	213.94	1.25	15.36	14.47	17.43		212.34	62.95	13.00	75.96

ANALISIS FISICO - QUIMICOS DE SUELOS DEL ICTA, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO.

SECTOR PUBLICO AGROPECUARIO Y DE ALIMENTACION
 INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS
 LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA
 7A. AVENIDA 3-67 ZONA 13
 FINCA NACIONAL "LA AURORA"
 TELFAX 502 2 720161
 GUATEMALA, C.A.

MUESTRAS: SUELOS
 PROCEDENCIA: GUATEMALA, GUATEMALA
 INTERESADO: DGEN-MARTA A. ALFARO

OFICIO No: LS-96-148
 INGRESO No: 1362-1369
 FECHA DE INGRESO:
 PROCESAMIENTO: 28-6-96

DATOS DEL LABORATORIO

INGRESO	%		me/100 cc					%				
	M.O.	CIC	Ca	Mg	Na	K	H*	S.B.	Fe	Cu	ppm	
											Mn	Zn
1362	* 4.20	** 29.70	4.49	0.58	0.31	0.51	23.81	19.93	35.5	4.30	3.5	1.0
1363	3.98	* 28.80	4.24	0.58	0.26	0.66	23.06	19.93	39.5	3.45	4.0	0.5
1364	3.59	** 28.80	4.49	0.66	0.25	0.60	22.80	20.83	43.0	4.15	4.0	1.0
1365	3.53	** 29.52	5.49	0.82	0.29	0.68	22.24	24.66	39.5	4.50	5.0	1.0
1366	3.25	** 29.34	4.74	0.62	0.30	0.55	23.13	21.17	34.5	3.95	3.0	1.5
1367	2.86	* 29.16	5.24	0.74	0.31	0.44	22.43	23.08	32.5	3.50	3.0	0.5
1368	2.97	** 28.26	5.49	0.78	0.34	0.47	21.18	25.05	39.0	4.20	3.5	1.0
1369	3.47	** 32.40	4.49	0.62	0.32	0.47	26.50	18.21	32.0	3.50	2.5	0.5
1370	3.47	* 27.90	3.74	0.53	0.28	0.48	22.87	18.03	33.5	3.85	2.5	1.0
1371	2.86	** 31.60	4.74	0.74	0.32	0.38	15.42	28.61	38.5	4.50	3.0	1.0
1372	2.52	** 25.38	4.24	0.70	0.30	0.36	19.78	22.06	48.0	4.50	4.5	1.0
1373	2.91	* 29.88	4.49	0.74	0.31	0.69	23.65	20.85	36.0	3.90	3.5	1.0
1374	3.42	** 29.88	4.24	0.66	0.30	0.49	24.19	19.04	34.5	4.30	2.5	1.0
1375	3.59	** 26.10	3.99	0.62	0.23	0.44	20.80	20.20	37.5	4.00	3.0	1.0
1376	3.31	** 29.34	3.99	0.70	0.40	0.53	23.72	19.15	34.5	4.35	3.0	1.0
1377	2.80	* 29.34	4.99	0.78	0.32	0.44	22.81	22.26	36.0	4.25	3.5	1.0

* = Ingreso en M.O.
 ** = Ingreso en CIC.

hoja 2.....
LS-96-148
DGEN

INGRESO	%		me/100 cc					%				
	M.O.	CIC	Ca	Mg	Na	K	H*	S.B.	Fe	Cu	Mn	Zn
1378	* 3.47	* 29.88	4.49	0.76	0.30	0.60	23.71	20.65	36.0	5.30	4.5	1.0
1379	* 3.53	* 29.34	4.74	0.70	0.30	0.56	23.04	21.47	35.5	4.30	4.0	1.0
1380	* 4.03	* 29.88	4.24	0.66	0.53	0.49	23.96	19.81	32.5	3.40	3.0	1.0
1381	* 3.59	* 28.08	3.74	0.45	0.30	0.34	23.25	17.20	29.0	3.45	2.5	1.0
1382	2.52	* 27.36	3.74	0.53	0.35	0.39	22.35	18.31	27.5	3.40	3.0	1.0
1383	3.59	- 25.92	4.24	0.58	0.34	0.36	15.26	41.13	41.5	4.85	4.5	1.0
1384	* 3.87	* 28.98	4.49	0.58	0.32	0.35	23.24	19.81	36.0	5.00	4.5	1.0
1385	* 4.48	* 29.88	4.49	0.62	0.33	0.42	24.02	19.61	31.5	3.95	3.0	0.5
1386	* 3.75	* 30.24	5.24	0.86	0.36	0.69	23.09	23.64	36.0	4.20	4.5	1.0
1387	2.97	* 27.00	4.99	0.78	0.34	0.35	20.54	23.93	39.5	4.45	3.5	1.0
1388	3.53	* 27.86	4.74	0.66	0.33	0.34	21.29	22.19	34.5	4.15	3.0	1.0
1389	2.91	- 20.88	3.74	0.58	0.37	0.31	15.88	23.95	31.0	3.20	2.0	0.5

*Por diferencia con respecto a CTI. Fe, Cu, Mn y Zn, extraídos con HCl 0.1 N.

Atentamente:

Mgh de Colocha
Ing. Margarita H. Colochas
Jefe de Laboratorio



Mgh/mahp
cc archivo.

SECTOR PUBLICO AGROPECUARIO Y DE ALIMENTACION
 INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS
 LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA
 7A. AVENIDA 3-67 ZONA 13
 GUATEMALA, C.A.

OFICIO No: 19-95-212

INGRESO No: 2311-2348

FECHA DE INGRESO:

PROCESAMIENTO: 26/11/95

MUESTRAS: SUELOS
 PROCEDENCIA: DBEN
 INTERESADO: MARIA ANTONIETA ALFARO

DATOS DEL LABORATORIO

INGRESO	%			CLASE TEXTURAL	M.O.	CIC	mg/100 cc					ppm				
	ARCILLA	LIMO	ARENA				Ca	Hg	Na	K	H+	S.B.	Fe	Cu	Mn	Zn
2311	6.12	9.81	84.07	ARENA FRANCA	3.75	25.30	4.99	0.82	0.45	0.56	10.44	27.11	17.5	3.00	1.5	1.0
2312	6.16	14.04	77.80	FRANCO ARENOSO	4.26	24.30	5.24	0.82	0.44	0.64	17.16	29.38	19.5	3.00	1.5	1.0
2313	8.37	15.97	75.46	FRANCO ARENOSO	4.26	24.30	4.24	0.62	0.36	0.41	18.67	23.17	14.5	2.40	1.0	0.5
2314	6.37	14.31	77.12	FRANCO ARENOSO	4.03	25.90	4.49	0.62	0.36	0.71	19.72	23.86	16.5	2.40	1.5	0.5
2315	6.32	9.59	84.09	ARENA FRANCA	4.71	25.40	4.74	0.66	0.39	0.52	19.89	24.84	16.0	2.60	1.0	0.5
2316	8.24	13.79	77.97	FRANCO ARENOSO	3.87	25.50	4.49	0.78	0.50	0.57	19.24	24.55	16.5	2.50	1.0	1.0
2317	10.66	13.93	75.41	FRANCO ARENOSO	4.48	26.59	5.24	0.86	0.36	0.52	19.01	28.51	19.0	3.20	1.0	1.0
2318	8.57	11.83	79.59	FRANCO ARENOSO	4.31	26.09	4.49	0.62	0.37	0.61	19.00	24.11	17.0	2.55	1.5	0.5
2319	8.20	9.84	81.96	ARENA FRANCA	3.59	24.10	4.99	0.78	0.63	0.33	17.37	27.93	14.5	2.25	1.0	0.5
2320	8.16	10.00	81.84	ARENA FRANCA	4.15	25.08	4.99	0.78	0.41	0.52	18.30	26.17	20.5	3.95	1.5	0.5
2321	10.20	10.20	79.60	FRANCO ARENOSO	3.92	27.09	4.74	0.66	0.36	0.75	20.58	24.03	19.5	2.70	1.5	0.5
2322	8.14	10.12	81.74	ARENA FRANCA	3.70	26.09	4.95	0.66	0.58	0.51	19.25	25.63	18.0	2.70	1.5	0.5
2323	8.12	9.78	82.10	ARENA FRANCA	3.58	26.00	4.99	0.86	0.44	0.45	19.26	25.92	16.0	2.65	1.0	0.5
2324	6.48	11.56	81.96	ARENA FRANCA	3.36	27.09	4.74	0.78	0.39	0.78	20.40	24.40	19.0	2.60	1.0	1.0
2325	6.19	14.37	79.44	ARENA FRANCA	3.64	26.29	4.49	0.78	0.62	0.56	19.84	24.53	16.5	2.35	1.5	0.5
2326	6.19	12.36	81.45	ARENA FRANCA	3.42	25.60	4.99	0.66	0.49	0.56	18.90	26.17	15.5	2.30	1.0	1.0
2327	2.17	11.65	86.18	ARENA	2.57	26.69	4.24	0.99	0.39	0.30	20.27	24.05	10.0	2.45	1.0	0.5
2328	6.48	11.93	81.59	ARENA FRANCA	2.97	25.40	4.24	0.66	0.37	0.43	19.78	22.44	12.5	1.80	1.0	0.5
2329	8.16	9.64	82.20	ARENA FRANCA	3.19	25.60	4.49	0.59	0.47	0.44	15.62	23.36	16.5	2.35	1.5	0.5
2330	10.11	14.36	74.93	FRANCO ARENOSO	3.92	24.40	4.74	0.66	0.54	0.39	18.97	25.94	16.0	2.65	1.5	0.5
2331	6.15	9.29	84.56	ARENA FRANCA	4.54	26.09	4.24	0.62	0.36	0.78	20.89	20.00	16.0	2.05	1.5	0.5
2332	6.56	10.25	83.19	ARENA FRANCA	3.75	26.78	4.49	0.66	0.35	0.47	20.31	23.74	19.0	2.40	1.5	0.5
2333	9.17	2.25	79.14	ARENA FRANCA	2.60	26.00	5.24	1.00	0.35	0.51	16.87	27.42	16.5	2.05	1.5	0.5
2334	6.13	12.32	81.15	ARENA FRANCA	3.42	26.09	4.24	0.78	0.33	0.48	20.26	23.35	15.5	2.00	1.5	0.5
2335	8.48	10.66	80.86	ARENA FRANCA	2.65	25.60	4.99	1.00	0.34	0.82	18.42	26.05	20.0	2.45	1.5	1.0
2336	6.11	10.21	83.68	ARENA FRANCA	4.20	26.69	4.24	0.92	0.36	0.46	20.01	22.03	19.0	2.40	1.0	0.5
2337	8.57	14.62	76.83	FRANCO ARENOSO	3.87	25.50	4.24	0.82	0.34	0.72	19.30	24.00	19.0	2.35	1.0	0.5
2338	8.61	10.74	80.65	FRANCO ARENOSO	3.36	26.79	4.74	0.82	0.33	0.44	20.46	23.63	20.5	2.65	1.5	0.5
2339	20.95	28.19	42.86	FCO. ARC. ARE		26.09	16.96	3.60	0.36	1.34	1.77	33.22	5.0	1.75	6.0	13.5
2340	31.24	24.11	44.65	FCO. ARC. ARE		26.19	16.47	3.33	0.34	1.22	4.80	31.56	1.0	2.35	7.0	11.5

* Por diferencia con respecto al CIC.

DIRECCION TECNICA DE RIEGO Y AVENAMIENTO
LABORATORIO DE SUELOS
INFORME DE ANALISIS FISICO DE SUELOS

Localización: ICITA ALAMEDA
Municipio: CHIMALTENANGO
Departamento: CHIMALTENANGO
Proyecto: ABONOS VERDES

Fecha: 18/11/96

PTO.	PROF.	CLASE TEXTURAL	%	Ar	%	L	%	A	C.C.		DENSIDAD	%	M. O.	pH	NAF	CAREO NATOS	COLOR
									1/3 BAR	15 BAR							
		Micia															
1	20	Franco arenoso	11.47	14.04	74.49	19.52	7.44	1.4020	3.77	5.82							
2	40	Franco arenoso	9.95	17.79	72.26	19.97	7.61	1.3239	2.31	6.3							
3	60	Franco arenoso	11.60	12.58	72.82	21.10	7.88	1.3012	1.80	5.49							
4	80	Franco arenoso	13.64	16.25	70.11	22.34	9.15	1.2981	1.31	6.68							
		Micuna															
	20	Franco arenoso	9.62	14.27	76.11	20.48	7.98	1.3750	4.28	5.98							
	40	Franco arenoso	10.04	16.33	73.63	20.02	7.58	1.2942	2.59	6.35							
	60	Franco arenoso	13.61	18.24	68.15	23.58	7.49	1.2402	1.13	6.57							
	80	Franco arenoso	15.76	18.97	65.87	23.45	8.65	1.3408	3.68	6.91							
		Frijol															
	20	Franco arenoso	9.05	16.32	74.63	20.35	7.40	1.3480	6.26	5.95							
	40	Franco arenoso	11.07	16.69	72.24	21.66	7.29	1.2773	5.11	6.34							
	60	Franco arenoso	11.00	16.18	72.82	20.28	7.26	1.3142	4.16	6.58							
	80	Franco arenoso	9.85	12.74	77.71	20.48	7.63	1.2048	4.31	6.66							
		Maiz															
	20	Franco arenoso	9.45	13.85	76.70	19.28	6.77	1.3665	3.29	5.97							
	40	Franco arenoso	10.10	16.20	71.70	21.12	7.60	1.2268	3.54	6.33							
	60	Franco arenoso	9.40	17.83	72.77	19.61	7.03	1.2216	1.51	6.6							
	80	Franco arenoso	13.30	16.53	70.17	22.72	8.15	1.2446	1.33	6.86							

Ar = Arcilla, L = Limo, A = Arena, F = Franco

APENDICE 11.

COSTOS DE INCORPORACION DE LOS DIFERENTES MATERIALES ORGANICOS EN LA INVESTIGACION REALIZADA EN EL ICTA, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO EN UN AREA DE (1008 m²).

ACTIVIDADES DE CAMPO (A)			
ACTIVIDAD	No. DE JORNALES	COSTO UNITARIO (Q)	COSTO TOTAL (Q)
1. Siembra de los cultivos	6	25.00	150.00
2. Labores culturales	8	25.00	200.00
3. Corte de los materiales	6	25.00	150.00
4. Picado y molido mecánico de la materia seca	3	25.00	75.00
5. Pesado de la materia seca a incorporar	4	25.00	100.00
6. Incorporación mecanizada de los materiales	4	25.00	100.00
TOTAL	31	25.00	775.00
INSUMOS NECESARIOS (B)			
1. Semilla 20 lbs. De c/u			
Frijol		2.5 / lb.	50.00
Vicia		2.0 / lb.	40.00
Mucuna		3.0 / lb.	60.00
2. Combustibles y Lubricantes para realizar actividades 4 y 6.			250.00
TOTAL			400.00
ALQUILER DE MAQUINARIA Y EQUIPO (C)			
	HORAS TRABAJADAS	COSTO/ HORA (Q)	COSTO TOTAL (Q)
1. Picadora Mecánica	5	25.00	125.00
2. Azadón rotativo o rotovator	6	50.00	300.00
TOTAL			425.00
GRAN TOTAL (A) + (B) + (C)			1600.00





FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA: "EFECTO DE LA INCORPORACION DE MATERIALES ORGANICOS EN LA
DISPONIBILIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO,
EN EL ICTA, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: MARCIAL DE JESUS CORADO RECINOS

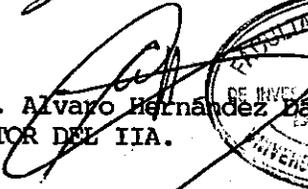
CARNET No. 8910100

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Marco Tulio Aceituno J.
Ing. Agr. Ovidio Sacbajá Galindo
Ing. Agr. José Antonio Chioc
Ing. Agr. Mario Escobar

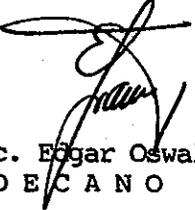
Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha
cumplido con las normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía,
de la Universidad de San Carlos de Guatemala.


Ing. Agr. Carlos Estuardo Roca Canett
ASESOR


Ing. Agr. Raúl E. Macz Marquez
ASESOR


Ing. Agr. M.Sc. Alvaro Hernández Dávila
DIRECTOR DEL IIA.

IMPRIMASE


Ing. Agr. M.Sc. Edgar Oswaldo Franco Rivera
DECANO



cc:Control Académico
Archivo
AH/prr.

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C. A.
TELEFONO 476-9794 § FAX (502) 476-9770
E-mail: lia@usac.edu.gt § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>

1. Introduction

The purpose of this study is to investigate the effects of various factors on the performance of a system. The study is organized as follows: Section 2 describes the methodology used, Section 3 presents the results, and Section 4 discusses the conclusions.

2. Methodology

The methodology employed in this study involves a series of experiments designed to measure the system's performance under different conditions. The data collected from these experiments is analyzed to identify trends and correlations.

3. Results

The results of the experiments show that the system's performance is significantly affected by the input variables. Specifically, the performance increases as the input variable X increases, while it decreases as the input variable Y increases. These findings are supported by the data presented in the following tables.

4. Conclusions

In conclusion, the study has demonstrated that the system's performance is highly sensitive to changes in the input variables. Further research is needed to explore the underlying mechanisms of these effects.

References

- [1] Author, "Title of Reference 1", Year.
- [2] Author, "Title of Reference 2", Year.
- [3] Author, "Title of Reference 3", Year.